

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzikální chemie



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Nanotechnologie jako součást školního vzdělávacího programu chemie na SŠ a bakalářského studijního programu na VŠ

Autor: Bc. Monika Remzová
Studijní program: N1407 Chemie
Studijní obor: Učitelství chemie pro střední školy – Učitelství geologie
a ochrany životního prostředí pro střední školy
Forma studia: Prezenční
Vedoucí práce: RNDr. Jana Soukupová, Ph.D.

Olomouc 2011

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci samostatně vypracovala na Katedře fyzikální chemie pod vedením RNDr. Jany Soukupové, Ph.D. Všechny literární prameny, které jsem použila či konzultovala v rámci vypracování této práce jsou uvedeny na konci v kapitole Seznam literatury.

V Olomouci dne _____

Podpis _____

Poděkování

Ráda bych poděkovala především své vedoucí diplomové práce RNDr. Janě Soukupové, Ph.D. za její toleranci, cenné rady a připomínky.

Bibliografická identifikace

Autor	Monika Remzová
Název práce	Nanotechnologie jako součást školního vzdělávacího programu chemie na SŠ a bakalářského studijního programu na VŠ
Typ práce	magisterská
Pracoviště	Katedra fyzikální chemie
Vedoucí práce	RNDr. Jana Soukupová, Ph.D.
Rok obhajoby práce	2011
Abstrakt	Koloidní chemie jakožto samostatná vědní disciplína, zaznamenala velký rozmach na přelomu 19. a 20. století. Ovšem teprve o století později došlo k docenění této oblasti chemie, a to díky rozvíjejícím se oborům nanochemie a nanotechnologií. Cílem diplomové práce byla snaha o zmapování stavu problematiky výuky koloidních a nano- systémů a následné navržení experimentálních úloh, které mohou být zařazeny jakožto součást výuky na SŠ, ale také jako program laboratorních cvičení vyučovaných v rámci bakalářského studia.
Klíčová slova	nanotechnologie, výuka koloidních a nano- systémů, experimentální úlohy, nanočástice stříbra, modifikace, agregátní stabilita
Počet stran	82
Jazyk	český

Bibliographic identification

Author	Monika Remzová
Title	Nanotechnology as a school objective to establish the subject an integral part of High school education and Bachelor of Science advanced courses for undergraduate students.
Type of Paper	Master
Department	Department of Physical Chemistry
Supervisor	RNDr. Jana Soukupová, Ph.D.
The year of defence	2011
Abstract	Colloid chemistry as a separate scientific discipline, experienced an enormous development at the turn of 19 th and 20 th century. No sooner than a hundred years later this area of chemistry was appreciated due to the development of nanochemistry and nanotechnology. The aim of this paper is to map the status of the subject of colloidal chemistry and nanosystems as a part of educational system and to propose experimental exercises and their integration into educational plan at universities and also as a system of laboratory practices as a part of advanced courses for undergraduate students.
Keywords	nanotechnology, teaching colloidal and nano- systems, experimental tasks, silver nanoparticles, modification, aggregation stability
Number of pages	82
Language	Czech

Obsah

1	Úvod	7
2	Teoretická část	9
2.1	Současný stav výuky nanochemie popř. koloidní chemie na středních školách a vysokých školách v bakalářských studijních programech v České republice	9
2.2	Teoretický základ nanochemie v kontextu chemie koloidní	13
2.2.1	Disperzní soustavy	13
2.2.2	Klasifikace disperzních soustav – koloidní soustavy	13
2.2.2.1	Lyofilní koloidní disperze	16
2.2.2.1.1	Lyofobní koloidní roztoky	19
2.2.2	Fyzikální vlastnosti koloidních soustav	19
2.2.2.1	Kinetické vlastnosti koloidních soustav	19
2.2.2.2	Optické vlastnosti koloidních soustav	21
2.2.2.3	Elektrické vlastnosti koloidních soustav	24
2.2.3	Příprava koloidních soustav	28
2.3	Nanočástice kovů a jejich oxidů	30
2.3.1	Metody přípravy	31
2.3.2	Aplikace nanočástic kovů a jejich oxidů	33
2.3.3	Nanočástice stříbra	34
2.3.3.1	Metody přípravy nanočástic stříbra	34
2.3.3.2	Stabilizace nanočástic stříbra	36
2.3.3.3	Možnosti aplikace nanočástic stříbra	36
3	Výzkumná část	40
3.1	Využití dotazníku ve výzkumné části	40
3.1.1	Realizace výzkumu na středních školách a UP v Olomouci	40
3.1.2	Vyhodnocení středoškolských dotazníků	41
2.3.4	Shrnutí výsledků dotazníku pro SŠ	47
2.3.5	Vyhodnocení vysokoškolských dotazníků	48
2.3.6	Shrnutí výsledků dotazníku pro VŠ	53
4	Experimentální část	54
4.1	Chemikálie, přístroje a zařízení	54
4.2	Příprava nanočástic stříbra	55
4.2.1	Příprava nanočástic stříbra redukcí diaminstříbrného komplexu sacharidy	56
4.2.2	Příprava nanočástic stříbra redukcí tetrahydridoboritanem sodným	59
4.3	Stabilizace nanočástic stříbra	61
4.3.1	Studium agregační stability koloidně - disperzních soustav roztokem NaCl	62
4.3.2	Studium agregační stability modifikovaných koloidně - disperzních soustav mýdlovým roztokem	63
4.3.3	Studium agregační stability nemodifikovaného systému PDDA, NaCl	65
4.3.4	Modifikace nanočástic stříbra pomocí mýdla, SDS a PEG 1500	69
5	Závěr	74
6	Summary	76
7	Seznam zkratk	78
8	Seznam literatury	79

