

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA FYZIKÁLNÍ CHEMIE



**STUDIUM MOŽNOSTÍ PŘÍPRAVY NANOČÁSTIC
STŘÍBRA V PRÁŠKOVÉ PODOBĚ ZA VYUŽITÍ FÁZOVÉHO
PŘENOSU ČÁSTIC Z VODNÉ FÁZE**

Bakalářská práce

Autor práce:

Magdaléna Trúsiková

Studijní obor:

Management v chemii

Vedoucí bakalářské práce:

RNDr. Robert Pucek, Ph.D.

Olomouc 2012

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení:	Magdaléna Trúsiková
Název práce:	Studium možností přípravy nanočástic stříbra v práškové podobě za využití fázového přenosu částic z vodné fáze
Typ práce:	Bakalářská
Pracoviště:	Katedra fyzikální chemie
Vedoucí práce:	RNDr. Robert Pucek, Ph.D.
Rok obhajoby práce:	2012
Abstrakt:	Tématem této bakalářské práce je příprava nanočástic stříbra v práškové podobě, za využití fázového přenosu částic z vodné fáze. Na přípravu nanočástic stříbra v pevném stavu byla použita koloidní disperzi o koncentraci 5 000mg/l, která byla smíchala s hexanem nebo toluenem a se stabilizačním činidlem PVP 360 nebo s PEG 1 500. Dále bylo použito přenosové činidlo, aby došlo k fázovému přenosu nanočástic z vody do rozpouštědla. Vysušené nanočástice byly dispergovány ve vodě, hexanu nebo izopropylalkoholu. Rozdispergované částice byly charakterizovány pomocí transmisního elektronového mikroskopu (TEM) a UV-Vis absorpční spektroskopie.
Klíčová slova:	Stříbro, nanočástice, prášek
Počet stránek:	42
Počet příloh:	1 CD
Jazyk:	Čeština

Bibliographical identification

Author's first name and surname:	Magdaléna Trúsiková
Title:	Study of preparation silver nanoparticles powders by phase transfer
Type of thesis:	Bachelor
Department:	Department of Physical Chemistry
Supervisor:	RNDr. Robert Prucek, Ph.D.
The year of presentation:	2012
Abstract:	The aim of this bachelor thesis is preparation of silver nanoparticles powders by phase transfer. For the preparation of powder silver nanoparticles I used dispersion of silver nanoparticles of a concentration 5 000mg/l, which I mix with hexane or toluene. As the stabilizing agent present in the organic phase, PVP 360 and PEG 1 500 were used. I also used the transfer agent in order to phase transfer of nanoparticles from water into the solvent. I dried nanoparticles dispersed in water, hexane or isopropyl alcohol. Dissolved nanoparticles were characterized by transmission electron microscope (TEM) and UV-Vis spectroscopy.
Keywords:	Silver, nanoparticles, powder
Number of pages:	42
Number of appendices:	1 CD
Language:	Czech

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Studium možností přípravy nanočástic stříbra v práškové podobě za využití fázového přenosu částic z vodné fáze“ vypracovala samostatně a použila jsem pramenů, které uvádím v přiloženém seznamu literatury.

V Olomouci dne

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu RNDr. Robertu Pruckovi, Ph.D., za čas, který se mnou strávil, za jeho trpělivost, odborné rady a za pozornost, kterou věnoval mé práci. Také bych chtěla poděkovat RNDr. Aleši Panáčkovi, Ph.D., za pořízení snímků z elektronového mikroskopu.

OBSAH

1 ÚVOD	3
2 TEORETICKÁ ČÁST	4
2.1 DISPERZNÍ SOUSTAVY	4
2.1.1 <i>Klasifikace disperzních soustav</i>	<i>4</i>
2.2 KOLOIDNÍ SOUSTAVY	6
2.2.1 <i>Klasifikace koloidních soustav</i>	<i>6</i>
2.2.2 <i>Kinetické vlastnosti koloidních soustav</i>	<i>7</i>
Brownův pohyb	7
Difúze	8
Osmóza	9
Sedimentace	10
2.2.3 <i>Optické vlastnosti koloidních soustav</i>	<i>10</i>
Rozptyl záření	10
Absorpce záření	11
2.2.4 <i>Elektrické vlastnosti koloidních soustav</i>	<i>12</i>
2.2.5 <i>Stabilita koloidních soustav</i>	<i>13</i>
2.2.6 <i>Příprava koloidních soustav</i>	<i>15</i>
Dispergační metody	16
Kondenzační metody	16
2.2.7 <i>Příprava nanočástic stříbra v práškové podobě</i>	<i>17</i>
2.2.8 <i>Využití a aplikace koloidního stříbra</i>	<i>18</i>
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	20
3.1 CHEMIKÁLIE	20
3.2 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ	20
3.3 PŘÍPRAVA DISPERZE NANOČÁSTIC STŘÍBRA	20
3.4 ROZPUSTNOST VYBRANÝCH STABILIZÁTORŮ V HEXANU	21
3.5 FÁZOVÝ PŘENOS NANOČÁSTIC STŘÍBRA Z VODNÉ DO ORGANICKÉ FÁZE	22
4 VÝSLEDKY A DISKUSE	23
4.1 FÁZOVÝ PŘENOS	23
4.1.1 <i>Fázový přenos nanočástic stříbra do hexanu bez použití stabilizátoru</i>	<i>23</i>

4.1.2	<i>Fázový přenos v hexanu s použitím stabilizátoru</i>	23
4.1.3	<i>Fázový přenos v hexanu s použitím stabilizátoru a hexylaminu.....</i>	24
4.1.4	<i>Fázový přenos do toluenu za využití přenosového činidla CTAC.....</i>	25
4.2	DISPERZE NANOČÁSTIC	27
	Výsledky dispergování Nanočástic stříbra převedených do pevného stavu	27
5	ZÁVĚR.....	38
6	SUMMARY	39
7	POUŽITÁ LITERATURA.....	40

1 ÚVOD

Koloidní chemie jako samostatná oblast chemických věd vznikla v šedesátých letech 19. století. Ale s technikami koloidní chemie či dokonce nanotechnologiemi se můžeme setkat již ve starém Římě při výrobě skla, například zajímavostí z této doby jsou Lykurgovy poháry, které mají na denním světle zelenou barvu a při osvětlení zevnitř poháru jsou zbarveny červeně. V pozdějších dobách se nanočástice kovů uplatnily pro metalitický efekt, při výrobě glazované keramiky ^{1,2}.

Moderní člověk se setkává s koloidními soustavami a technologiemi každý den. V posledních dvaceti letech došlo například k obrovskému vývoji chemických a biologických nanosenzorů. Jedním z nejvhodnějšího materiálu pro výrobu těchto senzorů se ukázaly koloidní částice stříbra. ^{3,4} Mezi instrumentální metody, využívající koloidní částice stříbra, patří například povrchově zesílená Ramanova spektroskopie (SERS), díky níž je možné studovat i jednotlivé molekuly. ^{7,8}

Díky antibakteriálním účinkům koloidního stříbra, se můžeme setkat s kartáčky na zuby, ponožkami a dalším textilem, který obsahuje koloidní stříbro. ⁵ S objevem penicilinových antibiotik se sice zájem o antibakteriální vlastnosti stříbra odsunul do pozadí, avšak schopnost bakterií odolávat účinkům těchto antibiotik zpětně vedla k dalším výzkumům koloidního stříbra a jeho antibakteriálních vlastností i z hlediska možností jeho využití v medicíně. Ovšem je třeba být obezřetný, protože předávkování stříbrem způsobuje nemoc známou jako argyrie. ⁶

Cílem této práce je studium možností přípravy nanočástic stříbra v pevném stavu (nejlépe v práškové podobě). K tomuto účelu byly zkoumány možnosti fázového přenosu předem připravených nanočástic stříbra do organického rozpouštědla (hexan, toluen). Byl studován vliv použitého transferového činidla (cetyltrimethylamonium chlorid, hexylamin), dále vliv konkrétního postupu přípravy či vliv přítomnosti dodatečných stabilizačních látek přítomných v organickém rozpouštědle na charakteristiky připraveného prášku. Následně byla studována zpětná redispergace připravených prášků ve vodě, izopropylalkoholu a hexanu.

2 TEORETICKÁ ČÁST

Pojmy koloid, koloidní, které v této práci používám, pocházejí z latinského názvu kolla, který znamená klíh. Koloidní systémy jsou složeny z minimálně dvou fází a jejich děje a rovnováha v nich jsou určovány silami, které působí ve fázových rozhraních.⁹

2.1 DISPERZNÍ SOUSTAVY

Disperzní systém je termodynamický systém, který se skládá nejméně ze dvou fázově a/nebo chemicky odlišných druhů hmoty. Což znamená, že je tento systém tvořen dvěma nebo více fázemi se stejným nebo odlišným složením, přičemž je jedna fáze ve druhé fázi rozptýlena= dispergována ve formě částic, které mají určitý tvar a velikost. Fáze, která je rozptýlena v disperzním prostředí se nazývá disperzní podíl.

Pokud disperzní soustava obsahuje dvě fáze a jedna z nich tvoří disperzní část a druhá tvoří disperzní prostředí, nazýváme tuto soustavu heterogenní soustavou (nestejnorodou soustavou). Mezi částicemi dispergované fáze a prostředím, kterým jsou tyto částice obkloповány, existuje jistá hranice= fázové rozhraní. Příkladem může být směs oleje a vody. Po krátké době od protřepání dojde k rozdělení na dvě fáze.

Pokud disperzní soustava obsahuje jen jednu fázi a dvě složky, jedna tato složka tvoří disperzní fázi a druhá složka disperzní prostředí, nazýváme tuto soustavu homogenní soustavou (stejnorodou soustavou). V tomto systému však nelze uvažovat o rozhraní mezi částicemi dispergované fáze a disperzním prostředím, protože je složka disperzní fáze ve složce tvořící disperzní prostředí rozptýlena ve velmi malých částicích. Příkladem může být sůl rozpuštěná ve vodě. Získáme tak homogenní, jednofázový, dvousložkový systém. V jednofázových systémech nelze rozptýlenou složku opticky rozlišit, protože jednofázové systémy jsou opticky stejnorodé.⁹

2.1.1 Klasifikace disperzních soustav

Disperzní soustavy můžeme klasifikovat podle různých kritérií, jako je například: tvar či velikost dispergovaných částic nebo třeba skupenství disperzní fáze a disperzního prostředí. Stupněm disperzity vyjadřujeme velikost částic disperzní soustavy a je dán převrácenou hodnotou lineárního rozměru částice (délka hrany, průměr, atd). Vyšší stupeň disperzity má tedy jemněji rozptýlená disperzní fáze. Pokud

mají všechny částice disperzní fáze stejnou velikost, nazýváme tyto soustavy monodisperzní. Naopak, pokud mají částice v soustavě různou velikost, mluvíme o soustavě polydisperzní. Soustavy, které obsahují částice se stejným tvarem, jsou nazývány homodisperzní soustavy a ty soustavy, obsahující částice s odlišným tvarem jsou nazývány heterodisperzní soustavy.⁹

Podle velikosti dispergovaných částic

- **Hrubě disperzní** – ještě dále dělíme na makrodisperzní (částice jsou pozorovatelné pouhým okem) a mikrodisperzní (částice jsou pozorovatelné mikroskopem).
- **Koloidně disperzní** – (částice jsou pozorovatelné ultramikroskopem).
- **Analytický disperzní** – atomy, ionty nebo molekuly rozpuštěné v daném rozpouštědle.⁹

Za zmínku však stojí, že nejsme schopni přesně stanovit hranice, mezi jednotlivými skupinami disperzních soustav.¹⁰

