

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Přirodovědecká fakulta

Katedra fyzikální chemie



**Studium vlivu prostředí na zeta potenciál
nanočástic stříbra**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracovala:

Petra Sitárová

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. RNDr. Libor Kvítek, CSc.

Olomouc 2011

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením pana doc. RNDr. Libora Kvítka, CSc. Dále prohlašuji, že jsem veškeré použité podklady a literaturu uvedla v seznamu použité literatury.

V Olomouci dne

.....

Sitárová Petra

Poděkování

Děkuji především vedoucímu této bakalářské práce panu doc. RNDr. Liboru Kvítkovi, CSc. za odborné vedení a cenné připomínky. Mé poděkování patří také pracovníkům Katedry fyzikální chemie za ochotu a pomoc při experimentálních měřeních.

Bibliografická identifikace

| | |
|--------------------------|--|
| Jméno a příjmení autora: | Petra Sitárová |
| Název práce: | Studium vlivu prostředí na zeta potenciál nanočástic stříbra |
| Typ práce: | Bakalářská |
| Pracoviště: | Katedra fyzikální chemie |
| Vedoucí práce: | Doc. RNDr. Libor Kvítek, CSc. |
| Rok obhajoby: | 2011 |
| Abstrakt: | V předložené bakalářské práci byl studován vliv organického rozpouštědla ve směsi s vodou na zeta potenciál stříbrných nanočástic, jež byly připraveny redukcí diamminstříbrného komplexního kationtu D-maltózou. Jako organická rozpouštědla byly použity methanol, ethanol a 1-propanol. Cílem této práce bylo stanovit závislost zeta potenciálu nanočástic stříbra na objemovém procentu alkoholu ve směsném rozpouštědle. |
| .Klíčová slova: | Nanočástice stříbra, elektrokinetický potenciál, methanol, ethanol, 1-propanol. |
| Počet stran: | 52 |
| Počet příloh: | 0 |
| Jazyk: | čeština |

Bibliographical identification

| | |
|----------------------------------|---|
| Author's first name and surname: | Petra Sitárová |
| Title: | Solvent Influence on Zeta Potential of Silver Nanoparticles |
| Type of thesis: | Bachelor |
| Department: | Department of Physical Chemistry |
| Supervisor: | Doc. RNDr. Libor Kvítek, CSc. |
| The year of presentation: | 2011 |
| Abstract: | In presented bachelor thesis, there was studied the influence of organic solvent mixed with water on zeta Potential of silver nanoparticles, which were prepared by reduction of complex cation $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ by D-maltose. As organic solvents were used methanol, ethanol and 1-propanol. The aim of bachelor thesis was to determine the dependence of zeta potential of silver nanoparticles on the volume percentage of alcohol in the mixed solvent. |
| Keywords: | Silver nanoparticles, elektrokinetic potential, methanol, ethanol, 1-propanol. |
| Number of pages: | 52 |
| Number of appendices: | 0 |
| Language: | Czech |

OBSAH

| | |
|---|----------|
| 1. Úvod | 8 |
| 2. Teoretická část | 9 |
| 2.1. Charakteristika disperzních soustav | 9 |
| 2.1.1. Rozdělení disperzních soustav | 9 |
| 2.2. Koloidní disperze | 11 |
| 2.2.1. Rozdělení koloidních soustav | 11 |
| 2.3. Kinetické vlastnosti | 13 |
| 2.3.1. Brownův pohyb | 13 |
| 2.3.2. Difúze | 13 |
| 2.3.3. Osmóza | 14 |
| 2.3.4. Sedimentace | 14 |
| 2.4. Reologické vlastnosti | 15 |
| 2.4.1. Viskozita | 15 |
| 2.4.2. Měření viskozity | 16 |
| 2.5. Optické vlastnosti | 17 |
| 2.5.1. Absorpce záření | 17 |
| 2.5.2. Rozptyl záření | 17 |
| 2.6. Elektrické vlastnosti | 20 |
| 2.6.1. Elektrická dvojvrstva a její modely | 20 |
| 2.6.2. Elektrokinetický potenciál | 21 |
| 2.6.3. Metody měření elektrokinetického potenciálu | 23 |
| 2.6.4. Elektrokinetické jevy | 24 |
| 2.7. Stabilita koloidních soustav | 26 |
| 2.7.1. Sterická stabilizace | 26 |
| 2.7.2. Stabilizace elektrickou dvojvrstvou | 26 |
| 2.7.3. Teorie DLVO | 27 |
| 2.8. Příprava koloidních soustav | 28 |
| 2.8.1. Disperzní metody | 29 |
| 2.8.2. Kondenzační metody | 29 |
| 2.9. Vlastnosti a využití koloidních částic stříbra | 30 |

| | |
|---|-----------|
| 3. Experimentální část | 31 |
| 3.1. Chemikálie | 31 |
| 3.2. Přístrojové vybavení | 31 |
| 3.2.1. Zeta Potential Analyzer Zeta Plus (90 Plus) | 31 |
| 3.2.2. Zetasizer Nano ZS | 31 |
| 3.2.3. Spektrofotometr Specord S600 | 32 |
| 3.3. Příprava nanočástic stříbra | 32 |
| 3.4. Zakoncentrování koloidní disperze | 33 |
| 3.5. Stanovení zeta potenciálu ve směsném prostředí voda-alkohol | 34 |
| 4. Výsledky a diskuze | 35 |
| 4.1. Vliv methanolu na zeta potenciál stříbrných nanočástic | 35 |
| 4.2. Vliv ethanolu na zeta potenciál stříbrných nanočástic | 39 |
| 4.3. Vliv 1-propanolu na zeta potenciál stříbrných nanočástic | 43 |
| 4.4. Diskuze vlivu prostředí na zeta potenciál nanočástic stříbra | 47 |
| 5. Závěr | 49 |
| 6. Summary | 50 |
| 7. Literatura | 51 |

1. ÚVOD

V současné době patří studium nanomateriálů k nejrychleji se rozvíjejícím oblastem technologie a vědy, [1] protože je lze díky svým neobvyklým vlastnostem uplatnit v mnoha praktických aplikacích. [2]

Ačkoliv se výzkum nanočástic a nanostruktur začal rozvíjet teprve nedávno, zmínky o jejich přípravě a využití se datují už mnohem dříve. Již staří Číňané psali výjimečně stálou tuž, jež představovala koloidní disperzi sazí stabilizovanou želatinou, a ve starém Egyptě malovali barevnými inkousty, což byly disperze různých zemin a minerálů ve vodě, stabilizovaných arabskou gumou. Také středověcí alchymisté připravovali různé kovové soly, pomocí nichž vyráběli sklo a porcelán, nebo barvili hedvábí. [3]

Systematicky poprvé zkoumal koloidní systémy Francesco Selmi a zjistil, že nejde o pravé roztoky, ale o suspenze malých částic ve vodě. Za zakladatele klasické koloidní chemie se obvykle považuje Thomas Graham, který se zabýval difúzí různých látek. Dle difúzní rychlosti je rozdělil na krystaloidy a koloidy, ale tato klasifikace se později ukázala jako nevhodná, jelikož mnohé krystaloidy se podařilo připravit i v koloidní formě a naopak. Graham objevil i další důležité vlastnosti těchto disperzí, např. dialýzu. Významným britským vědcem, jež se zajímal o přípravu stabilních disperzí koloidního zlata a o jejich některé optické vlastnosti, byl Michael Faraday. Pozoroval svazek paprsků při průchodu solem a všiml si, že paprsky jsou ze strany viditelné. [4]

V posledních několika letech se neustále rozšiřují možnosti dalšího využití nanomateriálů např. v oblastech biologie, ochrany životního prostředí nebo medicíny, kde vznikají nové moderní léčebné procesy. [2]

Ve své bakalářské práci se věnuji studiu vlivu prostředí na zeta potenciál stříbrných nanočástic, zejména pak změně zeta potenciálu ve smíšeném prostředí voda-organické rozpouštědlo pro různé koncentrační poměry obou složek. Důvodem pro toto studium je skutečnost, že zeta potenciál je mírou elektrického náboje nanočástic a představuje tak základní informaci o elektrostatické stabilizaci jejich disperze v příslušném rozpouštědle.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Charakteristika disperzních soustav

Disperzní soustavy obsahují drobné částice (disperzní fázi či podíl), které jsou rovnoměrně rozptýleny v látce jiné (disperzním prostředí). Disperzní podíl nemusí vždy představovat samostatnou fázi a od disperzního prostředí se chemickým složením může, ale nemusí lišit. Podle toho se mluví o disperzní složce nebo disperzní fázi. [5, 6]

K vícesložkovým systémům patří většina disperzních soustav. Pokud disperzní podíl a disperzní prostředí tvoří jednu fázi, jde o homogenní systém. Ostatní typy disperzních soustav jsou vícesložkové heterogenní soustavy, v kterých existují fázová rozhraní, jelikož disperzní podíl tvoří samostatnou fázi. [6]

2.1.1. Rozdělení disperzních soustav

Rozmanitost disperzních soustav umožňuje jejich třídění podle různých kritérií. Systémy se dělí především podle velikosti či tvaru disperzních částic, skupenství disperzního prostředí a disperzního podílu, a také podle počtu fází.

Vyskytují-li se v soustavě částice stejné velikosti, jedná se o soustavu monodisperzní. V opačném případě jde o soustavu polydisperzní. Velikost disperzních částic se obvykle vyjadřuje převrácenou hodnotou lineárního rozměru částice tzv. stupněm disperzity. [7]

Podle velikosti částic jsou disperze rozdělovány do tří skupin: na soustavy hrubě disperzní, koloidně disperzní a analyticky disperzní. Stupeň disperzity klesá od analytických disperzí k hrubým disperzím a mezi jednotlivými skupinami je plynulý přechod. [8]

Systémy jsou označovány jako makrodisperzní, pokud lze jejich částice rozeznat pouhým okem. V případě, že jsou částice viditelné optickým mikroskopem, jedná se o systémy mikrodisperzní. Obě tyto skupiny se souhrnně nazývají hrubě disperzní soustavy. Právě roztoky nízkomolekulárních látek, v nichž lze přítomnost částic prokázat pouze chemickou analýzou, se značí jako analytické disperze. [6] Hlavním objektem zájmu této práce bude oblast koloidně disperzních soustav, které lze pozorovat

pouze v ultramikroskopu nebo v elektronovém mikroskopu. Díky svým fyzikálně chemickým vlastnostem často nemají mezi ostatními disperzními systémy obdobu. [8]

Tabulka 1 Charakteristické vlastnosti disperzních systémů

| Analytické disperze | Koloidní disperze | Hrubé disperze |
|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| $d < 10^{-9} \text{ m}$ | $10^{-9} < d < 10^{-6} \text{ m}$ | $d > 10^{-6} \text{ m}$ |
| homogenní soustavy | mikroheterogenní soustavy | makroheterogenní soustavy |
| vysoká difúze a osmóza | slabá difúze a osmóza | osmóza a difúze není |
| nefiltrovatelné | filtrovatelné přes ultrafiltry | filtrovatelné přes filtrační papír |
| nesedimentují | sedimentují pomalu | sedimentují rychle |
| stálé | stálé i nestálé | nestálé |
| nevytvářejí gely | tvoří gely | gely vytvářejí jen výjimečně |

2.2. Koloidní disperze

V přírodě se tyto systémy vyskytují hojně, ale mohou být připraveny i v laboratoři nebo průmyslovém podniku. Jako příklady koloidních soustav lze uvést mlhu, dýmy, koloidní disperze jodidu stříbrného, roztoky některých organických barviv a mýdel, emulze, také koloidní disperze kovů (např. zlata, stříbra), ale i mnohé stavební hmoty nebo potraviny. Vlastnosti, charakteristické pro tyto disperze, vykazují jak soustavy složené z látek anorganických, tak z organických. Tudiž vlastnosti koloidních soustav nejsou závislé na chemické povaze ani původu. [9]

Pomocí již uvedených rozměrových hranic lze koloidně disperzní soustavy definovat jako systémy, jejichž částice mají alespoň jeden lineární rozměr ležící v rozmezí $10^{-9} - 10^{-6}$ m. [8]

2.2.1. Rozdělení koloidních soustav

Vzhledem k rozmanitosti lze i koloidní soustavy dělit do mnoha tříd podle různých kritérií. Klasifikace dle skupenství disperzní fáze a disperzního podílu zahrnuje devět skupin, přesně řečeno osm (viz tabulka 2), jelikož kombinací plynné disperzní fáze s prostředím v plynném skupenském stavu koloid nevzniká.