1 Úvod

Zmínky o přípravě a praktickém využití koloidních systémů je možné nalézt již ve staré Číně či Egyptě nebo ze záznamů středověkých alchymistů.¹ Nicméně soustavný výzkum je těmto soustavám věnován až od poloviny 20. století. Za zakladatele koloidní chemie je sice považován Angličan Thomas Graham (1861),² ale k rozvoji tohoto vědního oboru mohlo v širším měřítku dojít až od počátku minulého století, kdy nové metody pro přípravu definovaných koloidů (o velikosti částic od 1nm po 1 μ m)³ umožnily kvantitativní a dobře reprodukovatelné experimenty za použití nových metod a přístrojů. Typickým příkladem těchto nových přístrojů je ultracentrifuga, transmisní/skenovací elektronový mikroskop, metody rozptylu světla, nukleární magnetická rezonance, rentgenové analýzy aj.¹ Tyto prostředky studia koloidních systémů umožnily daleko detailnější charakterizaci koloidních systémů a dějů na fázových rozhraních, které jsou významné obzvláště v souvislosti s praktickým využitím těchto systémů v oblasti potravinářského průmyslu (např. mlékárenství, pekařství, pivovarnictví), průmyslu barev a papíru či ve farmaceutickém průmyslu.¹

V posledních několika desetiletích získala koloidní chemie, nebo spíše jen její podobor – tedy tzv. nanochemie, na významu. „Moderní“ přívlastek nano- vymezuje pouze část koloidní chemie – tedy soustavy mající průměrnou velikost částic od 1 do 100 nm.³ Zavedením tohoto konvenčního označení pro systémy se specifickými fyzikálně-chemickými vlastnostmi je snaha o poukázání na jejich výraznou odlišnost nejen s ohledem na makroskopické systémy, ale i na systémy koloidní. Hlavním hnacím motorem výzkumu v této vysoce specifické oblasti je možnost vyrábět definované a vysoce organizované nanoskopické struktury, které mohou usnadnit miniaturizaci senzorů, diagnostických prvků a elektrických obvodů.³ Nicméně syntéza, charakterizace a aplikace nanočástic není zrovna jednoduchou záležitostí. Ovšem s ohledem na dynamický rozvoj v této oblasti by neměly být tyto progresivně se rozvíjející oblasti vědy pouze „uzavřeny v odborných laboratořích“, ale měly by se otevřít široké veřejnosti. Asi nejvhodnější možnou cestou je zainteresování již studentů středních škol, popř. odpovídajících bakalářských studijních programů škol vysokých. Bohužel ale na této úrovni dosud nebyly učiněny patřičné kroky, které by tuto problematiku této věkové skupině přibližovaly nebo nabízely.

Z výše nastíněné situace logicky vyplývá i zacílení této předkládané práce, kterým je primární snaha o zmapování stavu problematiky výuky koloidních a nano- systému na

středních školách a existence odpovídající nabídky bakalářských studijních programů v České republice. Následně bude věnována pozornost přiblížení problematiky koloidních soustav a nanosystémů prostřednictvím navržených experimentálních úloh, které mohou být zařazeny jakožto součást výuky na středních školách, ale také jako program laboratorních cvičení vyučovaných v rámci bakalářského studia. Pro studenty budou navrženy úlohy přípravy koloidních systémů a nanosystémů. S ohledem na jistá bezpečnostní rizika spojená s toxicitou některých připravovaných materiálů, byly zvoleny systémy vodných disperzí. Jakožto materiál vhodný ke studiu bylo zvoleno stříbro, protože právě tento materiál dokáže demonstrovat hned několik jevů spojených s přechodem z makro- přes micro- do nano-oblasti.