Podle tvaru dispergovaných částic

- **Korpuskulárně disperzní** – (jsou částice mající přibližně stejnou velikost ve všech třech prostorových směrech- délka, šířka, výška).
- **Laminárně disperzní** – (jsou částice, u kterých převládají dva rozměry nad třetím rozměrem; vyskytují se ve tvaru destiček nebo lamel).
- **Fibrilárně disperzní** – (jsou částice, u kterých převládá jeden rozměr, nad ostatními dvěma rozměry; vyskytují se ve tvaru tyčinek nebo vláken).⁹

Podle skupenství disperzního prostředí a disperzní fáze

Například vzájemnou kombinací hrubých a koloidních disperzí může vzniknout osm různých skupin (nevzniká jich devět z toho důvodu, že kombinací plynné disperzní fáze s disperzním prostředím v plynném stavu vytváří vždy homogenní soustavu).¹⁰

2.2 KOLOIDNÍ SOUSTAVY

Koloidní soustavy obsahují částice, které mají velikost 1 nm až 1000 μm . Jsou významné hlavně díky svými fyzikálně-chemickými vlastnostmi. Chování koloidních soustav je spjato s velkou plochou jejich fázového rozhraní mezi disperzním prostředím a disperzní fází v porovnání s jejich vlastním objemem rozptýlené disperzní fáze. Tudíž, čím menší velikost částice má, tím větší je plocha fázového rozhraní mezi disperzním prostředím a disperzní fází, čili, čím menší velikost částic, tím vyšší počet povrchových molekul, které jsou v kontaktu s disperzním prostředím.¹⁰

2.2.1 Klasifikace koloidních soustav

Tak jako lze disperzní soustavy rozdělit do skupin, tak lze i koloidní soustavy rozdělit do několika skupin podle určitých kritérií. Pokud je tímto kritériem skupenství disperzního prostředí a disperzní fáze, můžeme koloidní soustavy rozdělit do osmi skupin.¹⁰

Tabulka 1: Klasifikace koloidních soustav podle skupenství disperzního prostředí a disperzní fáze.¹⁰

DISPERZNÍ PROSTŘEDÍ	DISPERZNÍ FÁZE	KOLOIDNÍ DISPERZE
PEVNÉ	PEVNÉ	TUHÉ SOLY
	KAPALNÉ	TUHÉ EMULZE
	PLYNNÉ	TUHÉ PĚNY
KAPALNÉ	PEVNÉ	LYOSOLY
	KAPALNÉ	EMULZE
	PLYNNÉ	PĚNY
PLYNNÉ	PEVNÉ	AEROSOLY
	KAPALNÉ	AEROSOLY
	PLYNNÉ	NETVOŘÍ KOLOID

Koloidní soustavy, které mají oddělené a volně pohyblivé částice, označujeme jako soly. Předpona aero- (aero = vzduch) označuje soly s plynným dispergentem a předpona lyo- (lyos = rozpouštědlo) označuje soly s kapalným dispergentem.^{9,10}

Koloidní soustavy, které jsou tvořené pevnou disperzní fází, a kapalným disperzním prostředím můžeme dále dělit podle vlastností fázového rozhraní. Koloidní soustavy takto můžeme rozdělit do tří skupin:

- **Lyofobní** – jsou soustavy s jasně vymezeným fázovým rozhraním; jsou vytvořeny z anorganických látek a nevznikají samovolně. Pokud je disperzní prostředí vytvořeno z vody, je tato lyofobní soustava označována jako hydrofobní a pokud je vytvořeno z organické kapaliny, je tato soustava označována jako organosol.
- **Lyofilní** – jsou soustavy s fázovým rozhraním, které je rozprostřeno do větších šířek; jsou vytvořeny z vysokomolekulárních látek a vznikají samovolným rozpouštěním. Jelikož jsou lyofilní soustavy termodynamicky stabilní, označují se jako koloidní roztoky.
- **Asociativní** – vytvoření útvaru koloidní velikosti, který vzniká při spojování molekul povrchově aktivních látek.

Speciálním případem koloidních soustav jsou gely. To jsou takové koloidní soustavy, které mají schopnost, že dovedou z kapalné formy přecházet do pevného stavu. Gely ovšem mohou vytvářet ty koloidy, které mají schopnost se spojovat a vytvářet pevné trojrozměrné síťové struktury.¹⁰

2.2.2 Kinetické vlastnosti koloidních soustav

BROWNŮV POHYB

První, kdo pozoroval neustálý chaotický pohyb koloidních částic, byl botanik Robert Brown. Prvními částicemi, které použil pro své pokusy, byla zrnka rostlinného pylu a aby dokázal, že tento pohyb není jen projevem života buněk pylu, pokus zopakoval s různými minerálními a organickými látkami. Výsledkem jeho zjištění bylo, že se při dostatečně velkém rozmělnění látky tento chaotický pohyb částic projevuje vždy.

Působením tepelného pohybu molekul disperzního prostředí, dochází k narážení na koloidní částice a tyto nárazy vyvolávají pohyb částic. Počet nárazů na

koloidní částice je přibližně 10^{19} za sekundu, což nelze při skutečném pozorování zaznamenat. Při vzájemných srážkách mění směr jak koloidní částice, tak molekuly, se kterými se koloidní částice srazily. Množství srážek v daném směru je rozdílné a pravděpodobnost srážek roste s velikostí koloidních částic a s rostoucí hmotností. Tomuto pohybu koloidních částic říkáme Brownův pohyb. Čím menší velikost částice mají a čím vyšší teplotu, tím je Brownův pohyb intenzivnější. Brownův pohyb má významný vliv na stabilitu koloidních soustav a můžeme ho zaznamenat zejména při difúzi a sedimentaci.^{1,9,10,11,12}



Obrázek 1: Schéma Brownova pohybu koloidní částice¹²

DIFÚZE

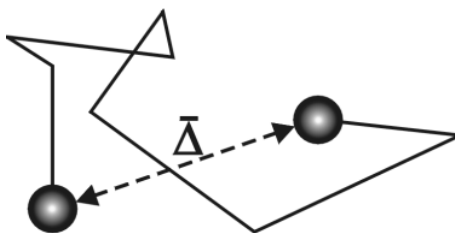
Difúze je jeden z projevů Brownova pohybu. Hnací silou difúze je rozdíl koncentračních gradientů v rozdílných místech soustavy. Směr difúze je dán směrem koncentračního gradientu (z prostředí s vyšší koncentrací směrem do prostředí o nižší koncentraci se snahou o dosažení rovnováhy). Zákon popisující přesun hmoty ve směru difúze je I. Fickův zákon,

$$\frac{dn}{dt} = -SD \frac{dc}{dx} \quad (1)$$

kde S je plocha kolmá ke směru difúze, D je difúzní koeficient, dc / dx je koncentrační

gradient a dn / dt je látkové množství látky, která difunduje v čase. Tento zákon ovšem platí pouze v případě, že $dc / dx \neq f(t)$, pak jde o tzv. stacionární difúzi. Difúzní koeficient pro koloidní částice je výrazně menší, než difúzní koeficient pro molekuly, který se pohybuje okolo $10^{-5} \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$.¹⁰

Pokud se vlivem difúze částice pohybuje, v daném čase Δt urazí určitou vzdálenost. Jde o vzdálenost, která je nazvána střední posuv částice – $\bar{\Delta}$ (Obrázek 2).¹⁰



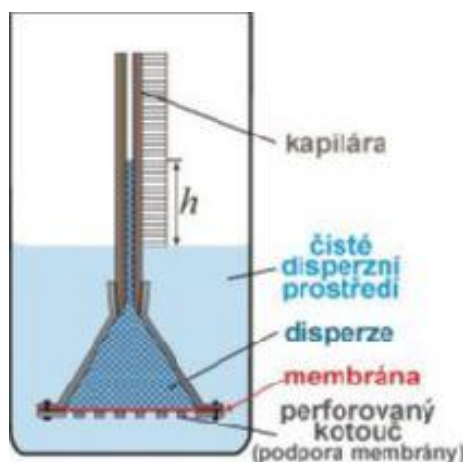
Obrázek 2: Střední posuv částice¹

OSMÓZA

Osmóza je projev Brownova pohybu, který vzniká při vyrovnávání rozdílně koncentrovaných roztoků, stýkajících se skrz semipermeabilní membránu.

Přes semipermeabilní membránu proniknou jen molekuly rozpouštědla, protože větší částice jejími póry neprojdou.¹⁰

Osmotický tlak je poháněcí silou osmózy, je označován řeckým písmenem π a je měřený v Pascalech. Osmotický tlak je závislý na velikosti částic a můžeme jej změřit pomocí stanoveného protitlaku, kterýmž zabráníme zředování roztoku (Obrázek 3: **Schéma klasického osmometru** Obrázek 3).¹⁰



Obrázek 3: Schéma klasického osmometru¹³

Osmóza může být využita k separaci koloidů od nízkomolekulárních látek a na jejím principu pracují určité separační metody, které se nazývají dialýza, elektrodialýza, ultrafiltrace a elektrofiltrace.¹⁰

SEDIMENTACE

Koloidní částice se pohybují ve směru působící síly vlivem působení gravitační síly F_g . Pohyb těchto částic v gravitačním poli je závislý na jejich hmotnosti, tvaru, hustotě a vlastnostech prostředí, ve kterém se tyto částice pohybují. Proti každé z pohybujících se kulových částic v kapalině pod vlivem F_g působí vztlaková síla F_{vztl} a viskozitní odpor F_{vis} , který můžeme vyjádřit Stokesovým vztahem: ¹⁰

$$F_g = F_{vztl} + F_{vis} \quad (2)$$

2.2.3 Optické vlastnosti koloidních soustav

Pokud na koloidní soustavu dopadá světelný paprsek, dochází zároveň k rozptylu a k pravé absorpci dopadajícího záření. V závislosti na charakteru koloidních soustav převládá buďto rozptyl nebo absorpce dopadajícího záření. Absorpce a rozptyl jsou závislé na velikosti částic přítomných v koloidních soustavách. ¹⁰

ROZPTYL ZÁŘENÍ

S výjimkou vakua se světlo rozptyluje při průchodu jakýmkoliv prostředím. Při pohlcení kvanta světelné energie u rozptylu světla, nedochází ke změně energetických stavů vazebných elektronů, ale následně je vyzářeno kvantum přijaté energie všemi směry, aniž by se změnila vlnová délka. Při tomto jevu, kdy nedochází ke změně energie, dochází k rozptylu, který je způsoben elastickými srážkami částic prostředí a fotonů. Rozptyl světla je velmi složitý děj, který podle okolností může zahrnovat lom, ohyb, odraz nebo interferenci světla. ^{9,10} Poprvé byl rozptyl světla pozorován Johnem Tyndallem v 17. století. Po Johnu Tyndalovi je pojmenován efekt rozšiřujícího se paprsku, který prochází disperzním prostředím. ¹⁰

Mechanismus rozptylu záření je založen na indukci elektrického dipólu uvnitř částice vlivem elektromagnetického pole dopadajícího záření, přičemž indukovaný dipól emituje záření se shodnou vlnovou délkou, jakou mělo dopadající záření.