Tabulka 2 Rozdělení disperzí podle skupenství disperzní fáze a disperzního prostředí

| Disperzní prostředí | Disperzní podíl | Koloidní disperze |
|---------------------|-----------------|-------------------|
| plynné | plynný | – |
| | kapalný | aerosoly |
| | pevný | aerosoly |
| kapalné | plynný | pěny |
| | kapalný | emulze |
| | pevný | lyosoly |
| tuhé | plynný | tuhé pěny |
| | kapalný | tuhé emulze |
| | pevný | tuhé soly |

Další možnost, jak klasifikovat koloidní systémy s kapalným disperzním prostředím a pevným disperzním podílem, je třídění podle vlastností fázového rozhraní. Takto se koloidy rozdělují do tří skupin: na lyofobní, lyofilní a asociativní neboli micelární. Je-li disperzní prostředí tvořeno vodou, mluví se o soustavách hydrofilních a hydrofobních. Jako lyofobní se označují soustavy s ostře vymezeným fázovým rozhraním, které nevznikají samovolně, ale umělým rozptýlením či srážecími chemickými reakcemi. Lyofobní koloidy nejsou termodynamicky stálé a většinou je tvoří anorganické látky. Charakteristické vlastnosti pro lyofilní disperzní soustavy zahrnují vysoký stupeň příbuznosti disperzního prostředí a disperzní fáze, [10] také termodynamickou stabilitu a vznik samovolným rozpouštěním tuhé látky v kapalině. Tyto soustavy jsou také nazývány jako koloidní roztoky. Třetí skupinou této klasifikace jsou asociativní koloidní soustavy vznikající spojováním molekul povrchově aktivních látek do větších útvarů nazývaných micely. V případě asociativních koloidů není pevně definované fázové rozhraní, jelikož neustále dochází k výměně molekul povrchově aktivní látky mezi disperzním prostředím a micelou. [7]

Systémy tvořené trojrozměrnou sítí, která vytváří souvislou strukturu v celém disperzním prostředí, jsou zvláštním případem koloidních soustav tzv. gely. Na tvorbě gelu se podílí některé lyofobní a celá řada lyofilních koloidů. [7]

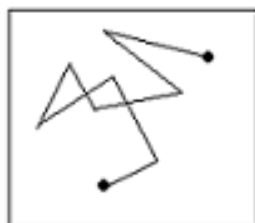
Všechny koloidní roztoky a soly mohou být tříděny také podle jejich chemického složení na koloidy anorganické a organické. Soly anorganických látek se dále klasifikují jako koloidní disperze prvků, hydroxidů, oxidů a solí. Mimo jiné lze rozeznávat i anorganické emulze, gely a další pevné koloidní systémy. Organické koloidy jsou rovněž děleny do užších skupin. [4]

2.3. Kinetické vlastnosti

2.3.1. Brownův pohyb

Roku 1827 anglický botanik Robert Brown pozoroval pod mikroskopem vodné suspenze květního pylu a objevil tepelný pohyb částic v mikroheterogenních a koloidních systémech, který na jeho počest dostal název Brownův pohyb. [9]

Obr. 1 Dráha Brownova pohybu částice



Intenzivněji se pohybují menší částice, protože s jejich rostoucí hmotností a velikostí vzrůstá také pravděpodobnost kompenzace nárazů. U částic s průměrem asi 5 μm lze pozorovat pouze vibrace a v případě větších rozměrů už částice Brownův pohyb nevykonávají. [8]

2.3.2. Difúze

Samovolná migrace molekul, iontů nebo koloidních částic z místa vyšší koncentrace do místa s nižší koncentrací se nazývá difúze. Děj je přímým důsledkem Brownova pohybu a pokračuje až do úplného vyrovnání koncentrací. [9]

V roce 1855 Fick formuloval svůj první zákon difúze, který říká, že množství látky dm , procházející ve směru osy x , v čase dt a přes oblast A , je přímo úměrné koncentračnímu gradientu dc/dx v rovnici: [11]

$$dm = -DA \frac{dc}{dx} dt, \quad (1)$$

kde konstanta úměrnosti D se nazývá difúzní koeficient. Hodnota difúzního koeficientu závisí na tvaru a velikosti difundujících částic, na prostředí, v kterém difúze probíhá, na koncentraci a na teplotě. Záporné znaménko značí, že difúze probíhá ve směru klesající koncentrace. Tato rovnice platí jen tehdy, je-li koncentrační spád časově stálý.

V opačném případě se mění hodnota koncentračního gradientu dc/dx s časem. Tuto závislost popisuje II. Fickův zákon: [8]

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2 c}{dx^2} . \quad (2)$$

2.3.3. Osmóza

Prochází-li jen molekuly disperzního prostředí, nikoliv disperzní částice, přes polopropustnou membránu mezi dvěma nestejně koncentrovanými roztoky, dochází k toku rozpouštědla ze zředěnějšího roztoku do koncentrovanějšího. Tento jev se nazývá osmóza, jejíž hnací silou je snaha vyrovnat chemické potenciály prostředí na obou stranách membrány. Hnací síla tohoto pohybu se označuje jako osmotický tlak π , který se měří stanovením protitlaku. Když na systém, oddělený polopropustnou membránou od čistého rozpouštědla, působí tlak větší než rovnovážný osmotický tlak, putují molekuly rozpouštědla opačným směrem než při osmóze. Nastává reverzní osmóza.

Osmotický tlak zředěných roztoků nízkomolekulárních látek popisuje vztah označovaný jako van't Hoffova rovnice

$$\pi = c_2 \cdot RT , \quad (3)$$

kde c_2 je látková koncentrace složky neprocházející membránou a R univerzální plynová konstanta. [7]

Sedimentace

Usměrněný pohyb částic, který vzniká působením silového pole zemské gravitace na hrubě a koloidně disperzní soustavy, může vést k rovnovážnému rozdělení částic dle velikosti nebo či k jejich úplnému usazení. [3] Po určité době se v disperzním systému ustanoví sedimentační rovnováha, při níž je rychlost sedimentace rovna rychlosti difúze opačným směrem.

Metody, jež se souhrnně nazývají sedimentační analýza, mají velké využití v praxi. Používají se nejen ke stanovení velikosti částic různých práškovitých hmot, ale také k oddělení jednotlivých frakcí. [8]

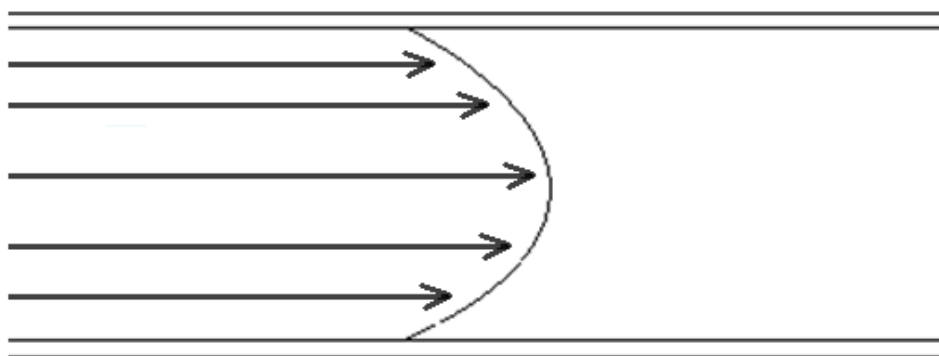
2.4. Reologické vlastnosti

Jako všechny ostatní kondenzované soustavy mají i koloidní a mikroheterogenní systémy určité mechanické vlastnosti – zvláště viskozitu, také plastičnost, pevnost a pružnost. Tyto vlastnosti se nazývají strukturně-mechanické, jelikož souvisejí se strukturou soustav. Věda, která formuluje zákony a pravidla o toku různých látek nebo obecněji o procesech deformace a destrukce, se nazývá reologie. [9] Zahrnuje hydrodynamiku, často považovanou za samostatný obor. Zatímco hydrodynamika se zabývá jen kapalinami, reologie se zajímá zejména o složitější chování roztoků, gelů, suspenzí, atd. [12]

2.4.1. Viskozita

Vnitřní tření v kapalině vzniká v důsledku mezimolekulových přitažlivých sil a chaotického tepelného pohybu molekul. Dochází k brzdícím účinkům v tekoucí kapalině. Viskozitou kapalin se tedy rozumí odpor, který kapaliny kladou proti pohybu tělesa. Proudí-li kapalina v trubici, pohybují se díky viskozitnímu odporu rychleji vrstvy kapaliny bližší středu (obr. 2). [7]

Obr. 2 Viskozitní tok kapaliny v trubici



Viskozitu nebo přesněji dynamický viskozitní koeficient η definuje Newtonova rovnice, podle níž je síla vnitřního tření F přímo úměrná ploše vrstvy S , na níž působí, a rychlostnímu gradientu pohybu dv/dx mezi vrstvami

$$F = \eta S \frac{dv}{dx}. \quad (6)$$

Pokud se kapaliny chovají podle tohoto zákona, nazývají se newtonovskými. Newtonovu rovnici lze aplikovat pouze při poměrně pomalém proudění tekutiny, kdy se její částice pohybují přímočaře a vzájemně rovnoběžně – laminární proudění. V případě větší rychlosti přechází laminární proudění ve vířivé neboli turbulentní, pro něž ztrácí koeficient viskozity svůj obvyklý význam. [8]

2.4.2. Měření viskozity

Viskozitu kapalin lze stanovovat mnoha různými metodami. Nejpoužívanější jsou následující – metoda proudění kapaliny kapilárou, metoda padající kuličky a stanovení pomocí rotačních viskozimetrů.

V tzv. **kapilárním viskozimetru**, opatřeném dvěma značkami, se měří čas, za který proteče kapalina od horní rysky po dolní. Jde o velmi přesné viskozimetry, z nich nejznámější je Ubbelohdeho (obr. 3). Ke studiu neneutonských kapalin se používají **rotační viskozimetry**, složené ze dvou soustředných válců. Jeden válec rotuje konstantní rychlostí, vnitřním třením kapaliny vyvolává kroučící moment a přenáší jej na válec druhý, zavěšený na torzním vlákně. Viskozita se zjišťuje z úhlu pootočení válce od původní polohy.



Obr. 3 Ubbelohdeho průtokový viskozimetr [3]

Známý je také **Höpplerův (kuličkový) viskozimetr**, založený na sledování pádu koule o známé hmotnosti a objemu ve viskózním prostředí. Pracuje se s ním především u kapalin větší hustoty a viskozity. [3]

2.5. Optické vlastnosti

Charakteristické optické vlastnosti, díky nimž lze zjistit přítomnost, koncentraci a strukturu disperzních částic, [10] představují také význačné zvláštnosti disperzních systémů. Při průchodu světla disperzní soustavou, dochází ke zmenšení intenzity světelných paprsků v důsledku

- pravé absorpce, kdy se pohlcené záření přemění v teplo vlivem nárůstu vnitřní energie molekul systému,
- rozptylu světla na částicích soustavy, který opět způsobuje emisi záření ve formě světelné energie.

Velikost těchto jevů určuje především charakter disperzní soustavy a vlnová délka světla. V soustavách, obsahující částice koloidních rozměrů, lze pozorovat hlavně rozptyl světla, zatímco u analyticky disperzních systémů se projevuje jen pravá absorpce. [13]

2.5.1. Absorpce záření

Při absorpci záření se mění energetické stavy valenčních a vazebných elektronů, neboť dochází k pohlcení kvanta energie elektromagnetického záření. Absorpce světla tedy způsobuje zvýšení vnitřní energie molekul systému a její následnou přeměnu na teplo. Děj, ve kterém světlo absorbuje nějaká látka A , popisuje Lambert-Beerův zákon:

$$A = -\log \frac{I}{I_0} = \varepsilon cd, \quad (8)$$

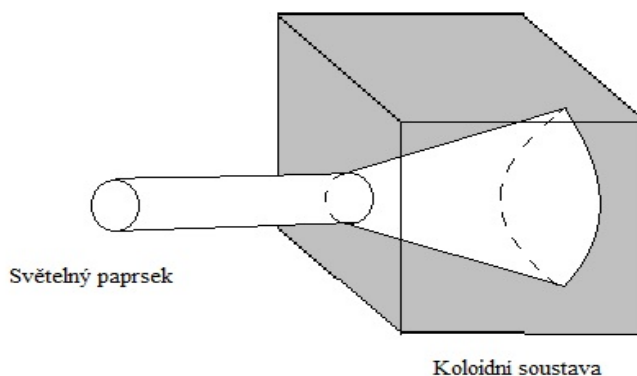
kde I je intenzita prošlého světla, I_0 intenzita záření dopadajícího na absorbující látku A , ε je absorpční koeficient, c je koncentrace absorbující látky, d je tloušťka vrstvy a A je veličina absorbance. [7] Hodnotu molárního absorpčního koeficientu ε ovlivňuje vlnová délka pohlceného záření, teplota i povaha rozpouštědla a rozpuštěné látky, ale zpravidla na ni nemá vliv koncentrace roztoku. Avšak existují výjimky, kdy se ε mění se zředěním roztoku. [9]

2.5.2. Rozptyl záření

Rozptyl záření se vyskytuje u soustav s různými indexy lomu disperzní fáze a disperzního prostředí. U hrubých disperzí se světlo rozptyluje difúzně pod různými úhly, jelikož k odrazu a lomu světelných paprsků dochází na nerovném povrchu částice. Současně probíhá polarizace záření. Následný rozptyl světla lze rozeznat jako zákal soustavy, který je pozorovatelný v libovolném směru, často i v tenkých vrstvách. [13] V koloidně disperzních soustavách se rozptyl záření projevuje pouze jemným zákalem, opalescencí, jejíž příčinou jsou srovnatelné nebo menší rozměry disperzních částic s vlnovou délkou světelných paprsků. Opalescence se nejlépe sleduje v tlustých vrstvách a proti tmavému pozadí. Rozptyl záření v případě koloidních disperzí lze vysvětlit nejen odrazem a lomem světla na částicích, ale i ohybem světla. [8]

Průchod rozšiřujícího se svazku paprsků disperzním prostředím poprvé kvalitativně pozoroval Tyndall, po kterém se efekt nazývá Tyndallův jev.

Obr. 4 Tyndallův jev



K znázornění rozptylu světla se využívají Mieovy vektorové diagramy. V takovém diagramu se vynášejí intenzita polarizovaného a nepolarizovaného světla v podobě radiusvektorů šířících se do všech stran od bodu zobrazujícího částici. [9]

V roce 1871 Rayleigh vypracoval teoretický popis rozptylu světla. Avšak tato teorie je použitelná pouze na malé částice, jež od sebe musí být dostatečně vzdáleny a nevykazují vlastní absorpci záření. Dle teorie pak odvodil vztah intenzity rozptýleného záření vertikálně polarizované složky světla:

$$\left(\frac{I}{I_0}\right)_V = \frac{16\pi^4 R^6}{r^2 \lambda^4} \cdot \left(\frac{n_{rel}^2 - 1}{n_{rel}^2 + 2}\right)^2, \quad (9)$$

kde R představuje poloměr částice, r vzdálenost detektoru, λ je vlnová délka původního i rozptýleného záření v disperzním prostředí a n_{rel} je relativní index lomu.

Pro horizontální složku polarizovaného světla, závislého na směru pozorování, platí rovnice:

$$\left(\frac{I}{I_0}\right)_V = \frac{16\pi^4 R^6}{r^2 \lambda^4} \cdot \left(\frac{n_{rel}^2 - 1}{n_{rel}^2 + 2}\right)^2 (\cos^2 \theta). \quad (10)$$

Vztah pro nepolarizované světlo může být získán součtem již uvedených polarizovaných složek:

$$\left(\frac{I}{I_0}\right) = \frac{1}{r^2} \cdot \underbrace{\left[\frac{16\pi^4 R^6}{2\lambda^4} \cdot \left(\frac{n_{rel}^2 - 1}{n_{rel}^2 + 2}\right)^2 \cdot (1 + \cos^2 \theta) \right]}_{R_\theta}, \quad (11)$$

kde R_θ je Raileghův poměr. [7]

Ze zmíněných vztahů je možné vyvodit, že rozptyl světla roste s velikostí koloidních částic a s klesající vlnovou délkou. Z měření lze tedy zjistit informace o velikosti a koncentraci disperzních částic. Průměrná relativní molekulová hmotnost makromolekulárních látek se často stanovovala pomocí metody statického rozptylu světla. Pokud se nahradí klasický zdroj světla laserem, dojde v některých směrech k interferenci rozptýleného záření, jež má za následek zesílení intenzity záření. Tento efekt významně ovlivňuje difúzní pohyb částic, díky kterému dochází ke kolísání intenzity rozptýleného záření v čase okolo průměrné hodnoty. Jde o tzv. dynamický rozptyl světla. Mnoho přístrojů, stanovujících velikostní distribuce koloidních částic, funguje na principu dynamického rozptylu světla. [7]

2.6. Elektrické vlastnosti

Zvláštní ráz elektrických vlastností koloidních soustav, poprvé objevených F. F. Rejssem v roce 1808, podmiňuje přítomnost disperzních částic a rozvitého fázového rozhraní v disperzních systémech. [10]

2.6.1. Elektrická dvojrstva a její modely

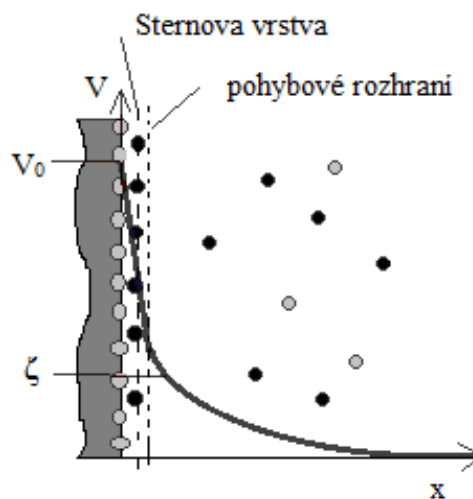
Vznik elektrického náboje povrchu částice je u většiny látek, stýkajících se s kapalnou fází, způsoben ionizací, rozpouštěním iontů nebo iontovou adsorcí. V kapalném prostředí ovlivňuje povrchový náboj uspořádání iontů, které se nachází v blízkosti částice. Ionty souhlasně nabitě jsou od povrchu látky odpuzovány a opačně nabitě ionty jsou k povrchu přitahovány. Dochází tak ke vzniku nabitě elektrické dvojrstvy, jež si lze představit jako dvě rovnoběžné desky kondenzátoru, kde jednu desku tvoří ionty fixované na povrchu a druhou protiionty vyskytující se v prostředí. Takové rozvrstvení nábojů způsobuje vznik rozdílu elektrických potenciálů mezi stýkajícími se fázemi. Teorie elektrické dvojrstvy, zabývající se kromě rozdělení iontů také velikostí elektrických potenciálů přítomných v místě nabitěho povrchu, vede k porozumění mnoha experimentálních pozorování týkajících se např. elektrokinetických vlastností a stability koloidních soustav. [10, 11]

Jako první popsal vznik elektrické dvojrstvy Helmholtz v roce 1879. Vycházel z představy, že vzdálenost mezi vnější i vnitřní částí dvojrstvy, jež vytvářely plošné vrstvy, odpovídá molekulárním rozměrům. Helmholtzův model dvojrstvy tedy představoval, v případě rovinných ploch, deskový molekulární kondenzátor malé tloušťky.

Zdokonalený model této dvojrstvy později vyvinuli Gouy a Champan, kteří označili její vnější část za difúzní, protože ji ovlivňoval tepelný pohyb iontů. S rostoucí vzdáleností od tuhého povrchu tak dochází k plynulému poklesu koncentrace iontů, vytvářejících vnější část. Difúzní vrstva není plochá jako u Helmholtzova modelu, ale rozprostírá se hlouběji do přilehlého roztoku.

Avšak při ověřování rovnice matematické teorie tzv. Gouyovy-Champanovy dvojrstvy byly zjištěny neshody mezi pokusnými daty a mezi hodnotami vypočtenými. Jejich hlavní příčina spočívala v tom, že teorie nepočítala s rozměry iontů a brala je za

bodové náboje. Tedy připouštěli přiblížení iontů z vnější části dvojvrstvy k vnitřní části na vzdálenost menší než molekulární, což nemá reálný smysl. Teorii, částečně odstraňující zmíněné nedostatky, vypracoval Stern. Proto se mluví o Sternově dvojvrstvě, která zahrnuje teorii Helmholtzovu i Gouyho. Ovšem vychází především z představy, že ionty, které se mohou přiblížit k tuhému povrchu na vzdálenost nejméně několika Å, ovlivňují jak síly elektrostatické, tak síly adsorpční. Podle Sterna se struktura vnější části dvojvrstvy skládá z části iontů poutaných k vnitřní části dvojvrstvy silami elektrostatickými a také silami adsorpčními, a současně z části iontů, jež jsou vázány k vnitřní části jen silami elektrostatickými. Model Sternovy dvojvrstvy nejlépe vystihuje experimentální poznatky. [8]



Obr. 5 Schéma Sternova modelu elektrické dvojvrstvy

2.6.2. Elektrokinetický potenciál

Při relativním pohybu tuhé fáze s elektrickou dvojvrstvou vůči roztoku dojde k rozdělení dvojvrstvy: část vnější vrstvy a vnitřní vrstva ulpívají na tuhém povrchu látky; zbytek difúzní části dvojvrstvy se nepohybuje s tuhou fází, ale s kapalinou. Potenciál, rozhodující o průběhu elektrokinetických jevů, není tedy celkovým potenciálem povrchu tuhé fáze vůči kapalně, nýbrž potenciál tzv. pohybového rozhraní mezi přiléhající nepohyblivou vrstvou a kapalinou. Tento potenciál se nazývá elektrokinetický a označuje se písmenem ζ (zeta-potenciál). Hodnota ζ -potenciálu nebývá obvykle vyšší než 0,1 V a jeho znaménko je opačné než znaménko iontů vnější vrstvy elektrické dvojvrstvy. [3]

Je velmi důležité zabývat se faktory, na nichž zeta potenciál závisí, protože v některých případech charakterizuje stabilitu koloidních systémů. Potenciál ζ ovlivňuje přidavek elektrolytu, změna koncentrace roztoku, pH, teploty atd.

Vliv indiferentních elektrolytů. Indiferentní elektrolyty nemohou způsobit podstatnou změnu celkového potenciálového spádu koloidních částic, jelikož neobsahují ionty se schopností zabudovat se do krystalové mřížky částice. V tomto případě rostoucí obsah daného elektrolytu stlačuje difúzní část elektrické dvojvrstvy, což se odráží ve snížení ζ potenciálu.

Vliv neindiferentních elektrolytů. Při nízkých koncentracích zmíněného elektrolytu se projeví první tendence – zvýšení hodnoty povrchového potenciálu díky iontu, který je schopný účasti v krystalové mřížce koloidní částice. Zbývající ion, s nábojem ekvivalentního znaménka jako u náboje protiiontu, stlačuje elektrickou dvojvrstvu. Druhá tendence převládá u vyšších koncentrací, kdy je již stavba krystalové mřížky ukončena. Vlivem přídavku stále většího množství tohoto elektrolytu dochází nejprve k zvýšení zeta potenciálu, dosáhnutí maxima a pak k jeho klesání.

Vliv koncentrace koloidní soustavy. Předpokládá se, že při zředování systému se potenciál ζ zvyšuje, jelikož se tloušťka elektrické dvojvrstvy z důvodu poklesu koncentrace protiiontů v roztoku zvětšuje. Při zředování lze také pozorovat desorpci iontů z povrchu disperzní fáze, což způsobuje pokles povrchového potenciálu a daného potenciálu ζ . Výsledný směr změny potenciálu ζ tedy záleží na tom, který ze dvou případů bude převažovat.

Vliv pH prostředí. Z důvodu vysoké adsorpce vodíkových a hydroxidových iontů může být zeta potenciál ovlivňován hodnotou pH disperzního prostředí. V kyselém prostředí mají povrchový i elektrokinetický potenciál kladné znaménko a naopak v prostředí alkalickém znaménko záporné. Existuje i takové pH, kdy se počet kladných nábojů na povrchu rovná počtu záporných nábojů a hodnota zeta potenciálu nabývá nulové hodnoty – izoelektrický bod.

Vliv charakteru disperzního prostředí. Čím je rozpouštědlo polárnější, tím je hodnota potenciálu ζ částic disperzní fáze vyšší.

Vliv teploty. Na potenciál ζ působí teplota podobně jako koncentrace. S rostoucí teplotou se zvyšuje intenzita tepelného pohybu protiiontů a roste tloušťka elektrické dvojvrstvy, proto musí zeta potenciál vzrůstat. Společně se zvyšuje i desorpce iontů, při níž dojde ke zmenšení hodnoty potenciálu. [9]

2.6.3. Metody měření elektrokinetického potenciálu

Elektrokinetický potenciál je důležitým parametrem pro mnoho průmyslových odvětví včetně pivovarství, keramiky, průmyslu léčiv nebo čištění vody. Jelikož měření zeta potenciálu může být komplikované, jsou odborné znalosti k získání přesných a spolehlivých výsledků nezbytné.

Za posledních 20 let, když byla zjištěna významnost tohoto potenciálu, se technologie a přístrojové vybavení výrazně zlepšili. S novou řadou Zetasizer Nano, přístroje Malvern nejen zjednodušili měření zeta potenciálu, ale také zlepšili přesnost jeho měření zavedením nové techniky nazvané M3-PALS. Jedná se o kombinaci techniky fázové analýzy rozptylu světla (PALS) a techniky měření nestálého režimu (M3). [14]

Technika měření M3

M3 je relativně nová technika, kde se zeta potenciál měří elektroforézou v kapilární kyvetě. Když jsou částice o velikosti několika mikronů s velmi nízkou setrvačností, vystaveny elektrickému poli, dosáhnou konečné rychlosti v mikrosekundách. Skutečnou rychlost určuje náboj spojený s částicí (zeta potenciál), viskozita prostředí a použité pole. V kapilární kyvetě, uzavřené na obou koncích, se kapalina vrací podél středu kyvety. Skutečná pohyblivost částic, z níž je zeta potenciál odvozen, se měří u stacionární vrstvy, kde proud tekutin podél stěny kyvety (elektroosmóza) ruší zpětný tok ve středu kyvety. Stacionární vrstva musí být umístěna přesně a kyvety musí být čisté. Nicméně pokud by se dalo elektroosmóze vyhnout, pak by pohyblivost částic byla ve všech místech kyvety skutečnou pohyblivostí. [14]

PALS

Jedná se o variantu laserové Dopplerovy velocimetrie (LDV), která využívá klasické elektroforézy a měří pohyblivost částic vytvořenou kmitočtovým posunem světla, jež způsobují pohybující se částice v kyvetě. Naměřená pohyblivost se převádí na zeta potenciál prostřednictvím pevně zavedených teorií. PALS je mnohem citlivější technika, protože ke stanovení kmitočtového posunu používá informace zahrnuté ve fázi rozptýleného světla. Změřená fáze posunu je přímo úměrná změně místa částice. Metoda PALS pracuje se stejným optickým nastavením jako LDV, ale při postupu zpracování používá jiný signál. [14]

2.6.4. Elektrokinetické jevy

Přítomnost elektrokinetického potenciálu se uplatňuje v tzv. elektrokinetických jevech, kdy rozdíl potenciálů na fázovém rozhraní buď vyvolává relativní pohyb jedné fáze k druhé, nebo je sám takovým pohybem vyvoláván. [8] Podle příčiny relativního pohybu obou fází lze rozdělit elektrokinetické jevy na děje způsobené vnější mechanickou silou či vnějším elektrickým polem. Sekundárně přitom dochází ke vzniku elektrické a mechanické síly. Tyto jevy je možné dále dělit dle toho, která fáze se pohybuje. Vlivem vnějších sil se bude vždy pohybovat ta fáze mající volně pohyblivé části o menší hmotnosti. Čtyři hlavní elektrokinetické jevy shrnuje tab. 3.