Podíl rozptylu světla na zeslabení intenzity dopadajícího záření, které je ve směru pozorování, popisuje zákon obdobný Lambert-Beerovu zákonu,

$$-\log \frac{I}{I_0} = \tau d \quad (3)$$

kde τ značí turbiditu soustavy.¹⁰

Mírou úhrnné energie, která je rozptýlena na všechny strany od světelného paprsku, který prošel vrstvou suspenze o jednotkové tloušťce, je turbidita. Turbidita je závislá na vlnové délce dopadajícího záření, na optických vlastnostech koloidní soustavy a na stupni disperzity.¹⁰

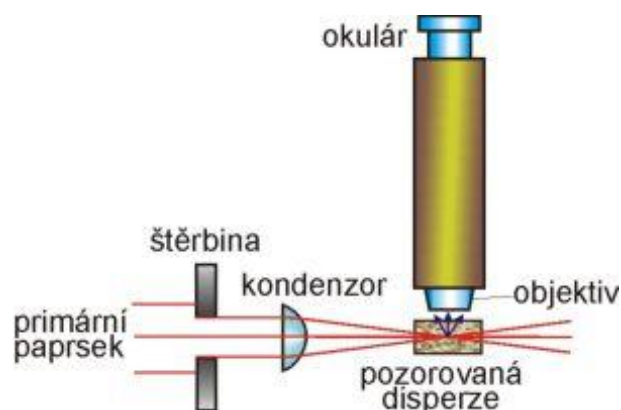
ABSORPCE ZÁŘENÍ

Na rozdíl od rozptylu záření, dochází u absorpce záření ke změně energetických stavů valenčních a vazebných elektronů, při pohlcení kvanta světelné energie. Při absorpci záření vzniká tepelná energie, která je přeměněna vlivem rostoucí vnitřní energie molekul systému. Lambert-Beerův zákon popisuje absorpci světla látkou A,

$$A = -\log \frac{I}{I_0} = \varepsilon cd \quad (4)$$

Kde I značí intenzitu proniknutého záření látkou, I_0 značí intenzitu světla dopadajícího na látku, ε značí molární absorpční koeficient, c značí koncentraci látky a d značí tloušťku vrstvy, kterou paprsek prochází. U koloidních soustav je Lambert-Beerův zákon komplikován závislostí absorpce záření na velikosti částic disperzní fáze.¹⁰

Koloidní částice nelze sledovat přímo optickými metodami, protože malý rozměr koloidních částic je pod rozlišovací schopností optických mikroskopů. K nepřímému pozorování koloidních částic můžeme použít speciální mikroskop, který pracuje na principu rozptylu záření. Tento ultramikroskop (Obrázek 4) sestrojili Siedentoph a Zsigmondy počátkem 20. století. V ultramikroskopu je pozorováno světlo rozptýlené koloidními částicemi.¹⁰



Obrázek 4: Schéma ultramikroskopu ¹⁴

2.2.4 Elektrické vlastnosti koloidních soustav

Elektrokinetické jevy jsou jevy, kdy se pohybují vůči disperznímu prostředí elektricky nabitě částice disperzní fáze. Mezi tyto jevy se řadí:

- **Sedimentační potenciál a potenciál proudění** – při těchto jevech dochází k mechanickému pohybu částic, který je vyvolán elektrickým polem; tyto jevy jsou vůči elektroosmóze a elektroforéze jevy inverzní.
- **Elektroosmóza a elektroforéza** – při těchto jevech dochází vlivem vnějšího elektrického pole k pohybu částic. ¹⁰

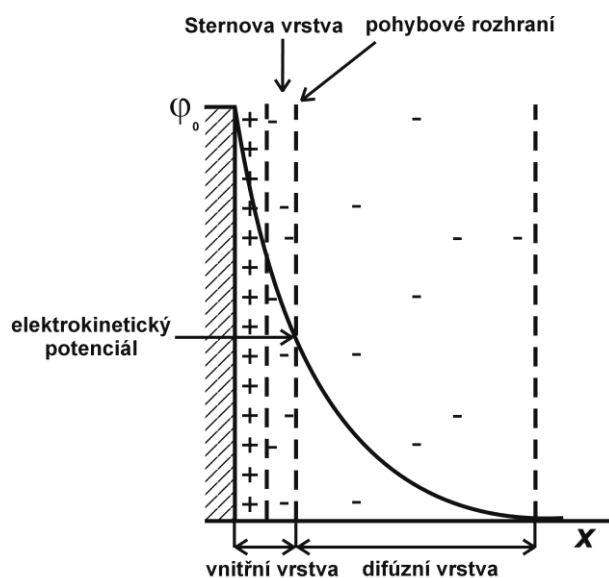
Díky existenci elektrického náboje, který se nachází na fázovém rozhraní mezi disperzním prostředím a disperzní fází, dochází v blízkosti tohoto rozhraní k uspořádání opačných nábojů. Existenci tohoto náboje jsou všechny tyto čtyři jevy vyvolány. ¹⁰

Může dojít k vytvoření dvojvrstvy orientovaných částic na styku dvou fází, ve které dojde k prostorovému rozvrstvení náboje a tím dochází ke vzniku rozdílu elektrických potenciálů= vznik elektrické dvojvrstvy. ⁹

Jako první s představou o uspořádání elektrické dvojvrstvy přišel Helmholtz. Helmholtz vypracoval teorii na základě podobnosti s uspořádáním deskového kondenzátoru. V deskovém kondenzátoru jednu vrstvu tvoří náboj částic, který je vykompenzován nábojem částic, které jsou opačně nabitě a nacházejí se ve druhé vrstvě. Ale jeho teorie o struktuře elektrické dvojvrstvy nebyla zcela správná a neodpovídala skutečnosti. Později Helmholtzovu teorii doplnili Chapman, Goüy a Stern. ¹⁰

Podle Goüy-Chapmanovy teorie nemohou ionty vyskytující se na povrchu částice vázat v protivrstvě ekvivalentní množství protiiontů, protože se vlivem difúze pohybují a rozptylují se v celém objemu kapalně fáze. Jejich představa elektrické dvojvrstvy ovšem selhávala, jelikož autoři aproximovali ionty bodovými náboji a nebrali v potaz jejich skutečné rozměry.¹⁰

Stern potom navrhl zcela novou teorii struktury elektrické dvojvrstvy, do které zahrnul specifické neelektrické interakce iontů a konečné rozměry iontů. Podle Sternovy teorie jsou adsorpčními a elektrostatickými silami přitahovány ionty opačného znaménka k vnitřní vrstvě iontů. Těsně přiléhající vrstva protiiontů k povrchu, jež je tvořena ionty vázanými hlavně adsorpčními silami je Sternova vrstva. Kompaktní vrstva iontů se s částicí pohybuje, pokud dochází k pohybu částice s elektrickou dvojvrstvou vůči nepohyblivému disperznímu prostředí, kdežto difúzní vrstva se s částicí nepohybuje. Rozhraní, které odděluje nepohyblivou a pohyblivou část elektrické dvojvrstvy se nazývá pohyblivé rozhraní (Obrázek 5).¹⁰



Obrázek 5: Schéma Sternova modelu uspořádání elektrické dvojvrstvy¹⁰

2.2.5 Stabilita koloidních soustav

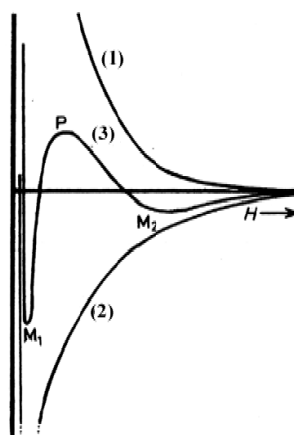
Pod pojmem stabilita termodynamicky nerovnovážných disperzních soustav chápeme jejich schopnost bránit se procesům vedoucím ke změně charakteru rozložení částic podle rozměrů v objemu disperzního prostředí, struktury a stupně disperzity.¹

Stabilita disperzních soustav se může pohybovat ve velice širokém rozpětí od úplné nestability, při níž doba existence představuje zlomky sekund, až po úplnou stálost, při níž se znatelné změny soustavy projevují až po uplynutí delší doby. Pochody, které probíhají v systému, které nevedou k viditelným změnám na jeho vzhledu, se nazývají stárnutí.¹⁵

Podle N. P. Peskova rozlišujeme agregátní a sedimentační stálost disperzních soustav:

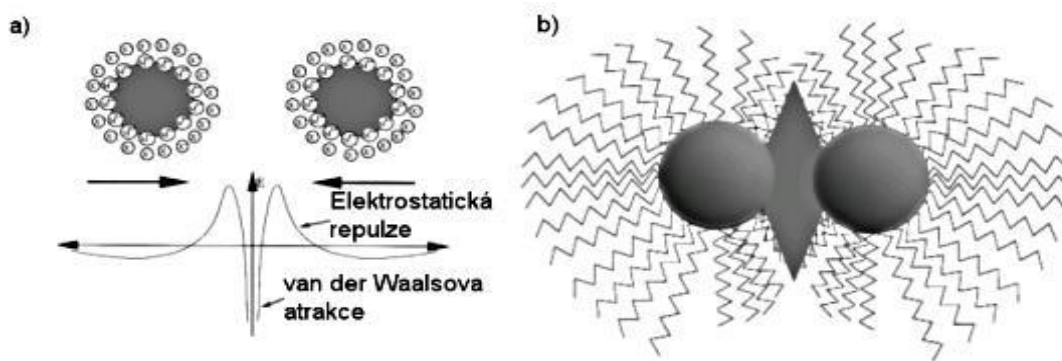
- **Agregátní stálost** – je schopnost soustavy klást odpor procesům, které vedou ke snížení Helmholtzovy energie na rozhraní částic disperzního podílu s disperzním prostředím.
- **Sedimentační stálost** – je stabilita soustavy vůči snížení potenciální energie částic disperzního podílu při jejich sedimentaci za působení gravitačního pole.¹

Z pohledu stability jsou koloidní částice ve stavu se zvýšenou energií, která je daná existencí nadbytku povrchové energie. Mohou se ale dostat i do stavu s nižší povrchovou energií ale k tomu je třeba překonat jistou energetickou bariéru. Energie, která je potřebná k překonání energetické bariéry, je známá jako aktivační energie (energie nutná ke spojování částic). Pokud vytvoříme dostatečně velkou energetickou bariéru, která zabraňuje spojování částic a tím i poklesu povrchové energie, bude koloidní soustava stabilní. V koloidních soustavách se mezi částicemi disperzní fáze uplatňují přitažlivé a odpudivé mezimolekulární síly. Výsledkem těchto sil je křivka interakční energie (Obrázek 6). Přitažlivé síly jsou způsobeny van der Waalsovými (disperzními) interakcemi. Důsledkem odpudivých sil jsou tzv. Bornovy repulze.^{10, 16}



Obrázek 6: Křivka odpudivých sil (1), Křivka přitažlivých sil (2), Křivka interakční energie (3) v závislosti na rostoucí vzdálenosti částic H ¹⁰

Způsoby stabilizace nanočástic můžeme rozdělit na stabilizaci stérickou a elektrostatickou (Obrázek 7).¹⁷



Obrázek 7: a) Elektrostatická stabilizace, b) Stérická stabilizace koloidů kovů¹⁸

Stérickou stabilizaci si můžeme představit jako pokrytí povrchu částice dostatečně silnou vrstvou pevně vázané stabilizační látky.¹⁹

Typickým případem stérické stabilizace jsou barvy a inkousty používané dávnými civilizacemi, které se připravovaly dispergováním vhodného pigmentu ve vodě za přítomnosti přírodních polymerů, jako jsou např. vaječný albumin, kasein a arabská guma. Přítomnost polymerů v disperzním systému může způsobit jak přitažlivé, tak odpudivé interakce. Přídavkem vhodných stabilizujících látek, jejichž molekuly jsou schopné dostatečně silné adsorpce na povrchu lyofóbní částice, ale jsou současně rozpustné v disperzním prostředí, můžeme dosáhnout velice účinné stabilizace lyofobních částic. Abychom dosáhli účinné stabilizace, musí být celý povrch nanočástice pokryt dostatečně silnou vrstvou pevně vázané stabilizující látky. Mezi stabilizující látky také patří některé makromolekuly a povrchově aktivní látky vytvářející asociativní koloidy.¹⁵

Stabilitu koloidní soustavy můžeme zvýšit přídavkem vysokomolekulární látky, která se naadsorbuje na povrch částice. Účinnost stability závisí na disperzně, pH roztoku a na molekulové hmotnosti látky. Pro stabilizaci vodných roztoků stříbra se nejvíce používá polyvinylpyrrolidon (PVP) nebo polyethylenglykol (PEG).²⁰