Tabulka 3 Elektrokinetické jevy

| | Jev | „Hybná síla“ |
|-------------------------------|--|---------------------|
| elektroosmóza | pohyb kapaliny podél tuhého povrchu | elektrický proud |
| elektroforéza | pohyb tuhých částic v kapalném prostředí | elektrický proud |
| proudový potenciál | vznik potenciálového rozdílu | proudění kapaliny |
| sedimentační potenciál | vznik potenciálového rozdílu | sedimentace částic |

Je-li do kapalného disperzního systému pomocí dvou inertních elektrod zavedeno elektrické pole, způsobuje náboj disperzní částice s přilehající vrstvou její pohyb k jedné elektrodě a pohyb části difúzní vrstvy k elektrodě druhé. Nastává nejvýznamnější elektrokinetický jev, elektroforéza. Lze ji využít k odhadu hmotnosti micel a makromolekul a k preparačním účelům. Rychlost částice v elektrickém poli o jednotkové intenzitě se označuje jako elektroforetická pohyblivost.

Při sedimentaci nabitých částic se v odstředivém nebo gravitačním poli vytváří sedimentační potenciál způsobující vznik elektrického pole v disperzní soustavě. Jde o inverzní jev k elektroforéze.

Při elektroosmóze protéká kapalina kapilárou nebo soustavou kapilár vlivem potenciálového spádu a rychlost elektroosmotického toku je ovlivňována vlastnostmi elektrické dvojvrstvy. Pohyb kapaliny kapilárním sloupcem lze kompenzovat přetlakem, který se nazývá elektroosmotický tlak. Elektroosmóza se používá k odvádění vody z různých porézních a práškovitých hmot a k vysoušení vlhkého zdiva.

Inverzním jevem k elektroosmóze je potenciál proudění, jež nemá praktické využití. Vlivem průtoku kapaliny kapilárou je unášen náboj difúzní části dvojvrstvy, čímž dojde k prostorovému rozvrstvení náboje ve směru toku a ke vzniku rozdílu elektrického potenciálu mezi oběma konci kapiláry.

Pomocí údajů, měřitelných při zmíněných elektrokinetických jevech, lze stanovit důležitou veličinu elektrokinetický potenciál ζ . Pro elektroforézu např. platí

$$u_0 = u / E = \left(\frac{\zeta \cdot \varepsilon}{\eta} \right), \quad (12)$$

kde u_0 je elektroforetická pohyblivost, E je intenzita elektrického pole, ε je relativní permitivita a η je viskozita prostředí. [3, 15]

Při vyjádření potenciálu ζ z rovnice (12) lze získat vztah, z něhož se vypočítá potenciál ζ při elektroforéze nebo elektroosmóze, jestliže je známa veličina u . [9]

$$\zeta = \left(\frac{\eta \cdot u}{\varepsilon \cdot E} \right). \quad (13)$$

2.7. Stabilita koloidních soustav

Stabilitu koloidních soustav lze chápat jako schopnost, kdy se systém brání průběhu procesů vedoucích ke změnám jejich struktury, stupně disperzity nebo ke změnám rozdělení částic dle velikosti. Stálost soustav závisí na mnoha faktorech, jež zahrnují např. typ, skupenství a složení disperzního prostředí i disperzního podílu, nebo koncentraci disperzních částic.

Podle stability se disperze klasifikují z různých hledisek. Obvykle se posuzuje tzv. kinetická stabilita, definována jako stálost soustavy zachovávající si rozdělení koncentrace částic v gravitačním poli, a agregátní stabilita, kterou se rozumí schopnost systému zachovávat svůj stupeň disperzity.

V druhém případě je častým a rychlým mechanismem zániku disperzních soustav tzv. agregace disperzních částic, při níž dochází ke shlukování částic ve větší agregáty. Částice, vykonávající neustálý tepelný pohyb, se spojují v místě dotyku vlivem přitažlivých sil, pokud se k sobě přiblíží na dostatečnou vzdálenost. K vytvořeným dubletům se připojují další částice, až agregáty mají takovou hmotnost, že dojde k sedimentaci. Pak ze soustavy, která původně obsahovala dispergované částice, vznikne dvoufázová soustava sediment - čisté disperzní prostředí. Agregace může být omezena stabilizací, tj. vytvořením ochranné vrstvy na povrchu disperzních částic. Existují dva způsoby – sterická stabilizace a stabilizace elektrickou dvojrstvou.

2.7.1. Sterická stabilizace

Látky rozpustné v disperzním prostředí a zároveň schopné dostatečně velké adsorpce na povrchu lyofobních částic zajišťují sterickou stabilizaci. Tak jsou lyofobní částice stabilní, nekoagulují a získávají lyofilní povrch. Pro sterickou stabilizaci se používají povrchově aktivní látky tvořící asociativní koloidy a některé makromolekuly.

2.7.2. Stabilizace elektrickou dvojrstvou

Tento typ stabilizace zajišťuje dvojrstva, která se tvoří okolo částic, jejichž povrch bývá elektricky nabitý a přitahuje ionty opačného znaménka. Navenek se částice jeví jako elektricky nabitá, protože na ní při pohybu ulpívá část protiiontů difúzní vnější vrstvy. Všechny částice téže látky v témž disperzním prostředí mají náboj stejného

znaménka. Proto se při srážce částic uplatní odpudivé elektrostatické síly, částice se od sebe opět oddálí a nedojde ke spojení.

Stabilita lyosolů, spočívající v elektrické dvojvrstvě, závisí na mnoha faktorech. K nejdůležitějším patří přítomnost elektrolytů, jež ovlivňují iontovou sílu a tloušťku dvojvrstvy. Z důvodu většího přídavku elektrolytů může být elektrická dvojvrstva stlačena až na pohybové rozhraní, kdy se částice při pohybu vůči kapalině začnou jevit jako elektricky neutrální a bude docházet ke koagulaci. [13]

2.7.3. Teorie DLVO

Teorii koloidní stability vyvinuli kolem roku 1940 ruští vědci Derjagin a Landau a dva holandské vědci Verwey a Overbeek, podle nichž se označuje jako DLVO teorie. Jde tedy o fyzikální popis koagulace, [7] který se zakládá na předpokladu, že celkovou sílu mezi koloidními částicemi určují jednak odpudivé elektrostatické síly mezi nimi a také přitažlivé mezimolekulové síly. [16]

Teorie DLVO rozlišuje neutralizační koagulaci, tvořenou adsorpčními jevy, a koncentrační koagulaci vznikající stlačením elektrické dvojvrstvy po přidání dostatečného množství elektrolytu, kdy se sníží zeta potenciál koloidních částic.

Neutralizační koagulace. Množství naadsorbovaných iontů na povrchu částice udává velikost náboje povrchu, resp. jemu odpovídající elektrický potenciál – φ . Adsorpce iontů způsobuje zmenšení elektrického potenciálu s následkem snížení velikosti odpudivých sil. Pak může dojít ke spojení částic a následné koagulaci. Pomocí teorie neutralizační koagulace lze vypočítat kritickou hodnotu elektrického potenciálu φ_{krit} , kdy zmizí energetická bariéra:

$$\varphi_{krit} = \sqrt{\frac{CA}{4\pi\varepsilon}} h , \quad (14)$$

kde C je konstanta, A je konstanta přitažlivosti částic, ε je permitivita roztoku a h tloušťka difúzní vrstvy elektrické dvojvrstvy.

Koncentrační koagulace. Dojde k ní pouze v případě, je-li dosaženo koagulačního prahu γ , pro který platí vztah:

$$\gamma = C \frac{4\pi\varepsilon(kT)^5}{A^2 e^6 z^6} , \quad (15)$$

kde e je elementární náboj a z nábojové číslo protiontu. [7]

2.8. Příprava koloidních soustav

Existují dva podstatně odlišné způsoby, pomocí kterých mohou být koloidní systémy připraveny. Jsou to jednak dispergační metody, kdy se látky makroskopických rozměrů rozpadají na částice koloidních rozměrů, a kondenzační metody, při nichž vznikají molekulární agregáty koloidní velikosti. [17]

2.8.1. Dispergační metody

V případě dispergačních metod lze koloidní soustavy získat např. laserovou ablací, mletím, elektrickým rozprašováním, rozmělnováním pomocí ultrazvuku nebo peptizací. Avšak tyto metody se obvykle nepoužívají k přípravě nanočástic kovů a v praxi má uplatnění pouze rozptýlení v elektrickém oblouku a laserová ablace.

Laserová ablace

Výhody laserové ablace (rozpadu) makroskopického stříbrného materiálu spočívají v jednoduchosti a univerzálnosti experimentálního měření bez rizika kontaminace zbylými chemickými látkami. Velmi čisté stříbrné nanočástice, připravené touto metodou, lze využít ke studiím v oblasti povrchově zesílené Ramanově spektroskopii (SERS), kde přítomnost iontů na povrchu koloidních částic má významný vliv na adsorpci procesů, reprodukovatelnost měření a stabilitu částic. Velikost těchto stříbrných částic dosahuje desítek nanometrů a závisí na intenzitě a vlnové délce použitého laseru, době ozáření a na přítomnosti aditiv, např. chloridových iontů. Pokud se připravené nanočástice dále ozařují, může dojít ke změně jejich velikosti, polydisperzity a také morfologie. [18]

Elektrické rozprašování

Metoda elektrického rozprašování se řadí k dispergačním metodám, přestože je jakýmsi spojením metody dispergační a kondenzační. Při elektrickém rozprašování dochází k odtrhávání částic z elektrod, což způsobuje elektrický oblouk mezi elektrodami. Zároveň také probíhá odpařování materiálu z povrchu elektrod a následná kondenzace. Elektricky se rozprašují pouze vodivé materiály. [7]

2.8.2. Kondenzační metody

Kondenzační metody, jež hrají hlavní roli v přípravě koloidních soustav, se rozdělují do dvou skupin na metody fyzikální a chemické. Fyzikálně kondenzační postupy se zakládají na změně rozpustnosti látek, kdy změnou rozpouštědla dojde ke kondenzaci látky za tvorby koloidních částic. V případě chemických postupů vznikne vhodnou chemickou reakcí z původně rozpustné látky látka v daném prostředí nerozpustná. [7]

V dnešní době převládá příprava stříbrných nanočástic především chemickými metodami založených na redukci stříbrné soli. K redukci mohou být použity jak činidla anorganická (tetrahydridoboritan sodný, hydrazin, peroxid vodíku, vodík), tak organická (citrát sodný, askorbová kyselina, formaldehyd nebo redukující cukry). Pomocí silného redukčního činidla, jako je tetrahydridoboritan, vznikají malé monodisperzní částice, ale pro tvorbu větších částic je toto činidlo téměř nepoužitelné. Užití citrátu, slabšího reduktantu, vede ke vzniku částic větších, ale polydisperznějších. Obecně platí, že monodisperzní stříbrné nanočástice lze připravit snadněji než monodisperzní nanočástice jiných ušlechtilých kovů. [19, 20]

Jako řízenou syntézu koloidních částic stříbra lze zmínit dvou-krokový proces redukce. V prvním kroku této metody se nejprve použitím silného redukčního činidla tvoří malé stříbrné částice, které se v druhém kroku zvětšují přítomností slabšího redukčního činidla. Takto mohou být připraveny částice o velikosti 120 až 170 nm. [20, 21]

V současné době se používá také řízená syntéza pomocí Tollensovy metody k přípravě stříbrných nanočástic v jedno-krokovém procesu. K základní reakci patří redukce stříbrného amoniakálního roztoku glukosou. Tímto upraveným Tollensovým postupem se získávají tenké vrstvy tzv. filmy s částicemi koloidního stříbra v rozmezí 50 až 200 nm a stříbrné hydrosoly v rozmezí 20 až 50 nm. [20]

Velikost částic lze dále kontrolovat pomocí rozdílu v redoxních potenciálech reduktantů a stříbrných iontů procházejících redukcí. Rozdíl je snadno ovladatelný použitím řady redukujících cukrů (glukózy, fruktózy a maltózy) a změnou koncentrace komplexotvorného činidla. Tato syntetická cesta je šetrná k životnímu prostředí, jelikož nevyužívá toxických chemikálií. Vznikají stříbrné koloidní částice s velikostí 45 až 380 nm. [20, 21]

2.9. Vlastnosti a využití koloidních částic stříbra

Jak již bylo uvedeno na začátku této bakalářské práce, stříbrné nanočástice nacházejí díky svým biologickým, optickým a katalytickým vlastnostem využití jak ve výzkumných laboratořích, tak i v běžné praxi.

Vlastnosti jako velikost, resp. velikostní distribuce používaných nanočástic, také jejich morfologie, stabilita a stav povrchu z hlediska chemického (změna povrchu) i fyzikálního (např. elektrický náboj) hrají důležitou roli ve vyvíjených technologických aplikacích nanočástic. Vzhledem k mnoha možnostem uplatnění koloidních částic stříbra bylo vyvinuto mnoho syntetických metod. [22]

Počátkem 20. století kulminoval zájem o antibakteriální aktivitu stříbra, která je známa od dob starověkého Řecka. Boj s mikroorganismy pomocí koloidního stříbra, který byl přerušen objevem penicilínu, se začal znovu rozvíjet z důvodu narůstající rezistence bakterií vůči antibiotikům, což přináší velký problém pro budoucnost medicíny. Materiály obsahující stříbro s antibakteriální aktivitou se používají v medicíně např. ke zmírnění infekcí při léčení popálenin, také k zabránění bakteriální kolonizace protéz, cévních štěpů, zubních materiálů, nerezových materiálů či lidské kůže. Nanočástice stříbra lze dále využít k odstranění mikroorganismů z textilií nebo k úpravě vody. Na rozdíl od baktericidních účinků iontového stříbra, ovlivňují antimikrobiální aktivitu stříbrných nanočástic jejich rozměry – čím menší částice, tím větší antimikrobiální účinky. [20]

Poslední čtvrtina 20. století přinesla mimo jiné i objev stříbrným povrchem zesíleného Ramanova rozptylu (SERS), který zapříčinil rychlý vývoj nové, vysoce citlivé metody spektroskopie, sloužící k studiu jediné molekuly naadsorbované na nanočástici stříbra. [22]

V oblasti katalýzy se připravené nanočástice stříbra využívají především ke katalytické redukci nitrosloučenin a organických barviv, jež představují látky vykazující vysoký stupeň toxicity pro životní prostředí. [22]

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1. Chemikálie

Chemikálie, použité při experimentální části bakalářské práce, jsou uvedeny v tabulce 4. Pro přípravu všech disperzí byla použita demineralizovaná voda z přístroje AQUAL 29 firmy MERCI o čistotě 0,05 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabulka 4 Přehled použitých chemikálií

| NÁZEV | VÝROBCE | ČISTOTA |
|--------------------------|---------------|---------|
| dusičnan stříbrný | Tamda | p.a. |
| amoniak (vodný roztok) | Lach-Ner | p.a. |
| hydroxid sodný | Lach-Ner | p.a. |
| D (+) maltóza monohydrát | Sigma Aldrich | p.a. |
| polyakrylát-polyalcohol | Sigma Aldrich | p.a. |
| methanol | Penta | p.a. |
| ethanol | Penta | p.a. |
| 1-propanol | Penta | p.a. |

3.2. Přístrojové vybavení

3.2.1. Zeta Potential Analyzer Zeta Plus (90 Plus)

K měření velikosti stříbrných nanočástic byl použit přístroj Zeta Potential Analyzer Plus (Brookhaven Instrument Corporation, USA), jež pracuje na principu dynamického rozptylu světla. Pomocí tohoto přístroje, jehož výstupním údajem je velikost částic, polydisperzita nebo distribuce velikosti částic, lze také měřit zeta potenciál. [23]

3.2.2. Zetasizer Nano ZS

Přístroj Zetasizer Nano ZS, který umožňuje stanovení velikosti částic, zeta potenciálu nebo molekulové hmotnosti, poskytuje velmi vysokou citlivost, rozlišení

a přesnost při zmíněných měřeních. Tyto vlastnosti jsou dosaženy kombinací fázové analýzy rozptylu světla (PALS) a vysoce výkonného laseru Dopplerova rychloměru v Malvern M3-PALS technice. Mohou být analyzovány i vzorky s velmi nízkou mobilitou. [24]

Obr. 6 Přístroj Zetasizer Nano ZS a kyveta určená pro měření elektrokinetického potenciálu [24]



3.2.3. Spektrofotometr Specord S600

K získání UV-VIS spekter byl použit spektrofotometr Specord S600 (Analytic Jena, AG), který je díky detektoru diodového pole (DAD) rychlý a přesný. Spektra měří v čase pod 12 milisekund v rozmezí vlnových délek 190-1020 nm. [23]

3.3. Příprava nanočástic stříbra

Nanočástice stříbra byly připraveny redukcí diamminstříbrného komplexního kationtu disacharidem maltózou. Jedná se o modifikovanou Tollensovu metodu, při níž byl reakční systém po celou dobu míchán za laboratorní teploty.

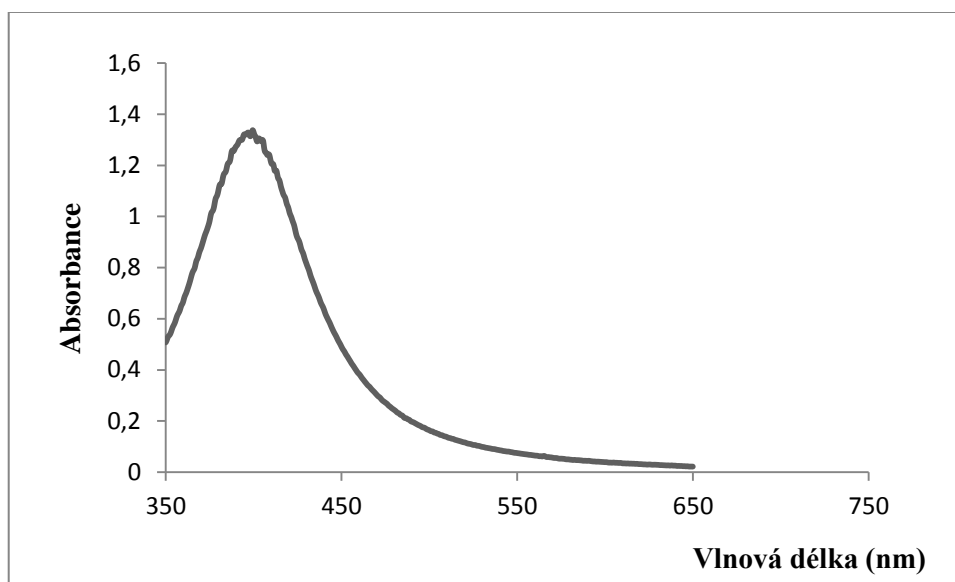
Pro přípravu koloidní disperze, obsahující stříbrné nanočástice, byly připraveny zásobní roztoky o definovaných koncentracích:

- 250 ml roztoku AgNO_3 o koncentraci $5 \cdot 10^{-3} \text{ mol.l}^{-1}$
- 250 ml roztoku NH_3 o koncentraci $5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.l}^{-1}$
- 100 ml roztoku NaOH o koncentraci $2,4 \cdot 10^{-1} \text{ mol.l}^{-1}$
- 250 ml roztoku maltózy o koncentraci $5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.l}^{-1}$

Do reakční nádoby o objemu 2 l bylo z připravených zásobních roztoků odměřeno 200 ml roztoku dusičnanu stříbrného a 100 ml roztoku amoniaku. Následně bylo přidáno 460 ml demineralizované vody (množství vody bylo spočítáno pro celkový objem disperze 1 l), 40 ml hydroxidu sodného a nakonec 200 ml maltózy. Reakce byla ukončena přibližně po 5 min. Výsledná disperze obsahovala nanočástice o velikosti přibližně 27 nm a hodnota zeta potenciálu byla -29,8 mV.

UV-VIS spektra koloidních disperzí obsahující stříbrné nanočástice jsou charakteristické absorpcí v rozmezí vlnových délek 400 až 420 nm.

Obr. 7 UV-VIS spektrum připravené koloidní disperze nanočástic stříbra



3.4. Zakoncentrování koloidní disperze

K zakoncentrování disperze bylo použito 7 dialyzačních membrán z celulózy, které byly naplněny 1g sorbentu. Jako sorbent byl použit polyakrylát-polyalkohol. Naplněné membrány byly vloženy do litrové kádinky a ponechány v disperzi po dobu 3-5 dní. Tento proces se opakovl 3x a celkové zakoncentrování bylo 2,73x.

Výsledný zakoncentrovaný koloid vážil 362g a velikost jeho nanočástic byla naměřena větší než u základní disperze stříbrných nanočástic - 40,4 nm. Přesná koncentrace získané koloidní disperze, změřená pomocí atomové absorpční spektroskopie, byla 245,6 mg/l.

3.5. Stanovení zeta potenciálu ve smíšeném prostředí voda-alkohol

Pomocí automatických pipet byly připraveny roztoky alkoholu ve vodě o celkovém objemu 25 ml, jež obsahovaly 0, 5, 10, 15, 20, 25 nebo 30% v/v alkoholu (tab. 5). Jako organická rozpouštědla byly použity celkem tři alkoholy – methanol, ethanol a 1-propanol.

Tabulka 5 Přehled připravených disperzí ke stanovení zeta potenciálu

| | Destilovaná voda (ml) | Koloidní roztok (ml) | Alkohol (ml) |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|
| 1. disperze (0% alkoholu) | 22,45 | 2,55 | 0 |
| 2. disperze (5% alkoholu) | 21,2 | | 1,25 |
| 3. disperze (10% alkoholu) | 19,95 | | 2,5 |
| 4. disperze (15% alkoholu) | 18,7 | | 3,75 |
| 5. disperze (20% alkoholu) | 17,45 | | 5 |
| 6. disperze (25% alkoholu) | 16,2 | | 6,25 |
| 7. disperze (30% alkoholu) | 14,95 | | 7,5 |

4. VÝSLEDKY A DISKUZE

Pro každý alkohol byly provedeny celkem tři série měření, přičemž kádinka, kyvety i elektromagnetické míchadlo byly po každém měření čištěny ve zředěné kyselině dusičné (1:1).

4.1. Vliv methanolu na zeta potenciál stříbrných nanočástic

Do 50 ml kádinek bylo podle tab. 5 připraveno celkem 7 koloidních disperzí s různou koncentrací methanolu, pro které byly měřeny následující údaje:

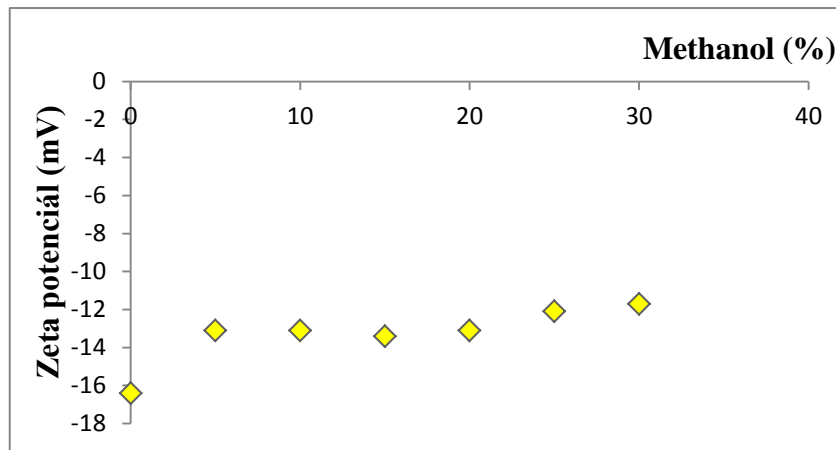
- velikost stříbrných nanočástic
- UV-VIS spektrum
- elektrokinetický potenciál

1. měření

Tabulka 6 Velikost stříbrných nanočástic a zeta potenciál v závislosti na koncentraci přidaného methanolu

| Methanol (%) | Velikost částic (nm) | Zeta potenciál (mV) |
|--------------|----------------------|---------------------|
| 0 | 41,0 | -16,4 |
| 5 | 46,9 | -13,1 |
| 10 | 54,8 | -13,1 |
| 15 | 64,7 | -13,4 |
| 20 | 69,2 | -13,1 |
| 25 | 76,8 | -12,1 |
| 30 | 79,7 | -11,7 |

Obr. 8 Závislost zeta potenciálu na koncentraci přidaného methanolu

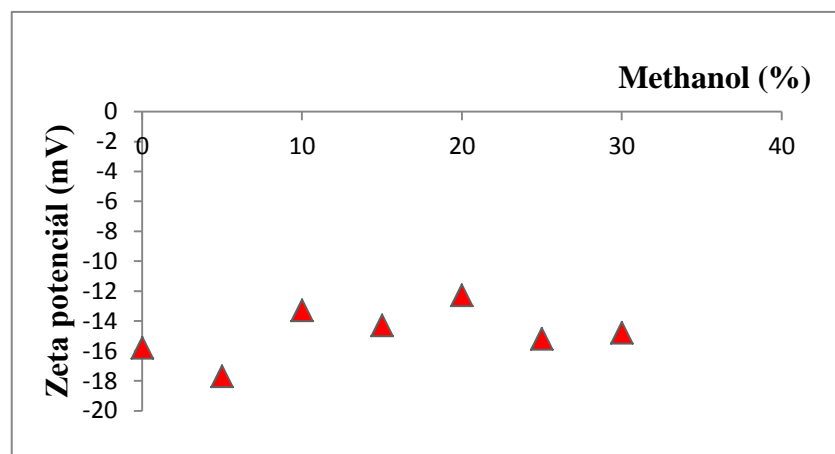


2. měření

Tabulka 7 Velikost stříbrných nanočástic a zeta potenciál v závislosti na koncentraci přidaného methanolu

| Methanol (%) | Velikost částic (nm) | Zeta potenciál (mV) |
|--------------|----------------------|---------------------|
| 0 | 40,3 | -15,8 |
| 5 | 47,5 | -17,7 |
| 10 | 52,1 | -13,3 |
| 15 | 84,8 | -14,3 |
| 20 | 84,6 | -12,3 |
| 25 | 93,3 | -15,2 |
| 30 | 103,7 | -14,8 |

Obr. 8 Závislost zeta potenciálu na koncentraci přidaného methanolu

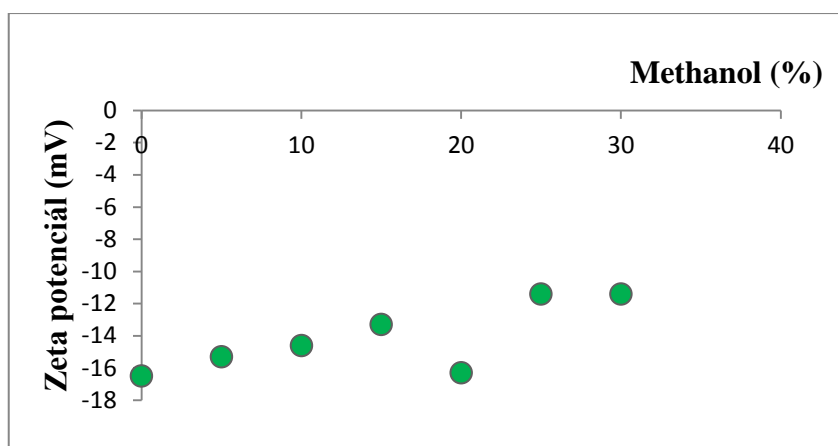


3. měření

Tabulka 8 Velikost stříbrných nanočástic a zeta potenciál v závislosti na koncentraci přidaného methanolu

| Methanol (%) | Velikost částic (nm) | Zeta potenciál (mV) |
|--------------|----------------------|---------------------|
| 0 | 57,9 | -16,5 |
| 5 | 56,9 | -15,3 |
| 10 | 71,1 | -14,6 |
| 15 | 88,0 | -13,3 |
| 20 | 94,0 | -16,3 |
| 25 | 88,7 | -11,4 |
| 30 | 100,2 | -11,4 |