2.2.6 Příprava koloidních soustav

K přípravě koloidních soustav můžeme využít jednu ze dvou používaných metod. Při použití kondenzačních metod vznikají koloidní částice redukcí analytických

roztoků nebo srážení, kdežto u dispergačních metod vznikají koloidní částice rozrušením makroskopických látek.¹¹

Zvolením vhodné metody pro přípravu koloidních částic, můžeme ovlivnit tvar a velikost koloidních částic a tím i jejich chemické a fyzikální vlastnosti. Nejčastěji jsou připravovány koloidní částice kovů, dále pak polymerní koloidní částice a koloidní částice oxidů, selenidů a sulfidů.²¹

DISPERGAČNÍ METODY

Při mletí v koloidních nebo kulových mlýnech vznikají částice s nízkým stupněm disperzity. Při využití kulových mlýnů může dojít ke kontaminaci vzniklých částic, kterou může způsobit materiál mlýnu či koule. U nejlepších kulových mlýnů zaujímá koule 30 – 40 % objemu mlýna, avšak účinnější jsou koloidní mlýny, které dokážou vyrobit částice s nejvyšším stupněm disperzity.^{10,22}

Na přípravu koloidních částic kovů je vhodná laserová ablace. Laserová ablace je metoda, při které se laserem rozruší makroskopický materiál a nedochází při ní ke kontaminaci.⁷

KONDENZAČNÍ METODY

Pro přípravu koloidních částic kovů jsou kondenzační metody mnohem vhodnější, než metody dispergační. Jsou založeny na prvotním vzniku zárodků z analytických roztoků a jejich následný růst. Tyto metody lze rozdělit do dvou skupin. Na chemické a fyzikálně chemické postupy.^{1,7}

Fyzikálně chemické postupy jsou závislé na změně teploty, tlaku nebo složení rozpouštědla. V metalurgii se změnou teploty získávají všechny polykrystalické materiály. U chemických metod známe mnoho postupů přípravy koloidních částic. Nejrozšířenější jsou redukční reakce, jimiž se nejčastěji získávají koloidní částice zlata a stříbra.^{1, 10}

Redukce tetrahydroboritanem sodným patří dnes k typickým metodám přípravy koloidních částic využívajících chemickou redukci. Poprvé takto připravili koloidní částice Albrecht, Blatchford a Creighton. Jejich metoda byla založena na přidání 1 ml vodného roztoku AgNO_3 do 3ml vodného roztoku NaBH_4 za stálého intenzivního míchání. Při této metodě vznikají monodisperzní, malé a stabilní částice. Tyto malé částice lze následně využít jakožto zárodky pro dvoustupňovou syntézu částic

s požadovanými rozměry. Touto problematikou se zabýval Schneider, který ve svém postupu používal pro následný růst primárních částic kyselinu askorbovou jakožto mírnější redukční činidlo.^{23,24}

Mezi další redukční reakce patří redukce vodíkem nebo hydrazinem. Při redukci dusičnanu stříbrného hydrazinem byl pozorován vliv přítomnosti stabilizátorů polyvinyl pyrolidonu (PVP) a polyvinyl alkoholu (PVA). Velikost vznikajících stříbrných koloidních částic rostla se zvyšující se koncentrací hydrazinu. Při použití nejmenší koncentrace hydrazinu měl výsledný roztok červenooranžovou barvu a při použití vyšší koncentrace hydrazinu vznikala zelená disperze. Při použití nejvyšší koncentrace hydrazinu se barva disperze změnila ze zelené barvy na šedou barvu.²⁵

Další metodou je redukce dusičnanu stříbrného kyselinou askorbovou. Na tuto reakci má vliv teplota, která má vliv na tvar i velikost vznikajících částic. Při udržování vyšší teploty po delší dobu vznikají menší a kulovitější stříbrné částice. Další možností pro zkoumání nových typů koloidních částic, které vznikají redukcí askorbové kyseliny, jsou přísady stabilizačních činidel, například citrátu nebo arabské gumy.^{26, 27}

2.2.7 Příprava nanočástic stříbra v práškové podobě

Na redukci dusičnanu stříbrného askorbovou kyselinou založili svůj pokus čínští vědci. Tito vědci našli nový způsob, jak připravit ultra jemný stříbrný prášek redukcí kapalně fáze. Redukčním činidlem v jejich pokusu to byla kyselina askorbová (dalšími redukčními činidly, které mohou být využity na přípravu stříbrného nanoprášku redukcí dusičnanu stříbrného, mohou být například formaldehyd, glukóza, glycerol a zinek), dusičnan stříbrný sloužil jako zdroj stříbra a polyvinyl alkohol (PVA) sloužil jako stabilizační činidlo. Koloidní částice, které vznikly touto metodou, měly průměrnou velikost 1,15 μm a téměř kulovitý tvar. Z praktického hlediska je tato metoda, využívající redukci kapalně fáze, nejvhodnější pro přípravu práškového nanostříbra, jelikož neklade velké nároky na experimentální vybavení, je jednoduchá, má nízké nároky na spotřebu energie a je levná.²⁸

Dalších metod na přípravu stříbrného prášku se objevilo již mnoho, na příklad to byla metoda, jejíž příprava je založena na „spray pyrolysis“. Při použití této metody se vytvořil prášek, jehož částice měly průměrnou velikost 26 nm, kulovitý tvar a neměly tendenci tvořit agregáty. Další metoda byla provedena za použití elektrolýzy,

v další metodě byla využita mikrovlnná plazma a v poslední mnou uváděné metodě byla příprava založena na mechanické chemické syntéze.^{29,30,31,32}

Za použití redukčního činidla etylenglykolu jsou připravovány koloidní částice, které jsou vhodné pro využití v elektrotechnické a biologické oblasti. Koloidní částice stříbra vytvořené touto metodou mohou být rozptýleny v etanolu, ve vodě nebo v jiných polárních rozpouštědlech.³³

2.2.8 Využití a aplikace koloidního stříbra

Už ve starověku byly nanočástice kovů, především zlata, mědi a kobaltu, používány pro barvení skleněných předmětů, vitráží a přípravu barviv. Metody přípravy a studium jejich fyzikálně-chemických vlastností sahá do poloviny 19. století.⁵

V antickém Řecku využívali stříbro ve formě nanočástic pro jeho antibakteriální účinky, aniž by znali jeho mechanismus. Ve formě stříbrného prášku ho používali k léčbě popálenin a vředů.³⁴

V roce 1993 únik informací o vybavení kosmonautů vyvolal velký zájem o koloidní stříbro. Veřejnost se dozvěděla, že američtí i ruští kosmonauti odlétají do vesmíru se zásobami koloidního stříbra, které bylo určeno pro širokospektrální zdravotnické i hygienické účely.³⁵

Stříbrné nanočástice využíváme nejen v laboratořích, ale také v běžném životě, díky jejich výjimečným fyzikálním, chemickým a biologickým vlastnostem, které se liší od makroskopické formy stříbra.³⁶ V 70. letech 20. století se začalo široce využívat stříbrných nanočástic díky objevu povrchem zesílené Ramanovy spektroskopie, díky níž můžeme molekuly navázané na stříbrné nanočástici studovat.²²

Koloidní stříbro se začalo hojně používat poté, co byla ve 20. století zveřejněna v lékařských odborných textech první solidní studie, ve které se prokázalo, že koloidní stříbro je velmi silné přírodní antibiotikum. Koloidní stříbro je nejúčinnější proti choroboplodným bakteriím, avšak nehubí pro nás prospěšné bakterie ve velké míře. Při užívání uměle vytvořených antibiotik, si bakterie na tato antibiotika časem vytvoří rezistenci, čímž dojde k neúčinnosti antibiotik. Zatímco u koloidního stříbra si bakterie nejsou téměř schopny vytvořit rezistenci. Podle odborníků uměle vytvořené antibiotikum účinkuje jen na několik málo škodlivých bakterií, zatímco koloidní forma stříbra účinkuje až na několik set bakterií, virů a plísň.³⁵

Bohužel se také zjistilo, že při dlouhodobém vnitřním užívání stříbra v práškové podobě dochází k otravě stříbrem – argyrii. Otrava se projevuje šedým zbarvením očního bělma, pokožky a poškozením jater.³⁷

Kromě přímého použití jako léčiva jsou nanočástice stříbra používány k preventivním účelům ve formě kompozitů s organickými i anorganickými materiály. Všeobecné uplatnění našlo nanostříbro v oblasti ložního prádla, oblečení a textilií, kde se používá například při snížení zápachu ponožek a spodního prádla. Stříbrné nanočástice jsou využívány na povrchové úpravy plastů, myček, lednic, klimatizací, počítačových myší a klávesnic a mobilních telefonů, aby se na jejich povrchu minimalizovalo přežívání a šíření mikroorganismů. V dnešní době jsou stříbrné nanočástice využívány v řadě antibakteriálních sprejů, nátěrů nebo čisticích prostředků.³⁸

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 CHEMIKÁLIE

Na přípravu nanočástic stříbra jsem použila dusičnan stříbrný (p. a. Fagron), amoniak (vodný roztok, min. 28 % (m/m), Agrochem), sodná sůl polyakrylové kyseliny s molekulovou hmotností 1200 (45% vodný roztok, p.a. Sigma Aldrich), tetrahydridoboritan sodný (p.a. Sigma Aldrich). Na fázový přenos jsem použila cetyltrimethylammoniumchlorid (dále jen CTAC, 25% (m/m) Sigma Aldrich), dodecylamin (99%, Sigma-Aldrich), hexan (p. a. Lach-Ner), disperze nanočástic stříbra o koncentraci 5 000 mg/l, polyvinylpyrrolidon 360 (dále jen PVP 360, p.a. Sigma Aldrich), polyethylenglycol 1 500 (dále jen PEG 1 500, p.a. Fluka), hexylamin (99%, Sigma-Aldrich) deionizovanou vodu a toluen (p. a., Lach-Ner). Na rozpouštění vysušených sraženin jsem používala deionizovanou vodu, hexan (p. a., Lach-Ner) a izopropylalkohol (p.a., Sigma Aldrich).

3.2 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ

K měření UV/VIS spekter jsem použila spektrofotometr Specord S 600 (Analytic Jena, AG). Na pořízení snímků nanočástic stříbra byl použit transmisní elektronový mikroskop JEM--2010 (JEOL, Japonsko).

3.3 PŘÍPRAVA DISPERZE NANOČÁSTIC STŘÍBRA

Postup přípravy disperze nanočástic stříbra byl následující: do dvoulitrové kádinky jsem nalila 750 ml destilované vody a zavedla jsem do ní elektrickou míchačku. Na vahách jsem do 25 ml kádinky navázila 7,87 g dusičnanu stříbrného a nasypala jsem jej do připravené destilované vody v dvoulitrové kádince a spustila jsem míchačku. V dalším kroku jsem do dvoulitrové kádinky přilila 20 ml koncentrovaného amoniaku, který jsem nejdříve smíchala se 100 ml destilované vody. Dále jsem si připravila roztok 40 ml polyakrylové kyseliny smíchané se 40 ml destilované vody a tento roztok jsem vlila do kádinky, kde již byl dusičnan stříbrný a amoniak. Poté jsem navázila 300 mg tetrahydridoboritanu sodného v 50 ml odměrné baňce, kterou jsem po navážení tetrahydridoboritanu doplnila destilovanou vodou po rysku. Posledním krokem při přípravě disperze nanočástic stříbra bylo opatrné přikapávání roztoku

tetrahydridoboritanu přes skleněnou tyčinku do dvoulitrové kádinky, za stálého míchání míchačky. Roztok jsem nechala chvíli míchat, poté jsem míchačku vypnula. Po vyndání míchačky jsem disperzi nanočástic stříbra o výsledné koncentraci 5 000 mg/l přelila do zásobní litrové lahve.

3.4 ROZPUSTNOST VYBRANÝCH STABILIZÁTORŮ V HEXANU

Ve 20 ml hexanu jsem zkoušela rozpustnost devíti vybraných stabilizátorů (viz Tabulka 2).