Obr. 9 Závislost zeta potenciálu na koncentraci přidaného methanolu



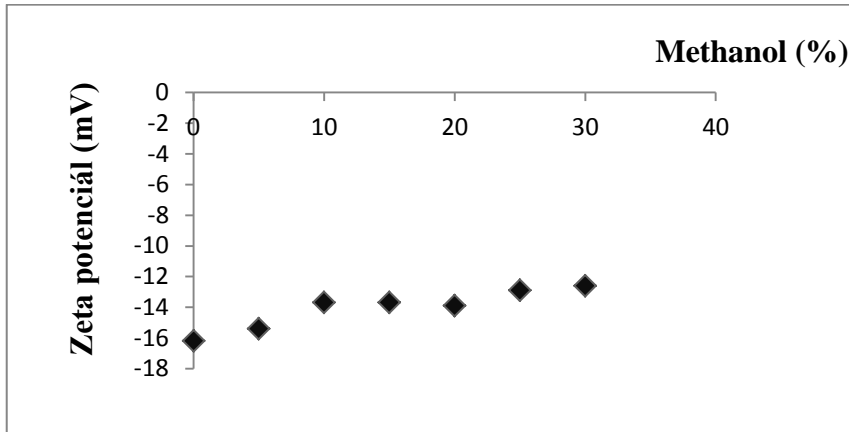
Průměr všech měření v methanolu

Tabulka 9 Velikost stříbrných nanočástic a zeta potenciál v závislosti na koncentraci přidaného methanolu

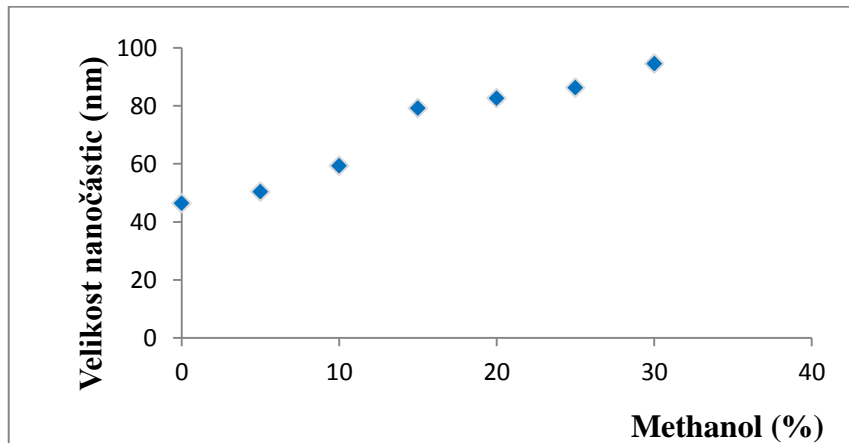
| Methanol (%) | Průměr vel. všech měření (nm) | Průměr zeta pot. všech měření (mV) | Průměr std. odchylek všech měření (mV) |
|--------------|-------------------------------|------------------------------------|--|
| 0 | 46,4 | -16,2 | 16,07 |
| 5 | 50,4 | -15,4 | 14,13 |
| 10 | 59,3 | -13,7 | 14,03 |
| 15 | 79,2 | -13,7 | 11,57 |

| | | | |
|----|------|-------|-------|
| 20 | 82,6 | -13,9 | 11,47 |
| 25 | 86,3 | -12,9 | 10,77 |
| 30 | 94,5 | -12,6 | 9,98 |

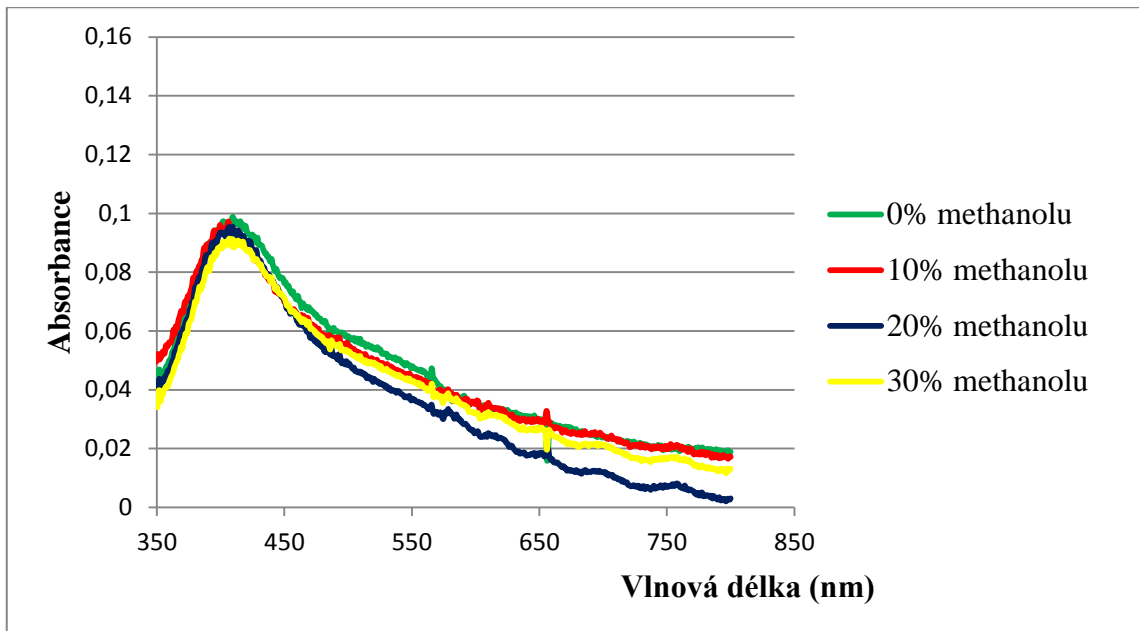
Obr. 10 Závislost zeta potenciálu na koncentraci přidaného methanolu



Obr. 11 Závislost velikosti nanočástic stříbra na koncentraci přidaného methanolu



Obř. 12 Absorpční spektra připravených roztoků stříbrných nanočástic se vzrůstající koncentrací methanolu. Legenda popisuje koncentraci přidaného methanolu.



4.2. Vliv ethanolu na zeta potenciál stříbrných nanočástic

Do 50 ml kádinek bylo podle tab. 5 připraveno celkem 7 koloidních disperzí s různou koncentrací ethanolu, pro které byly měřeny následující údaje:

- velikost stříbrných nanočástic
- UV-VIS spektrum
- elektrokinetický potenciál

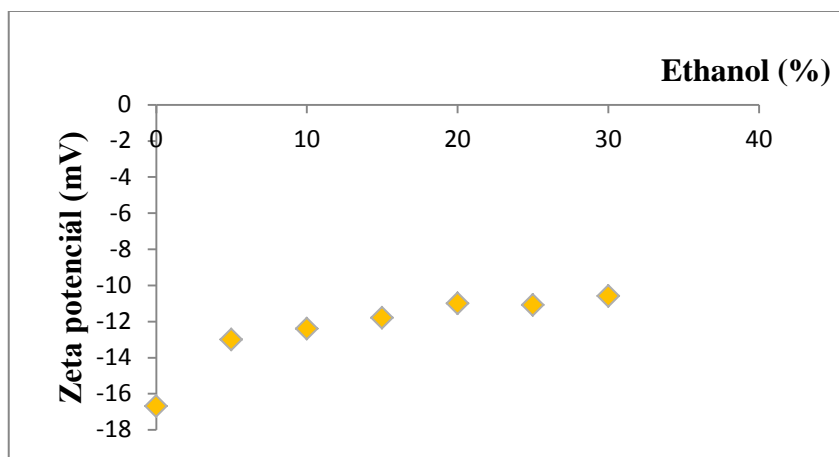
1. měření

Tabulka 10 Velikost stříbrných nanočástic a zeta potenciál v závislosti na koncentraci přidaného ethanolu

| Ethanol (%) | Průměrná vel. (nm) | Zeta potenciál (mV) |
|-------------|--------------------|---------------------|
| 0 | 43,4 | -16,7 |
| 5 | 53,8 | -13 |
| 10 | 69,6 | -12,4 |

| | | |
|----|-------|-------|
| 15 | 78,0 | -11,8 |
| 20 | 102,5 | -11 |
| 25 | 110,1 | -11,1 |
| 30 | 114,8 | -10,6 |

Obr. 13 Závislost zeta potenciálu na koncentraci přidaného ethanolu

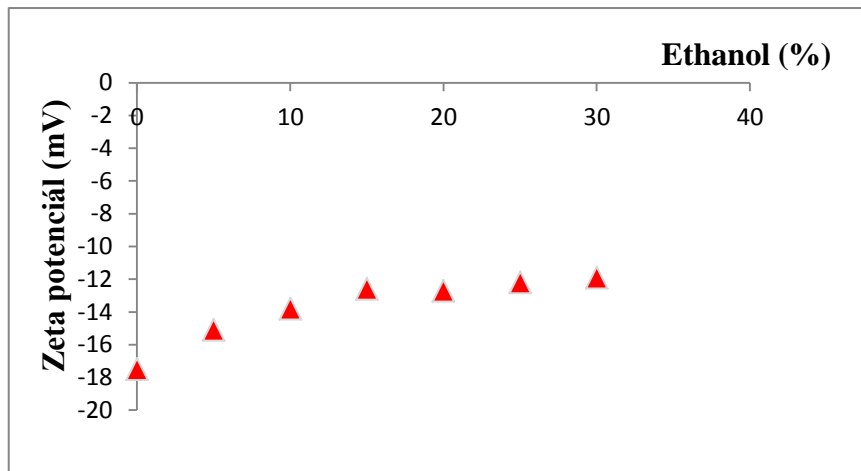


2. měření

Tabulka 11 Velikost stříbrných nanočástic a zeta potenciál v závislosti na koncentraci přidaného ethanolu

| Ethanol (%) | Průměrná vel. (nm) | Zeta potenciál (mV) |
|-------------|--------------------|---------------------|
| 0 | 40,2 | -17,5 |
| 5 | 56,9 | -15,1 |
| 10 | 65,5 | -13,8 |
| 15 | 84,1 | -12,6 |
| 20 | 104,9 | -12,7 |
| 25 | 129,2 | -12,2 |
| 30 | 145,1 | -11,9 |

Obr. 14 Závislost zeta potenciálu na koncentraci přidaného ethanolu

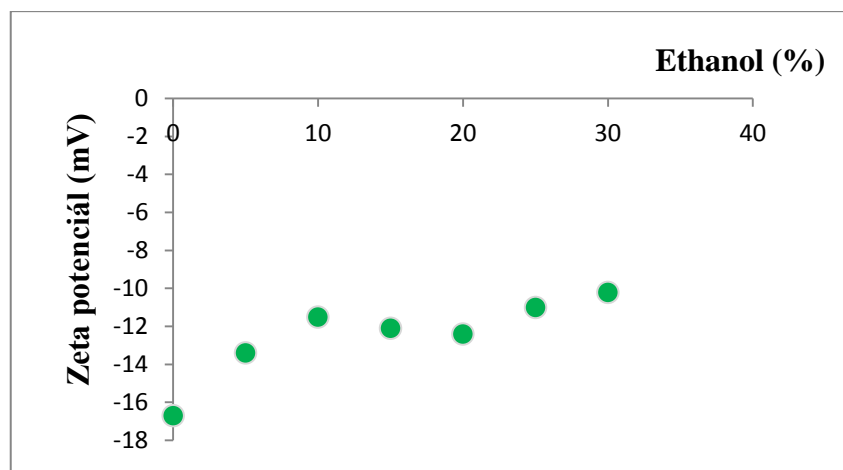


3. měření

Tabulka 12 Velikost stříbrných nanočástic a zeta potenciál v závislosti na koncentraci přidaného ethanolu

| Ethanol (%) | Průměrná vel. (nm) | Zeta potenciál (mV) |
|-------------|--------------------|---------------------|
| 0 | 49,4 | -16,7 |
| 5 | 64,0 | -13,4 |
| 10 | 73,4 | -11,5 |
| 15 | 95,3 | -12,1 |
| 20 | 105,9 | -12,4 |
| 25 | 123,0 | -11 |
| 30 | 129,0 | -10,2 |