V odměrném válci jsem si naměřila 20 ml hexanu a přelila jsem jej do 50ml kádinky a postupně jsem do něj přidávala po lžičce vybraný stabilizátor. Tento postup jsem použila u všech devíti vybraných stabilizátorů. Zjistila jsem, že se v hexanu rozpouští pouze PEG 1 500 a PVP 360 a proto byly tyto stabilizátory používány pro následující experimenty.

Tabulka 2: Rozpustnost vybraných stabilizátorů v hexanu

VYBRANÝ STABILIZÁTOR	20 ml HEXANU + MNOŽSTVÍ STABILIZÁTORU (g)
PEG 1 500	10 lžiček = 0,4048 g
PEG 10 000	Nerozpouští se
Poly(vinylalkohol) 98%	Nerozpouští se
Polyvinylpyrrolidone 360	5 lžiček = 0,0557 g
Tween 80	Nerozpouští se
Brij 98	Nerozpouští se
Topol 610s	Nerozpouští se
Želatina	Nerozpouští se
Triton x100	Nerozpouští se

3.5 FÁZOVÝ PŘENOS NANOČÁSTIC STŘÍBRA Z VODNÉ DO ORGANICKÉ FÁZE

Fázový přenos nanočástic stříbra z vodné do organické fáze jsem prováděla ve 100ml děličkách. Vodnou disperzi nanočástic stříbra (koncentrace Ag 5000 mg/l) o objemu 20 ml jsem smíchala s 20 ml hexanu nebo toluenu (ve kterých byly v některých případech přítomny stabilizátory PEG 1500 nebo PVP 360). Ve 20 ml hexanu se rozpouštělo přibližně 0,0557 g PVP 360 a 0,4048 g PEG 1500). Přenosová činidla (CTAC nebo dodecylamin) byla vpravena buď do vodné disperze nanočástic stříbra nebo do organického rozpouštědla. Používaný objem přenosového činidla přidávaný do vodné disperze nanočástic stříbra nebo do organického rozpouštědla činil 1 ml. Poté jsem v děličce třepala asi půl minuty, aby se došlo k přenosu nanočástic stříbra z vodné do organické fáze, a poté jsem ji nechala odstát (Obrázek 8) 30 minut. Po uvedené době jsem z děličky vypustila vodu do odpadní kádinky a nanočástice převedené do organického rozpouštědla, jsem vypustila do 50ml kádinky a na dva dny jsem ji umístila do exsikátoru, který byl napojen na vakuum, aby došlo k odpaření rozpouštědla.



Obrázek 8: Fázový přenos nanočástic z vodné fáze do organického rozpouštědla za využití přenosového činidla a stabilizátoru

4 VÝSLEDKY A DISKUSE

4.1 FÁZOVÝ PŘENOS

K případné stabilizaci disperze částic v pevném stavu vytvořených fázovým přenosem z vodného prostředí do organického rozpouštědla jsem použila stabilizátory PEG 1500 a PVP 360, protože jak jsem zjistila v předchozích experimentech, byly to jediné dva stabilizátory, které se rozpouštěly v hexanu. Poté, co jsem zjistila, jaké množství stabilizátoru PEG 1500 nebo PVP 360 se rozpouští v 20 ml hexanu, jsem tento počet lžiček navážila a zaznamenala, aby byla navážka pro každý experiment stejná.

4.1.1 Fázový přenos nanočástic stříbra do hexanu bez použití stabilizátoru

První čtyři experimenty byly provedeny za přítomnosti přenosových činidel CTAC nebo dodecylaminu a bez použití stabilizátorů PEG 1500 nebo PVP 360. První dva experimenty jsem dělala s použitím CTAC a druhé dva experimenty jsem dělala s použitím dodecylaminu. Pro tyto čtyři experimenty jsem udělala dva různé postupy, které se lišily v tom, jestli se přidalo přenosové činidlo do disperze nanočástic stříbra nebo do hexanu. U prvního a druhého experimentu jsem 20 ml disperze nanočástic stříbra smíchala s 1 ml CTAC (vzorek 1.1) nebo s 1 ml dodecylaminu (vzorek 2.1) a poté jsem přilila 20 ml hexanu. U druhého a třetího experimentu jsem smíchala 1 ml CTAC (vzorek 1.2) nebo s 1 ml dodecylaminu (vzorek 2.2) s 20 ml hexanu a přilila jsem tento roztok do 20 ml koloidní disperze koloidního stříbra.

I když se mi při experimentu, kdy se dodecylamin přidával přímo do koloidní disperze koloidního stříbra, povedlo připravit nanočástice v práškové formě, dále jsem dodecylamin jako přenosové činidlo nepoužívala, protože disperze částic v pevném stavu vytvořené s použitím dodecylaminu, jako přenosového činidla nešly rozdispergovat v žádném z vybraných rozpouštědel (voda, izopropylalkohol, hexan).

4.1.2 Fázový přenos v hexanu s použitím stabilizátoru

Další čtyři experimenty jsem prováděla s použitím PEG 1 500 nebo PVP 360 jako stabilizátoru, které byly přidávány do hexanu. U prvních dvou experimentů jsem

20 ml disperze nanočástic stříbra smíchala s 1 ml CTAC a poté jsem přilila 20 ml hexanu, v němž byl rozpuštěn stabilizátor 0,4048 g PEG 1 500 (vzorek 3.1) nebo 0,0557 g PVP 360 (vzorek 4.1). U třetího a čtvrtého vzorku jsem smíchala 1 ml CTAC s 20 ml hexanu, ve kterém byl rozpuštěn stabilizátor 0,4048 g PEG 1 500 (vzorek 3.2) nebo 0,0557 g PVP 360 (vzorek 4.2) a přilila jsem tento roztok do 20 ml disperze nanočástic stříbra.

4.1.3 Fázový přenos v hexanu s použitím stabilizátoru a hexylaminu

Z předchozích experimentů jsem zjistila, že mnohem účinnější postup je ten, při kterém se přenosové činidlo CTAC přidává rovnou do disperze nanočástic stříbra, proto jsem postup, kdy se CTAC přidává do hexanu, dále neprováděla. Jako druhé přenosové činidlo byl v těchto následujících experimentech používán hexylamin a ne dodecylamin, a to z toho důvodu, že dodecylamin byl odcizen a nebyl již dostatek času na objednání nového dodecylaminu. V těchto typech experimentů byl také zkoumán případný synergický účinek na přenos nanočástic stříbra, tedy že byly použity obě dvě přenosová činidla zároveň (buď byly obě látky přítomny ve vodné fázi nebo jedna ve vodné a druhá v organické fázi).

V prvních třech experimentech jsem použila jako přenosové činidlo CTAC a hexylamin, které jsem přidávala přímo do koloidní disperze koloidního stříbra a jejich postup přípravy byl stejný, s tím rozdílem, že se experimenty prováděly bez stabilizačního činidla nebo se stabilizačním činidlem PEG 1 500 nebo PVP 360. V prvním experimentu jsem 20 ml koloidní disperze koloidního stříbra smíchala s 1 ml CTAC a 0,5 ml hexylaminu a poté jsem přilila 20 ml hexanu (vzorek 5.1). Ve druhém experimentu jsem 20 ml koloidní disperze koloidního stříbra smíchala s 1 ml CTAC a 0,5 ml hexylaminu a poté jsem přilila 20 ml hexanu, v němž bylo rozpuštěno 0,4048 g PEG 1 500 (vzorek 5.2) nebo 0,0557 g PVP 360 (vzorek 5.3).

V následujících třech experimentech jsem opět použila jako přenosové činidlo CTAC a hexylamin. I tentokrát jsem CTAC přidávala přímo do koloidní disperze koloidního stříbra, ale hexylamin jsem přidávala do hexanu. Postup přípravy těchto tří experimentů byl stejný, s tím rozdílem, že se experimenty prováděly bez stabilizačního činidla nebo se stabilizačním činidlem PEG 1 500 nebo PVP 360.

V prvním z těchto tří experimentů jsem 20 ml koloidní disperze koloidního stříbra smíchala s 1 ml CTAC a 1 ml destilované vody a poté jsem přilila 20 ml

hexanu, který byl smíchaný s 0,5 ml hexylaminu (vzorek 6.1). Ve druhém z experimentů jsem 20 ml koloidní disperze koloidního stříbra smíchala s 1 ml CTAC a 1 ml destilované vody a poté jsem přilila 20 ml hexanu, v němž bylo rozpuštěno 0,4048 g PEG 1 500 (vzorek 6.2) nebo 0,0557 g PVP 360 (vzorek 6.3) + 0,5 ml hexylaminu.

4.1.4 Fázový přenos do toluenu za využití přenosového činidla CTAC

U těchto tří experimentů jsem dělala stejný postup přípravy s tím rozdílem, že v prvním experimentu nebylo přítomno stabilizační činidlo a ve druhém a třetím experimentu bylo přítomno stabilizační činidlo PEG 1 500 nebo PVP 360.

Zaprvé jsem 20 ml koloidní disperze koloidního stříbra smíchala s 1 ml CTAC a poté jsem přilila 20 ml toluenu (vzorek 7.1). Zadruhé jsem 20 ml koloidní disperze koloidního stříbra smíchala s 1 ml CTAC a poté jsem přilila 20 ml toluenu, v němž bylo rozpuštěno 0,4048 g PEG 1 500 (vzorek 7.2) nebo 0,0557 g PVP 360 (vzorek 7.3).

Do tabulky 3 jsem zaznamenala barvu a vzhled nanočástic v pevném stavu vzniklých fázovým přenosem z vodného prostředí do organického rozpouštědla, po vysušení v exsikátoru.

Tabulka 3: Barva a vzhled nanočástic v pevném stavu vzniklých fázovým přenosem z vodného prostředí do hexanu, po vysušení v exsikátoru

VZOREK Č.	BARVA	VZHLED
1.1	Tmavě hnědá	Lepící se hmota
1.2	Tmavě hnědá	Mírně se lepící hmota
2.1	Šedá	Lehce lze rozdrtit na prášek
2.2	Tmavě hnědá	Lepící se hmota
3.1	Tmavě hnědá	Gelovitá forma
3.2	Tmavě hnědá	Gelovitá forma
4.1	Tmavě hnědá	Gelovitá forma
4.2	Tmavě hnědá	Gelovitá forma
5.1	Tmavě hnědá	Gelovitá forma
5.2	Tmavě hnědá	Gelovitá forma
5.3	Tmavě hnědá	Gelovitá forma
6.1	Tmavě hnědá	Gelovitá forma
6.2	Tmavě hnědá	Gelovitá forma
6.3	Tmavě hnědá	Gelovitá forma
7.1	Tmavě hnědá	Gelovitá forma
7.2	Tmavě hnědá	Gelovitá forma
7.3	Tmavě hnědá	Gelovitá forma

4.2 DISPERZE NANOČÁSTIC

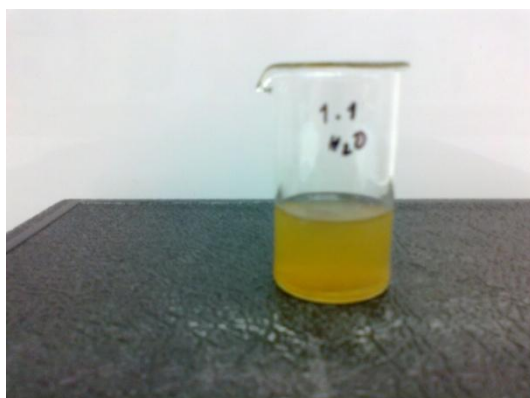
U každého vzorku, který byl připravený fázovým přenosem nanočástic stříbra z vodné disperze do hexanu, jsem studovala jeho dispergovatelnost ve třech různých rozpouštědlech. Těmito rozpouštědly byly: destilovaná voda, hexan a izopropylalkohol. Na každé rozpouštění jsem si odvážila 50 mg nanočástic v pevném stavu, vzniklých fázovým přenosem z vodného prostředí do organického rozpouštědla a po vysušení v exsikátoru, do 50ml kádinky a smíchala jsem je s 10 ml příslušného rozpouštědla. Například, navážila jsem 50 mg vzorku 1.1 (20 ml koloidní disperze koloidního stříbra smíchaných s 1 ml CTAC a poté přilítých 20 ml hexanu) a smíchala jsem jej s 10 ml destilované vody, dále jsem navážila 50 mg vzorku 1.1 (20 ml koloidní disperze koloidního stříbra smíchaných s 1 ml CTAC a poté přilítých 20 ml hexanu) a smíchala jsem jej s 10 ml hexanu a do třetice jsem navážila 50 mg vzorku 1.1 (20 ml koloidní disperze koloidního stříbra smíchaných s 1 ml CTAC a poté přilítých 20 ml hexanu) a smíchala jsem jej s 10 ml izopropylalkoholu. Tento postup jsem opakovala u všech vzorků nanočástic vzniklých fázovým přenosem z vodného prostředí do organického rozpouštědla a po vysušení v exsikátoru. Po smíchání vzorků nanočástic, vzniklých fázovým přenosem z vodného prostředí do organického prostředí, s rozpouštědlem jsem kádinky umístila vždy na pár minut do ultrazvuku, aby se nanočástice lépe rozdispergovaly.