Obr. 15 Závislost zeta potenciálu na koncentraci přidaného ethanolu

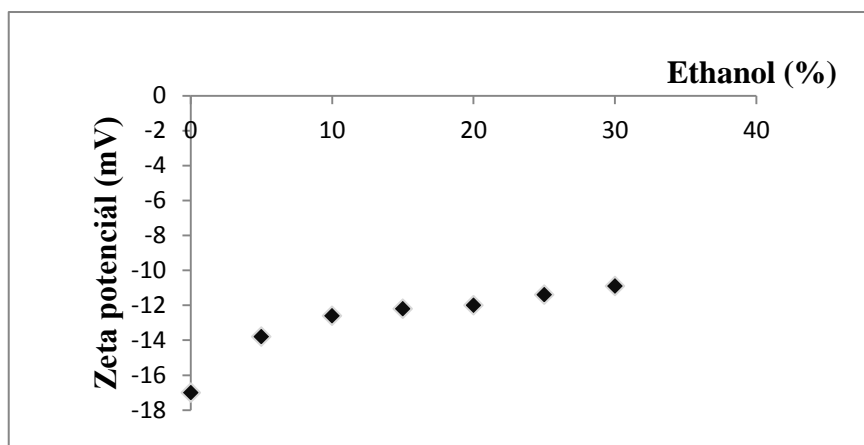


Průměr všech měření v ethanolu

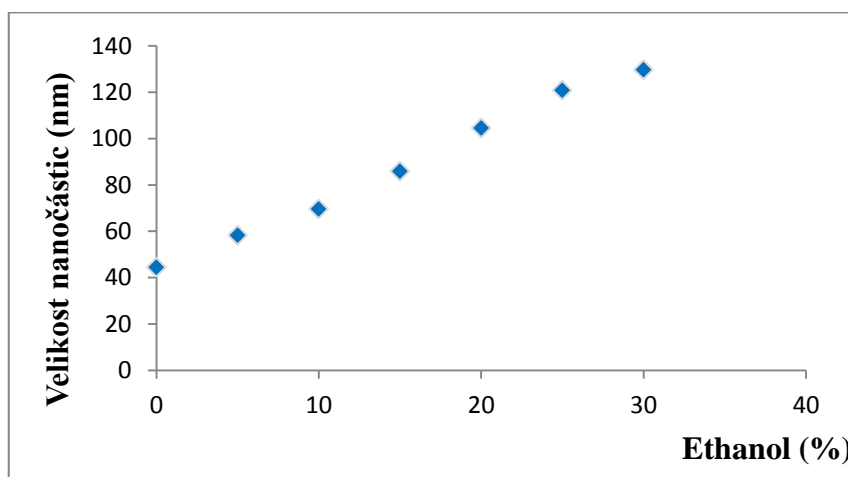
Tabulka 13 Velikost stříbrných nanočástic a zeta potenciál v závislosti na koncentraci přidaného ethanolu

| Ethanol (%) | Průměr vel. všech měření (nm) | Průměr zeta pot. všech měření (mV) | Průměr std. odchylek všech měření (mV) |
|-------------|-------------------------------|------------------------------------|--|
| 0 | 44,3 | -17 | 13,93 |
| 5 | 58,2 | -13,8 | 14,03 |
| 10 | 69,5 | -12,6 | 11,43 |
| 15 | 85,8 | -12,2 | 10,31 |
| 20 | 104,4 | -12 | 10,17 |
| 25 | 120,8 | -11,4 | 8,81 |
| 30 | 129,9 | -10,9 | 7,48 |

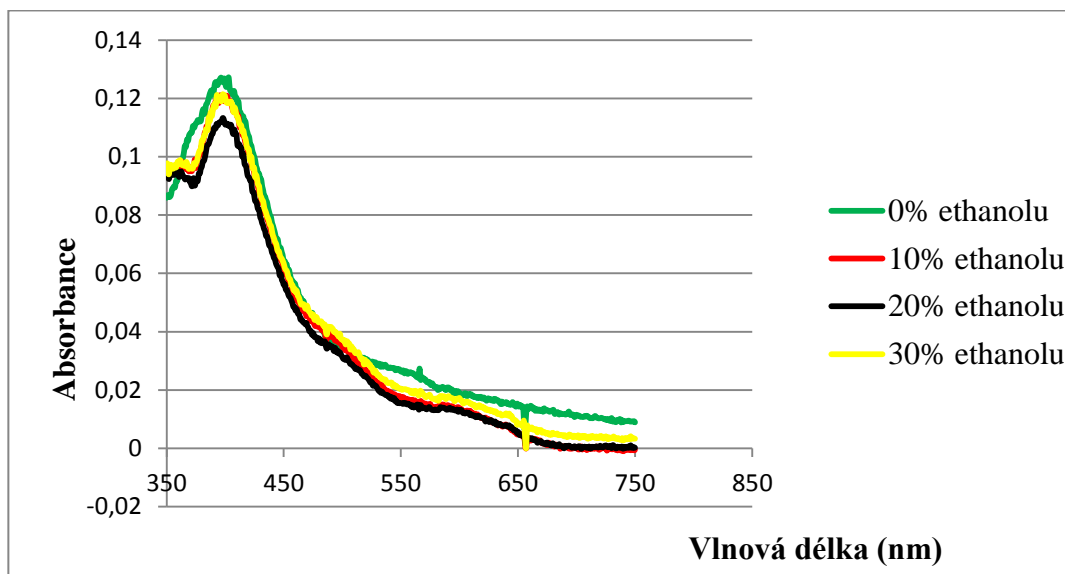
Obr. 16 Závislost zeta potenciálu na koncentraci přidaného ethanolu



Obr. 17 Závislost velikosti nanočástic stříbra na koncentraci přidaného ethanolu



Obr. 18 Absorpční spektra připravených roztoků stříbrných nanočástic, které se s vzrůstající koncentrací ethanolu téměř nelišila. Legenda popisuje koncentraci přidaného ethanolu.



4.3. Vliv 1-propanolu na zeta potenciál stříbrných nanočástic

Do 50 ml kádinek bylo podle tab. 5 připraveno celkem 7 koloidních disperzí s různou koncentrací 1-propanolu, pro které byly měřeny následující údaje:

- velikost stříbrných nanočástic
- UV-VIS spektrum
- elektrokinetický potenciál

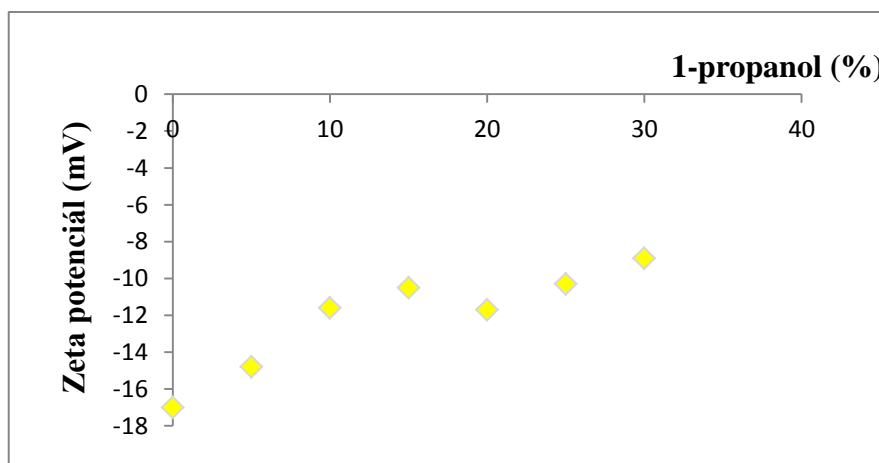
1. měření

Tabulka 14 Velikost stříbrných nanočástic a zeta potenciál v závislosti na koncentraci přidaného 1-propanolu

| 1-propanol (%) | Průměrná vel. (nm) | Zeta potenciál (mV) |
|----------------|--------------------|---------------------|
| 0 | 45,6 | -17 |
| 5 | 62,2 | -14,8 |
| 10 | 73,5 | -11,6 |

| | | |
|----|-------|-------|
| 15 | 84,4 | -10,5 |
| 20 | 103,4 | -11,7 |
| 25 | 122,4 | -10,3 |
| 30 | 134,8 | -8,9 |

Obr. 19 Závislost zeta potenciálu na koncentraci přidaného 1-propanolu

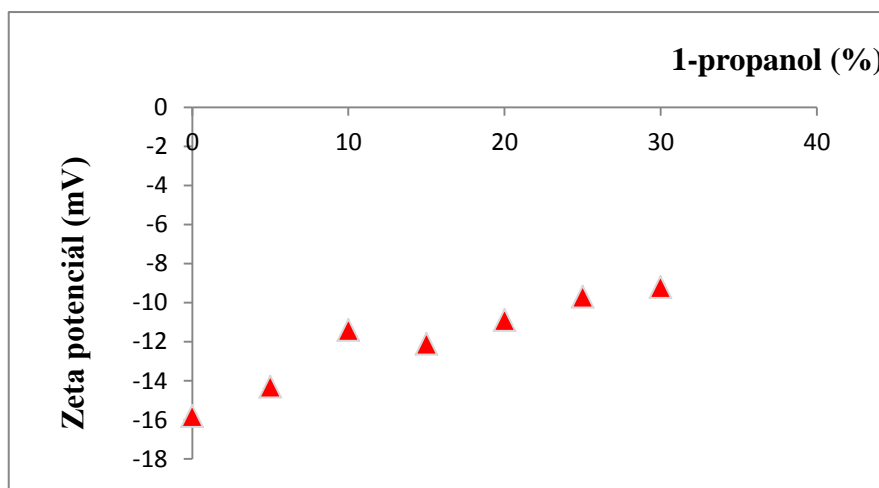


2. měření

Tabulka 15 Velikost stříbrných nanočástic a zeta potenciál v závislosti na koncentraci přidaného 1-propanolu

| 1-propanol (%) | Průměrná vel. (nm) | Zeta potenciál (mV) |
|----------------|--------------------|---------------------|
| 0 | 48,1 | -15,8 |
| 5 | 58,7 | -14,3 |
| 10 | 78,0 | -11,4 |
| 15 | 93,5 | -12,1 |
| 20 | 104,1 | -10,9 |
| 25 | 120,4 | -9,7 |
| 30 | 137,5 | -9,2 |

Obr. 20 Závislost zeta potenciálu na koncentraci přidaného 1-propanolu

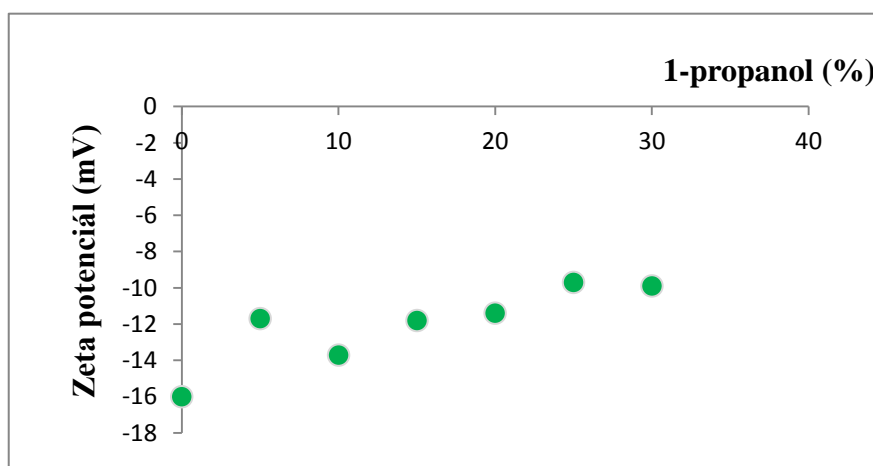


3. měření

Tabulka 16 Velikost stříbrných nanočástic a zeta potenciál v závislosti na koncentraci přidaného 1-propanolu

| 1-propanol (%) | Průměrná vel. (nm) | Zeta potenciál (mV) |
|----------------|--------------------|---------------------|
| 0 | 50,0 | -16 |
| 5 | 64,0 | -11,7 |
| 10 | 73,0 | -13,7 |
| 15 | 90,8 | -11,8 |
| 20 | 112,2 | -11,4 |
| 25 | 124,8 | -9,7 |
| 30 | 153,2 | -9,9 |

Obr. 21 Závislost zeta potenciálu na koncentraci přidaného 1-propanolu

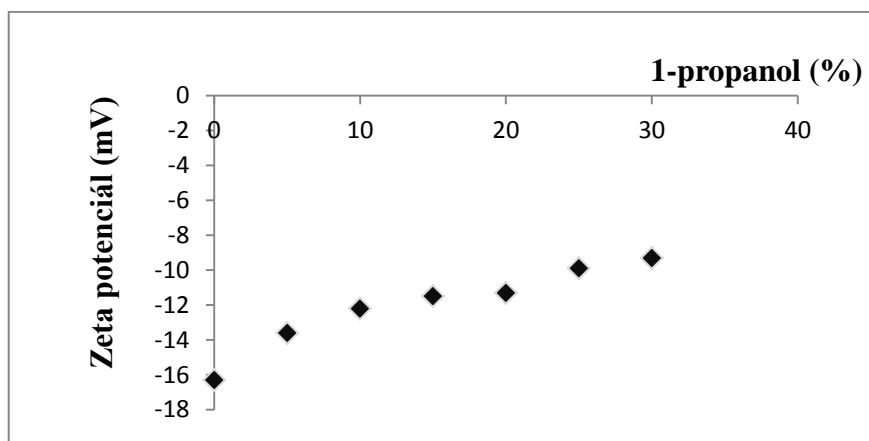


Průměr všech měření v 1-propanolu

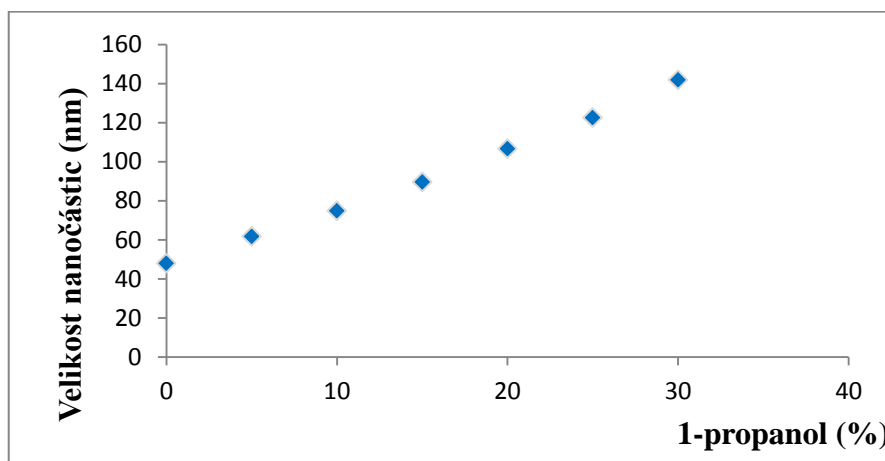
Tabulka 17 Velikost stříbrných nanočástic a zeta potenciál v závislosti na koncentraci přidaného 1-propanolu

| 1-propanol (%) | Průměr vel. všech měření (nm) | Průměr zeta pot. všech měření (mV) | Průměr std. odchylek všech měření (mV) |
|----------------|-------------------------------|------------------------------------|--|
| 0 | 47,9 | -16,3 | 12,77 |
| 5 | 61,6 | -13,6 | 12,53 |
| 10 | 74,8 | -12,2 | 12,99 |
| 15 | 89,6 | -11,5 | 10,12 |
| 20 | 106,6 | -11,3 | 8,09 |
| 25 | 122,5 | -9,9 | 7,75 |
| 30 | 141,8 | -9,3 | 6,65 |