VÝSLEDKY DISPERGOVÁNÍ NANOČÁSTIC STŘÍBRA PŘEVEDENÝCH DO PEVNÉHO STAVU

V tabulce 4–8 je uvedeno, jak se jednotlivé vzorky nanočástic, vzniklých fázovým přenosem z vodného prostředí do organického prostředí, dispergovaly v destilované vodě, hexanu a izopropylalkoholu.

Tabulka 4: Dispergace vzorků 1.1–2.2 v destilované vodě, hexanu a izopropylalkoholu

VZ. Č.	DESTILOVANÁ VODA	HEXAN	ISOPROPANOL
1.1	Podařilo se dispergovat, ale na dně se usazují nerozdispergované částice stříbra, které lze však snadno roztřepat. (Obrázek 9)	Podařilo se dispergovat, ale na dně se usazují nerozdispergované částice stříbra, které lze však snadno roztřepat.	Podařilo se dispergovat, ale na dně se usazují nerozdispergované částice stříbra, které lze však snadno roztřepat.
1.2	Podařilo se dispergovat, ale na dně se usazují nerozdispergované částice stříbra, které lze však snadno roztřepat.	Podařilo se dispergovat, ale na dně se usazují nerozdispergované částice stříbra, které lze však snadno roztřepat.	Podařilo se dispergovat, ale na dně se usazují nerozdispergované částice stříbra, které lze však snadno roztřepat.
2.1	Nepodařilo se dispergovat	Nepodařilo se dispergovat	Nepodařilo se dispergovat
2.2	Nepodařilo se dispergovat	Nepodařilo se dispergovat	Nepodařilo se dispergovat



Obrázek 9: Vzorek 1.1 (přípravený fázovým přenosem nanočástic stříbra do hexanu, kde přenosové činidlo CTAC byl přítomen ve vodné fázi) dispergovaný v destilované vodě

Tabulka 5: Dispergace vzorků 3.1–4.2 v destilované vodě, hexanu a izopropylalkoholu

VZ. Č.	DESTILOVANÁ VODA	HEXAN	IZOPROPYLALKOHOL
3.1	Podařilo se dispergovat, ale ne zcela. Vytvářejí se makroskopické shluky částic.	Nepodařilo se dispergovat	Podařilo se dispergovat, ale při stání vznikají nerozdispergované částice stříbra, které lze opětovně roztřepat.
3.2	Podařilo se dispergovat, ale ne zcela. Vytvářejí se makroskopické shluky částic.	Nepodařilo se dispergovat	Podařilo se dispergovat, ale při stání vznikají nerozdispergované částice stříbra, které lze opětovně roztřepat.
4.1	Podařilo se dispergovat, ale ne zcela. Vytvářejí se makroskopické shluky částic.	Nepodařilo se dispergovat	Podařilo se dispergovat, ale při stání vznikají nerozdispergované částice stříbra, které lze opětovně roztřepat.
4.2	Podařilo se dispergovat, ale ne zcela. Vytvářejí se makroskopické shluky částic.	Nepodařilo se dispergovat	Podařilo se dispergovat (Obrázek 10), ale při stání vznikají nerozdispergované částice stříbra, které lze opětovně roztřepat.



Obrázek 10: Vzorek 4.2 (připravený fázovým přenosem nanočástic stříbra do hexanu, ve kterém bylo přítomno stabilizační činidlo PEG 1500 a přenosové činidlo CTAC bylo přítomno ve vodné fázi) dispergovaný v izopropylalkoholu

Tabulka 6: Dispergace vzorků 5.1–5.3 v destilované vodě, hexanu a izopropylalkoholu

VZ. Č.	DESTILOVANÁ VODA	HEXAN	ISOPROPANOL
5.1	Podařilo se dispergovat jen velmi málo. V kádince zůstává makroskopický shluk částic, který nelze rozpustit ani v ultrazvuku.	Nepodařilo se dispergovat	Podařilo se zcela dispergovat.
5.2	Podařilo se dispergovat větší část, ale v kádince zůstává makroskopický shluk částic.	Nepodařilo se dispergovat	Podařilo se zcela dispergovat
5.3	Podařilo se dispergovat větší část, ale v kádince zůstává makroskopický shluk částic.	Nepodařilo se dispergovat	Podařilo se zcela dispergovat

Tabulka 7: Dispergace vzorků 6.1–6.3 v destilované vodě, hexanu a izopropylalkoholu

VZ. Č.	DESTILOVANÁ VODA	HEXAN	ISOPROPANOL
6.1	Podařilo se dispergovat větší část, ale v kádince zůstává makroskopický shluk částic.	Nepodařilo se dispergovat	Podařilo se zcela dispergovat
6.2	Podařilo se dispergovat větší část, ale v kádince zůstává makroskopický shluk částic.	Nepodařilo se dispergovat	Podařilo se zcela dispergovat
6.3	Podařilo se dispergovat větší část, ale v kádince zůstává makroskopický shluk částic.	Nepodařilo se dispergovat	Podařilo se zcela dispergovat

Tabulka 8: Dispergace vzorků 7.1–7.3 v destilované vodě, hexanu a izopropylalkoholu

VZ. Č.	DESTILOVANÁ VODA	HEXAN	ISOPROPANOL
7.1	Podařilo se dispergovat větší část, ale v kádince zůstává makroskopický shluk částic.	Nepodařilo se dispergovat	Podařilo se zcela dispergovat
7.2	Podařilo se dispergovat větší část, ale v kádince zůstává makroskopický shluk částic.	Nepodařilo se dispergovat	Podařilo se zcela dispergovat
7.3	Podařilo se dispergovat větší část, ale v kádince zůstává makroskopický shluk částic.	Nepodařilo se dispergovat	Podařilo se zcela dispergovat

Vzorky připravené v přítomnosti dodecylaminu, jako přenosového činidla, se nepodařilo rozdispergovat v žádném z vybraných rozpouštědel.

V hexanu se dispergovaly pouze vzorky 1.1 (vzniklé smícháním 20 ml koloidní disperze koloidního stříbra s 1 ml CTAC a poté přilítých 20 ml hexanu) a 1.2 (vzniklé smícháním 20 ml koloidní disperze koloidního stříbra a 20 ml hexanu, který byl smíchaný s 1 ml CTAC).

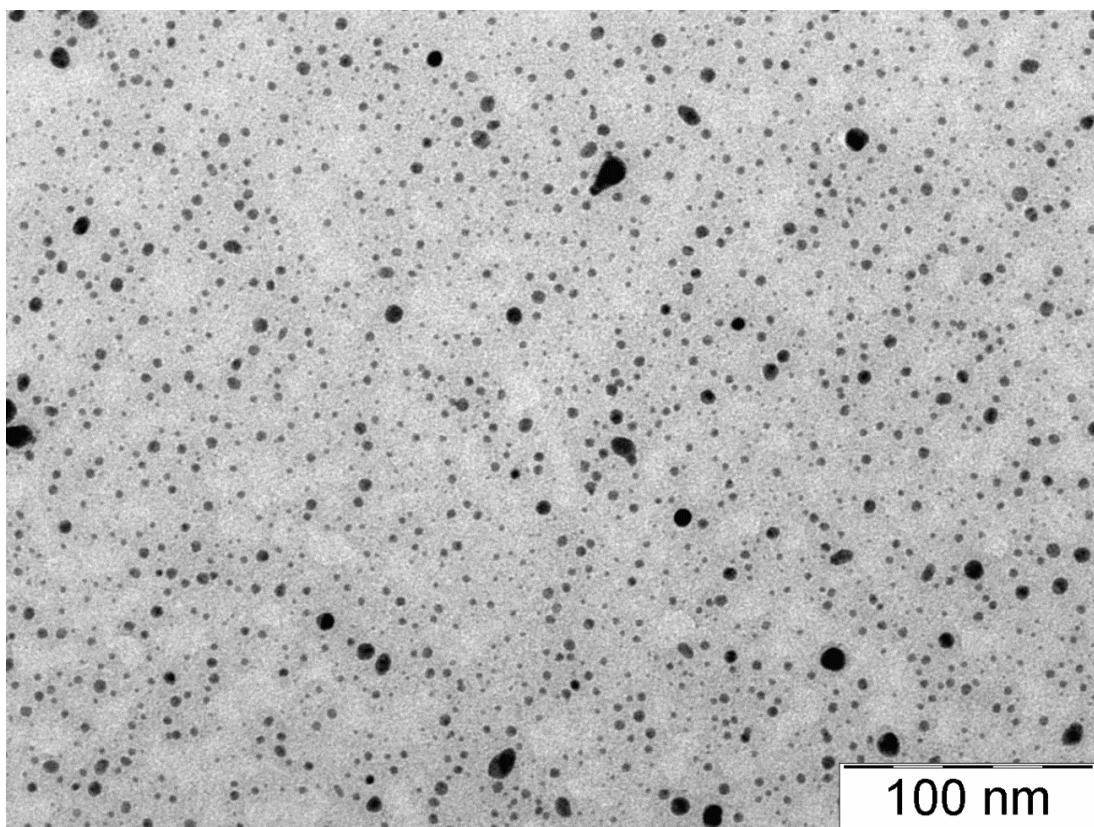
Vzorky 5.1–6.3 ve kterých byla dohromady přítomna přenosová činidla CTAC a hexylamin se z části dispergovaly v destilované vodě, za vzniku nedispergovaných hrudek.

V destilované vodě se také z části dispergovaly vzorky 3.1 a 3.2 (s využitím přenosového činidla CTAC a stabilizačního činidla PVP 360) a vzorky 4.1 a 4.2 (s využitím přenosového činidla CTAC a stabilizačního činidla PEG 1 500), za vzniku shluků, které se bylo možné v ultrazvuku roztřepat na malé částčky.