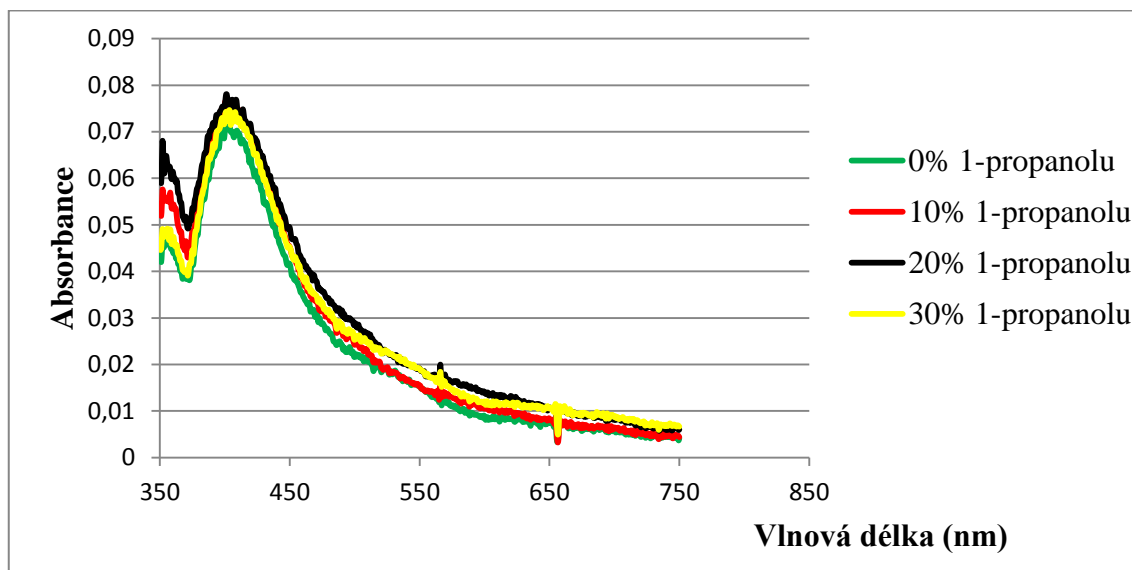
Obr. 22 Závislost zeta potenciálu na koncentraci přidaného 1-propanolu



Obr. 23 Závislost velikosti nanočástic stříbra na koncentraci přidaného 1-propanolu



Obr. 24 Absorpční spektra připravených roztoků stříbrných nanočástic, které se s vzrůstající koncentrací 1-propanolu téměř nelišila. Legenda popisuje koncentraci přidaného propanolu.



4.4. Diskuze vlivu prostředí na zeta potenciál nanočástic stříbra

V předložené bakalářské práci byl sledován vliv organického rozpouštědla ve směsi s vodou především na zeta potenciál, ale také na velikost stříbrných nanočástic, které byly připraveny redukcí diamminstříbrného komplexního kationtu disacharidem maltózou.

Experimentální měření byla provedena v rozmezí koncentrace jednoduchého alifatického alkoholu ve vodě od 0 po 30% v/v. Studovány byly tři nejnižší alkoholy, které jsou velmi dobře rozpustné ve vodě – methanol, ethanol a 1-propanol a přitom se výrazně liší svou polaritou vyjádřenou hodnotou jejich relativní permitivity. Provedené experimenty ukázaly, že s rostoucí koncentrací alkoholu v měřené disperzi dochází k poklesu absolutní hodnoty zeta potenciálu a zároveň agregaci nanočástic stříbra vyvolané nejpravděpodobněji právě tímto poklesem, který zapříčiňuje růst rychlosti agregace poklesem elektrostatické bariéry dle DLVO teorie.

Jako první organické rozpouštědlo byl použit methanol, v jehož případě byl zaznamenán průměrný pokles absolutní hodnoty zeta potenciálu o 3,6 mV z průměrné

hodnoty -16,2 mV. Tak malá změna hodnoty zeta potenciálu naznačuje, že v prostředí směsného rozpouštědla voda-methanol nedochází k výrazné agregátní destabilizaci nanočástic stříbra, i když metoda DLS naznačuje, že při vyšších koncentracích methanolu již částečná agregace probíhá, i když není znatelná v UV-VIS spektrech.

V případě ethanolu byl pozorován podobný průběh závislosti zeta potenciálu nanočástic stříbra na obsahu alkoholu ve směsném rozpouštědle jako u 1-propanolu, kde byl pokles absolutní hodnoty zeta potenciálu s rostoucí koncentrací alkoholu o něco vyšší než u methanolu. Při použití ethanolu byla zjištěna průměrná změna hodnoty zeta potenciálu o 6,1 mV a u 1-propanolu, se zeta potenciál změnil o 7 mV. Tato podobnost změny zeta potenciálu nanočástic stříbra ve směsném prostředí voda-ethanol a voda-propanol nepochybně souvisí s hodnotami jejich relativní permitivity - u ethanolu je uváděna hodnota 24,55 pro 25°C, u 1-propanolu 20,33. [25] Methanol je z použitých alkoholů nejpolarnější ($\epsilon_r=32,7$), proto je změna zeta potenciálu v jeho směsi s vodou nejmenší.

Experimentálně tak bylo potvrzeno, že elektrokinetický potenciál nanočástic stříbra se mění v ethanolu a 1-propanolu více než v methanolu, protože tyto alkoholy mají výrazně nižší permitivitu, tak jak tuto závislost popisuje DLVO teorie, resp. modely elektrické dvojvrstvy.

Z hlediska přípravy nanočástic stříbra v nevodném prostředí se tak potvrzuje, že stabilnější budou disperze v polarnějším prostředí, kde elektrostatické interakce tolik neklesají jako v nepolárních rozpouštědlech. V takových rozpouštědlech je nezbytné použití vhodných stabilizátorů, účinkujících spíše na principu sterické stabilizace než na principu elektrostatické stabilizace.

5. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo studium závislosti elektrokinetického potenciálu stříbrných nanočástic na objemovém procentu organického rozpouštědla ve směsi s vodou. Pro toto studium, byly jako organická rozpouštědla použity jednoduché alifatické alkoholy mísitelné s vodou - methanol, ethanol a 1-propanol.

Základní disperze obsahující nanočástice stříbra byla syntetizována redukcí komplexu $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ disacharidem D-maltózou. U této disperze, o velikosti nanočástic okolo 27 nm, byla naměřena hodnota zeta potenciálu přibližně -30 mV a v UV-VIS spektrech byla nalezena charakteristická absorpce u vlnových délek v oblasti 400 nm.

Zakoncentrování koloidní disperze bylo provedeno pomocí dialyzačních membrán z celulózy, které byly naplněny polyakrylát-polyalkoholem jako sorbentem. Přesná koncentrace získané disperze 246 mg Ag/l byla změřena použitím atomové absorpční spektroskopie.

Pro každý alkohol byly provedeny celkem tři série měření, při čemž v každé sérii byl s rostoucí koncentrací alkoholu pozorován pokles absolutní hodnoty zeta potenciálu nanočástic stříbra v příslušné disperzi. U methanolu tento pokles činil v průměru 3,6 mV, u ethanolu 6,1 mV a u 1-propanolu 7 mV. Současně také docházelo k agregaci nanočástic stříbra, čemuž odpovídají naměřené hodnoty jejich velikostí.

Experimentálním měřením bylo tedy potvrzeno, že koncentrace alkoholu ovlivňuje hodnotu zeta potenciálu stříbrných nanočástic. Na základě získaných výsledků lze konstatovat, že elektrokinetický potenciál se mění v ethanolu a 1-propanolu více než v případě methanolu. Důvodem je zřejmě výrazně nižší permitivita ethanolu a 1-propanolu ve srovnání s methanolem.

6. SUMMARY

The aim of this bachelor thesis was to study the dependence of elektrokinetic potential of silver nanoparticles on the volume percentage of organic solvent mixed with water. For this study, simple aliphatic alcohols miscible with water – methanol, ethanol and 1-propanol were used as organic solvents.

Basic dispersion containing silver nanoparticles was synthesized by reduction of the complex $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ with disaccharides D-maltose. This dispersion, with the size of nanoparticles around 27 nm, provided values of zeta potential about -30 mV and UV-VIS spectra, characteristic by absorption of wavelengths in the area 400 nm.

A preconcentration of colloidal dispersion was carried out using cellulose dialysis membranes that were filled with polyacrylate-polyalcohol as sorbent. The exact concentration of the obtained dispersion 246 mg Ag/l was measured using atomic absorption spectroscopy (AAS).

Three series of measurements were carried out for each alcohol, whereas an decrease of the absolute value of zeta potential of silver nanoparticles in appropriate dispersion was observed with rising concentration of alcohol in every set. For methanol, this decline was at average 3,6 mV, for ethanol 6.1 mV and for 1-propanol 7 mV. At the same time there was also an aggregation of silver nanoparticles, which correspond to measured values of their size.

By the experimental measurement was confirmed, that the concentration of alcohol affects the value of zeta potential of silver nanoparticles. On the basis of obtained results we can claim, that elektrokinetic potential changes in ethanol and in 1-propanol more than in the case of methanol. The reason is probably distinctively lower permittivity of ethanol and 1-propanol compared to methanol.

7. LITERATURA

1. J. Soukupová, L. Kvítek, M. Kratochvílová, A. Panáček, R. Pucek, R. Zbořil: *J. Chem. Educ.* 87 (10), 1094–1097, 2010.
2. A. Fojtík: *Nanostructures and nanotechnology – applications and possibilities*, České vysoké učení technické v Praze, Praha 2009.
3. L. Bartovská; M. Šišková: *Fyzikální chemie koloidních povrchů a soustav*, VŠCHT Praha, Praha 2005.
4. B. Jirgensons; M. E. Straumanis: *A Short Textbook of Colloid Chemistry*, John Wiley & Sons, New York 1954.
5. K. S. Birdi: *Handbook of Surface and Colloid Chemistry*, CRC Press, 2008.
6. J. Pouchlý: *Koloidní chemie*, SNTL, Praha 1973.
7. L. Kvítek; A. Panáček: *Základy koloidní chemie*, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc 2007.
8. I. Vavruch: *Koloidní chemie*, SNTL, Praha 1959.
9. S. S. Vojuckij: *Kurs koloidní chemie*, SNTL, Praha 1984.
10. E. D. Ščukin; A. V. Percov; E. A. Amelinová: *Koloidní chemie*, Academia Praha, Praha 1990.
11. D. J. Shaw: *Introduction to Colloid and Surface Chemistry*, Butterworth-Heinemann, Oxford 2003.
12. K. J. Mysels: *Introduction to colloid chemistry*, John Wiley & Sons, New York 1959.
13. J. Novák; L. Bartovská; I. Cibulka; et al.: *Fyzikální chemie bakalářský a magisterský kurz*, VŠCHT, Praha 2009.
14. staženo v květnu 2011:
<http://www.malvern.com/malvern/kbase.nsf/allbyno/KB000411?opendocument>

15. K. Komers: *Základy koloidní chemie*, Univerzita Pardubice, Pardubice 1996.
16. T. Cosgrove: *Colloid Science Principles, Methods and Applications*, John Wiley & Sons, Chichester 2010.
17. D. H. Everett: *Basic Principles of Colloid Science*, RSC, London 1992.
18. R. Prucek, L. Kvítek, J. Hrbáč.: *Acta Univ. Palacki. Olom., Chemica* 43, 59-67, 2004.
19. J. Soukupová, L. Kvítek, A. Panáček, T. Nevěčná, R. Zbořil: *Mater. Chem. Phys.* 111, 77–81, 2008.
20. A. Panáček, L. Kvítek, R. Prucek, M. Kolář, R. Večeřová, N. Pizúrová, V. K. Sharma, T. Nevěčná, R. Zbořil: *J. Phys. Chem. B* 110, 16248-16253, 2006.
21. L. Kvítek, R. Prucek, A. Panáček, R. Novotný, J. Hrbáč, R. Zbořil: *J. Mater. Chem.* 15, 1099–1105, 2005.
22. L. Kvítek, R. Prucek, A. Panáček, J. Soukupová: staženo v dubnu 2011 z <http://www.nanocon.cz/data/nanocon2009/sbornik/Lists/Papers/008.pdf>
23. T. Svobodník: *Příprava a stabilizace nanočástic stříbra v systému voda-alkohol*, Bakalářská práce, Univerzita Palackého v Olomouci, 2010.
24. staženo v dubnu 2011: <http://www.malvern.com/common/downloads/MRK496.pdf>
25. J. Vohlídal, A. Julák, K. Štulík: *Chemické a analytické tabulky*, Grada, Praha 1999.