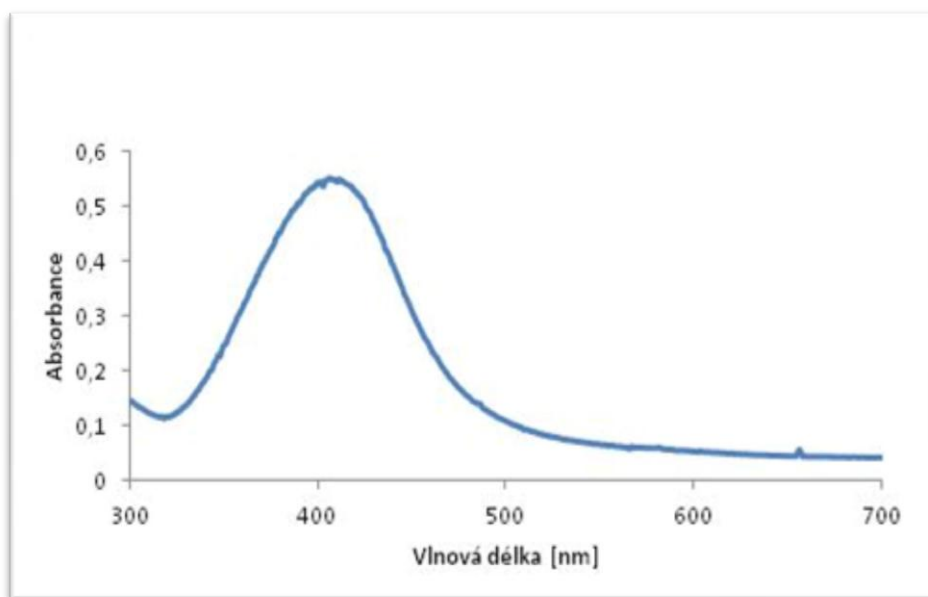
Vzorky 3.1 a 3.2 (s využitím přenosového činidla CTAC a stabilizačního činidla PVP 360) a vzorky 4.1 a 4.2 (s využitím přenosového činidla CTAC a stabilizačního činidla PEG 1 500) se dobře dispergovaly i v izopropylalkoholu (mnohem lépe, než v destilované vodě). Po delším stání vzorku se na dně zkumavek usazovaly nerozdispergované částice stříbra, které bylo možné jednoduše roztřepat v ruce.

Nejlépe se ze všech vzorků dispergovaly vzorky 5.1–6.3, ve kterých byla dohromady přítomna přenosová činidla CTAC a hexylamin, dispergované v izopropylalkoholu. Tyto vzorky byly dokonale rozdispergovatelné a i po dlouhém stání ve zkumavkách se nevytvořily žádné nerozdispergované částice stříbra.

Samostatnou skupinou vzorků byly experimenty s toluenem. V hexanu se nedispergoval ani jeden ze vzorků, v destilované vodě se dispergovaly všechny tři vzorky, za vzniku nerozdispergovaných částic a v izopropylalkoholu se vzorky dispergovaly dokonale.



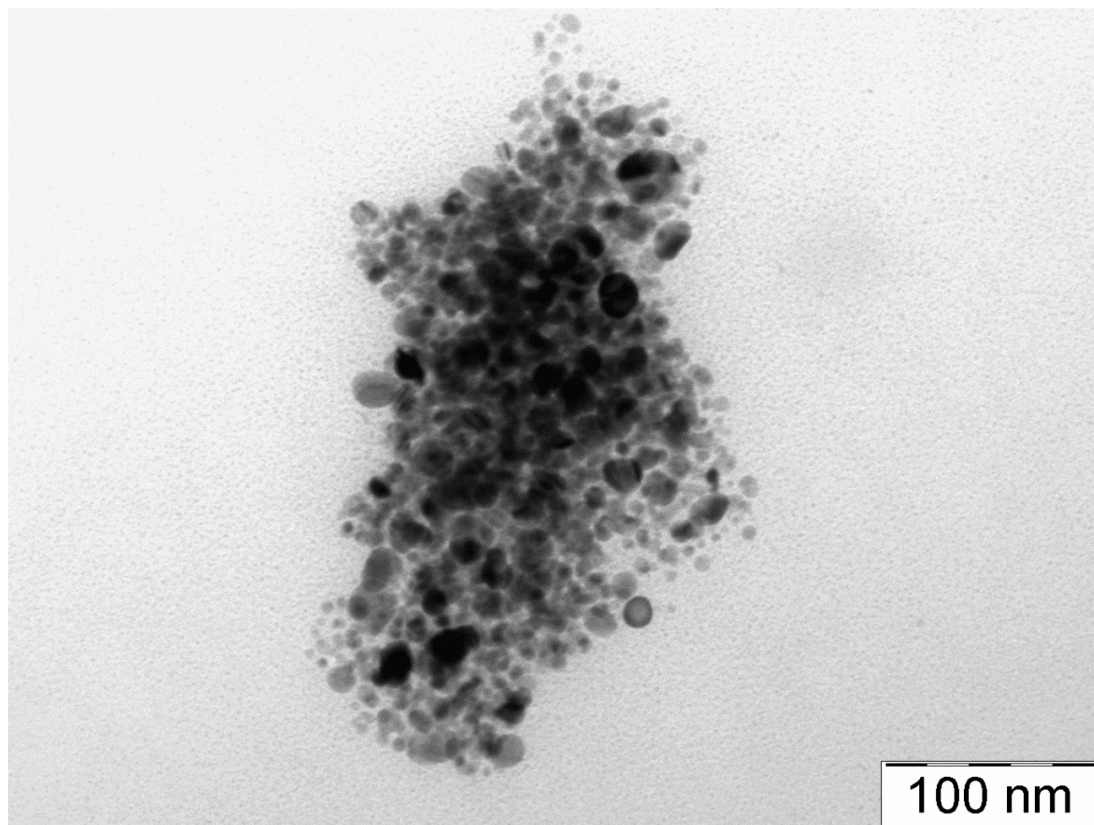
Obrázek 11: TEM snímek koloidních částic stříbra původní koloidní disperze nanočástic stříbra o koncentraci 5 000 mg/l



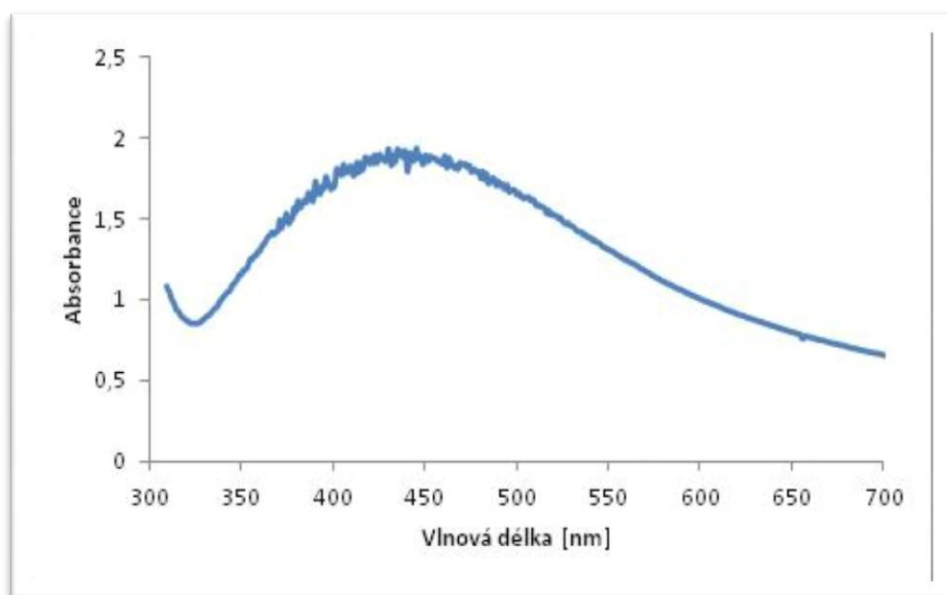
Obrázek 12: Absorpční spektrum původní koloidní disperze nanočástic stříbra o koncentraci 5 000 mg/l

Na snímku z TEM (Obrázek 11) původní koloidní disperze koloidního stříbra o koncentraci 5 000 mg/l můžeme vidět kulovité poměrně monodisperzní nanočástice stříbra. Většina částic má rozměry v rozmezí 5–10 nm. Je zde však i přítomna malá frakce částic s rozměry 10–20 nm.

Poloha absorpčního maxima původní koloidní disperze nanočástic stříbra o koncentraci 5 000 mg/l (Obrázek 12) se nachází při 408 nm.



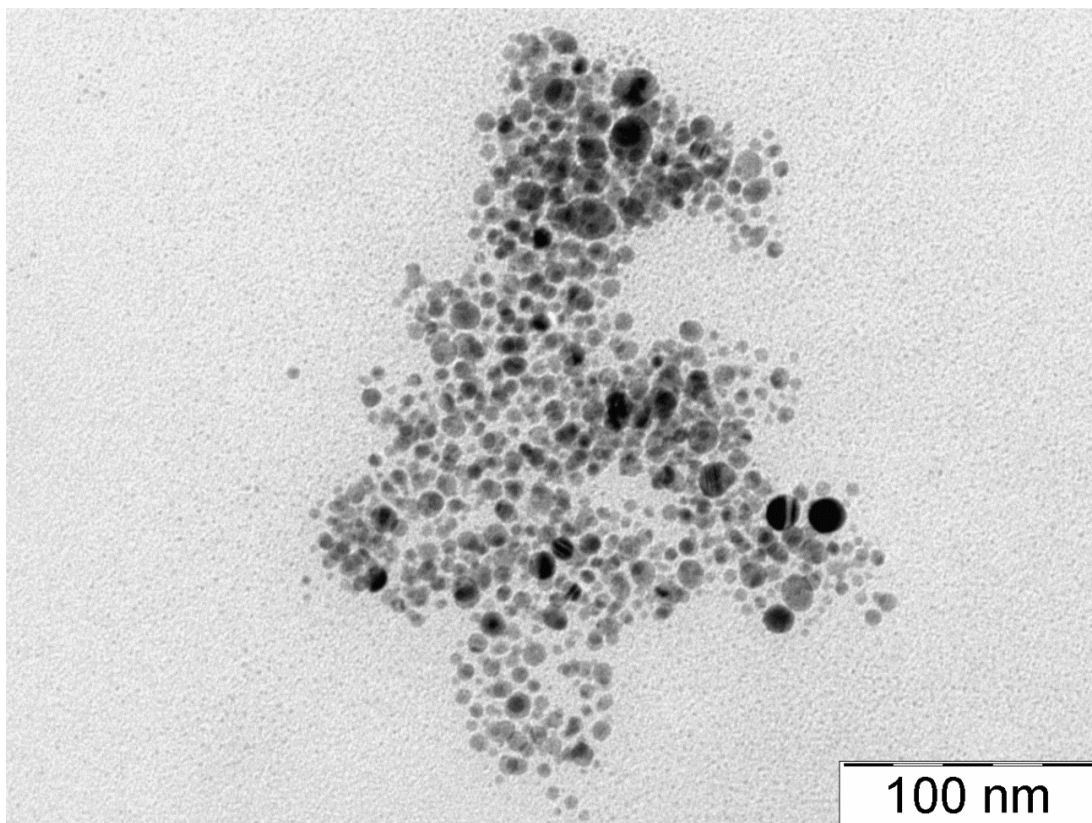
Obrázek 13: TEM snímek koloidních částic stříbra vzniklých po disperzi vzorku 5.2 (ve kterém byla dohromady přítomna přenosová činidla a hexylamin) v izopropylalkoholu



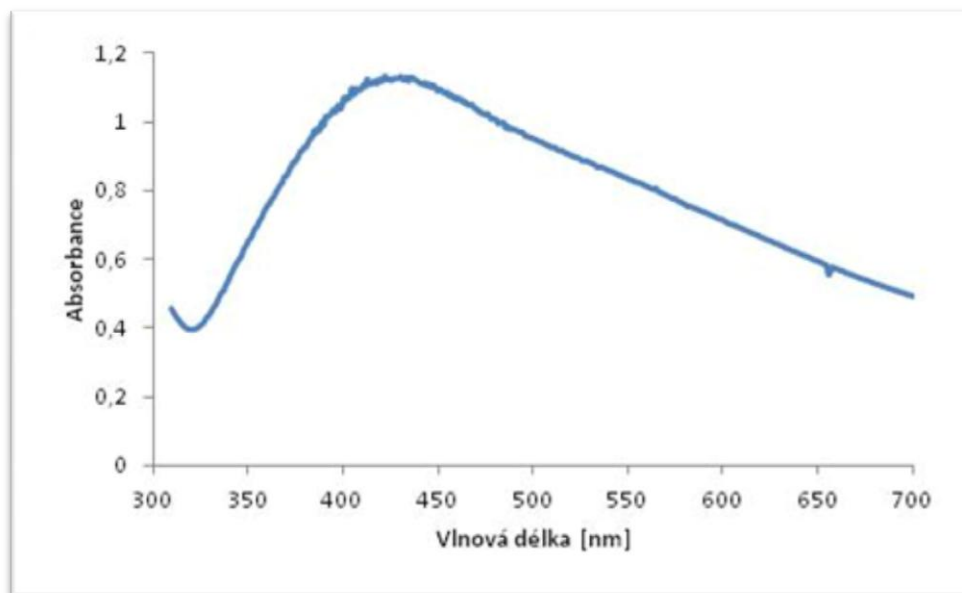
Obrázek 14: Absorpční spektrum nanočástic stříbra vzniklých po disperzi vzorku 5.2 (ve kterém byla dohromady přítomna přenosová činidla CTAC a hexylamin) v izopropylalkoholu

Na snímku z TEM (Obrázek 13) nanočástic stříbra vzniklých po disperzi vzorku 5.2 (ve kterém byla dohromady přítomna přenosová činidla CTAC a hexylamin) v izopropylalkoholu můžeme vidět polydisperzní částice koloidního stříbra. Převahu mají nanočástice o velikosti přibližně 10 nm.

Z absorpčního spektra (Obrázek 14) nanočástic stříbra vzniklých po disperzi vzorku 5.2 (ve kterém byla dohromady přítomna přenosová činidla CTAC a hexylamin) v izopropylalkoholu je vidět poloha absorpčního maxima, která se nacházela při 435,5 nm.



Obrázek 15: TEM snímek koloidních částic stříbra vzniklých po disperzi vzorku 6.2 (ve kterém byla dohromady přítomna přenosová činidla CTAC a hexylamin) v izopropylalkoholu



Obrázek 16: Absorpční spektrum nanočástic stříbra vzniklých po disperzi vzorku 6.2 (ve kterém byla dohromady přítomna přenosová činidla CTAC a hexylamin) v izopropylalkoholu

Na snímku z TEM (Obrázek 15) nanočástic stříbra vzniklých po disperzi vzorku 5.2 (ve kterém byla dohromady přítomna přenosová činidla CTAC a hexylamin) v izopropylalkoholu můžeme vidět polydisperzní částice koloidního stříbra. Převahu mají nanočástice o velikosti přibližně 2–8 nm a nacházejí se zde i nanočástice o velikosti 10–15 nm.

Z absorpčního spektra (Obrázek 16) nanočástic stříbra vzniklých po disperzi vzorku 5.2 (ve kterém byla dohromady přítomna přenosová činidla CTAC a hexylamin) v izopropylalkoholu je vidět poloha absorpčního maxima, která se nacházela při 431 nm.

5 ZÁVĚR

V této bakalářské práci jsem se zabývala přípravou nanočástic stříbra v práškové formě a následnou disperzí nanočástic do destilované vody, hexanu a izopropylalkoholu. Dispergované nanočástice v organickém rozpouštědle byly charakterizovány pomocí transmisního elektronového mikroskopu (TEM) a UV-Vis absorpční spektroskopie.

Velikost původní koloidní disperze koloidních částic o výsledné koncentraci 5 000 mg/l byla 5–10 nm a vyskytovaly se zde i nanočástice o velikosti 10–20 nm. Nanočástice měly kulovitý tvar a byly monodisperzní. Poloha absorpčního maxima těchto částic se nacházela při 408 nm.

Ze všech vzorků se nejlépe dispergovaly ty vzorky, které byly připraveny za účasti obou dvou přenosových činidel (CTAC i hexylamin) dohromady. Tyto vzorky byly dispergovány v izopropylalkoholu, za úplného rozdispergování a bez dodatečného usazování nerozdispergovaných částic stříbra na dně. Velikost nanočástic, které byly vytvořeny smícháním 20 ml koloidní disperze koloidních částic s 1 ml CTAC a 0,5 ml hexylaminu a následným přidáním 20 ml hexanu, ve kterém bylo rozpuštěno 0,0557g PVP 360, byla zhruba 10 nm. Poloha absorpčního maxima těchto částic se nacházela při 435,5 nm. Velikost nanočástic, které byly vytvořeny smícháním 20 ml koloidní disperze koloidních částic s 1 ml CTAC a 1 ml destilované vody a následným přidáním 20 ml hexanu, ve kterém bylo rozpuštěno 0,0557g PVP 360 a 0,5 ml hexylaminu, byla zhruba 2–8 nm a několik nanočástic mělo velikost 10–15 nm. Poloha absorpčního maxima těchto částic se nacházela při 431 nm.

Podařilo se mi převést částice z vodného prostředí do hexanu, který jsem vysušila za vzniku gelovitých forem, který jsem zpětně rozdispergovala v isopropanolu, na polydisperzní nanočástice o průměrné velikosti 10 nm, což je blízké velikosti monodisperzních nanočástic původní koloidní disperze koloidních částic.

6 SUMMARY

In this work I was engaged in the preparation of silver nanoparticles in powder form and consequent dispergation of nanoparticles in distilled water, hexane and isopropyl alcohol. Nanoparticles dispersed in an organic solvent were characterized by transmission electron microscopy (TEM) and UV-Vis absorption spectroscopy.

Size of the original colloidal dispersion of colloidal particles with a final concentration of 5000 mg/l was 5-10 nm and occurred here and nanoparticles of size 10-20 nm. The nanoparticles had spherical shape and were monodisperse. The absorption spectrum shows absorption maximum at 408 nm.

Of all the samples were best dispersed those samples that were prepared using two transfer agents (CTAC and hexylamin). These samples were dispersed in isopropyl alcohol and a dispersed without additional sludge sedimentation on the bottom of the tubes. The size of nanoparticles, which were created by mixing 20 ml colloidal dispersion of colloidal particles with 1 ml and 0.5 ml of CTAC hexylamine and then adding 20 ml of hexane was about 10 nm. Absorption maximum of these nanoparticles was 436 nm. The size of nanoparticles, which were created by mixing 20 ml dispersion of silver nanoparticles with 1 ml of CTAC and 1 ml of distilled water and then adding 20 ml of hexane and 0.5 ml hexylaminu was about 2-8 nm and several nanoparticle size was 10-15 nm. Absorption maximum, of these polydisperse nanoparticles was 431 nm.

7 POUŽITÁ LITERATURA

1. Ščukin, E. D.; Percov, A. V.; Amelinová, E. A. *Koloidní chemie*, Academia Praha, Praha, 1990.
2. stránky VŠB TU Ostrava, staženo 4. 3. 2012
3. chemikalie.upol.cz/skripta/msk/msk.pdf. staženo 2. 1. 2012
4. Zhao J., Jensen L., Sung J, Zou S., Schatz G. C., Van Duyne R. P.: *J Am Chem Soc.* 2007, 129, s. 7647–7656.
5. Zhang, Feng, et al. *Application of Silver Nanoparticles to Cotton Fabric as an Antibacterial Textile Finish*. *Fibers and polymers*. 2009, 4, s. 496–501.
6. Kvítek L., Panáček A. a kol.: *J. Phys. Chem.*, 112, 5825–5834, 2008
7. Kvítek, L; Pucek, R. *Journal of Materials Science* 2005, Springer, 2005.
8. Kvítek L., Pucek R., Panáček A.: *Journal of material chemistry*, 15, 1029–1105, 2005.
9. Komers, K. *Základy koloidní chemie*, Vydavatelství Univerzity Pardubice, Pardubice 1996.
10. Kvítek, L; Panáček, A. *Základy koloidní chemie*, Vydavatelství Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2007.
11. Fischer, O; Kišová, L; Miadoková, M; Mollin, J. *Fyzikální Chemie (Termodynamika, Elektrochemie, Kinetika, Koloidní Soustavy)*, Státní Pedagogické Nakladatelství Praha, 1983.
12. Novák J. a kol: *Fyzikální chemie II*, VŠCHT Praha, 2001.
13. Vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/mereni_osmotickeho_tlaku.html staženo 13. 2. 2012
14. vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/ultramikroskop.html, staženo 13. 2. 2012
15. Bartovská L., Šisiková M.: *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2005.
16. Kvítek, L., et al. *Nanočástice stříbra – příprava, vlastnosti a aplikace*, Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Rožnov pod Radhoštěm 2009, Nanocon 2009, 8, ISBN 978-80-87294-12-3.

17. Řezanka P., *Nanočástice – Nanočástice I* [on-line], Korespondenční seminář inspirovaný chemickou tematikou, ročník 7, série 1.
<http://ksicht.natur.cuni.cz/serialy/nanocastice/1>. staženo 2. 3. 2012
18. <http://ksicht.natur.cuni.cz/media/serialy/nanocastice-1/stabilizace.png>,
staženo 2. 3. 2012
19. *Klasifikace disperzí* [on-line].
<http://kmlinux.fjfi.cvut.cz/~novotfil/skola/ROZHRANI/A-PREDN-07/32-Stabilita-disperz%ED.doc>. Staženo 5. 5. 2012
20. Kvítek L., Prucek R., Panáček A.: *Journal of material chemistry*, 15, 1029–1105, 2005.
21. Řezanka, P.; Záruba, K. et Král. V. (2007): *Chemické listy* 101, 881–885.
22. Kvítek, L; Prucek, R.; Panáček, A.; et. al. *Journal of Materials Science* 2005, 15, 1099–1105.
23. Kvítek, L. *Studium přípravy a aplikačních možností nanočástic stříbra*, Olomouc, 2008, 79 s. Habilitační práce. Univerzita Palackého v Olomouci.
24. Shirtcliffe, N; Nickel, U; Schneider, S; *Journal of Colloid and Interface Science* 1999, 211, 122–129.
25. Zielinska, A.; et al. *Procedia Chemistry* 2009, 1, 1560–1566.
26. Songping, W; Shuyuan, M; *Materials Chemistry and Physics* 2005, 89, 423–427.
27. Qin, Y; et al. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 2010, 372, 172–176.
28. Guiquan Guo, Weiping Gan, Jian Luo, Feng Xiang, Jinling Zhang, Hua Zhou, Huan Liu, *Preparation and dispersive mechanism of highly dispersive ultrafin silver powder*, *Applied Surface Science* 256 (2010) 6683–6687
29. Z.H. Liu, Z.Y. Liu, Q.H. Li, H.P. Wu, D.M. Zhang, *Morphology control of microsized spherical silver powder prepared by spray pyrolysis*, *The Chinese Journal of Nonferrous Metals* 17 (1) (2007) 149–155.
30. M.Z. Si, Y. Fang, J.L. Peng, P.X. Zhang, *Nano-silver colloids prepared by electrolysis and research on its SERS activity*, *Spectroscopy and Spectral Analysis* 27 (5) (2007) 948–952.
31. J.L.H. Chau, M.K. Hsu, C.C. Hsieh, C.C. Kao, *Microwave plasma synthesis of silver nanopowders*, *Materials Letters* 59 (2005) 905–908.

32. J. Keskinen, P. Ruuskanen, M. Karttunen, S.P. Hannula, *Synthesis of silver powder using a mechanochemical process*, *Applied Organometallic Chemistry* 15 (2001) 393–395.
33. Zhao, T.; et al. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 2010, 366, 197–202.
34. Chen, X; Schluesener, H. J. *Toxicology Letters*, 2008, 176, 1-12.
35. www.koloidni-stribro.com staženo 5. 5. 2012
36. Kholoud, M. M. Abou El-Nour; Ala'a Eftaiha; et al. *Arabian Journal of Chemistry* 2010, 3, 135–140.
37. www.silver-colloids.com, staženo 5. 5. 2012
38. Mošek, J. *Úvod do nanotechnologie*, Nakladatelství ČVUT, Praha 2010.