Pro přípravu vodných disperzí částic stříbra byla zvolena modifikovaná Tollensova metoda, která je založena na redukci komplexního kationu $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ pomocí sacharidů.⁴ Právě tato metoda byla vybrána, protože vyniká svou jednoduchou proveditelností a především reprodukovatelností. Obě tyto vlastnosti jsou do jisté míry podmiňující pro dosažení kýženého didaktického cíle. Navíc obecně známá Tollensova reakce, užívaná na středních školách k důkazu redukujících sacharidů,⁵ společně s nízkou koncentrací všech reakčních komponent činí tuto metodu pro stanovené účely více než vhodnou. Příprava koloidních částic a nanočástic ovšem nejsou jediným aspektem, který je vhodný u studentů demonstrovat. Další nedílnou částí této oblasti, která je reflektovaná ve vzniku samostatného navazujícího oboru nanotoxikologie, je stabilita těchto systémů. Z tohoto důvodu bude velký důraz kladen také na studium agregátní stability a podtržení důležitosti tohoto parametru v rámci edukačního procesu. Následně navržené experimenty budou tedy obsahovat nejen přípravu nanosystému částic stříbra, ale také modifikaci jejich povrchu pomocí povrchově aktivních látek (mýdlo, sodium dodecylsulfát) a polymeru (polyethylenglykol 1500). Následné destabilizační experimenty budou zahrnovat evaluaci efektu stabilizace za použití těchto látek a následné vyhodnocení těchto výsledků.

2 Teoretická část

2.1 Současný stav výuky nanochemie popř. koloidní chemie na středních školách a vysokých školách v bakalářských studijních programech v České republice

Problematika nanotechnologií či výlučně chemie je v současné době v rámci výuky přírodovědných předmětů na středních a vysokých školách (v rámci bakalářských studijních programů) odsunuta do pozadí. Jen málokterá středoškolská učebnice se může pyšnit informacemi z tohoto oboru a jen málokterý bakalářský studijní program, nabízený vysokými školami v České republice, obsahuje specializaci v tomto oboru nebo jsou jeho součástí alespoň přednášky s touto tematikou. Přitom přísun informací z tohoto dynamicky se rozvíjejícího oboru je klíčovou otázkou pro mladé lidi. Teprve na základě získaných informací jsou totiž schopni si vytvořit objektivní názor, který není nikterak ovlivněn populismem či negativistickými názory odpůrců těchto nových technologií.

Vytvoření si vlastního objektivního názoru na základě vědomostí a vlastních zkušeností s nanotechnologiemi by studentům středních škol měla poskytnout výuka přírodovědných předmětů. Vzhledem k zaměření této bakalářské práce byl nejdříve proveden „screening“ dostupnosti „nano“ problematiky pro studenty středních škol v rámci vybraných středoškolských učebnic. Ze 13 prostudovaných středoškolských učebnic se pojem „nano“ objevuje pouze v jediné publikaci (tab. 1), a to v učebnici *Chemie 1a* pro střední školy, jejímž autorem je Werner Eisner et al. (překlad z německého originálu *Elemente Chemie*, vydanou nakladatelstvím Scientia v Praze roku 1996).⁶ V úvodu kapitoly *Stavba látek* je fotografie zobrazující 2 nanometry pro srovnání s jinými měřítky. Bližších informací se ovšem student nedočká. Autoři této publikace se zmiňují i o Brownovu pohybu jako pohybu nejmenších částic. V učebnici *Chemie 2b*⁷ pro střední školy od stejného kolektivu autorů se setkáváme s pojmy koloidní roztok a Tyndallův efekt. V kapitole nazvané *Prací prostředky a praní* je uveden jediný úkol pro studenty středních škol, při kterém mají možnost pochopit optické vlastnosti koloidních soustav pomocí Tyndallova efektu. Výjimečně se v několika málo publikacích objevuje charakteristika koloidních soustav viz Přehled středoškolské chemie.⁸

Tab. 1: Seznam středoškolských učebnic

Název učebnice	Autor	Rok	„Nano“ v textu
Základy chemie ⁹	Beneš P. et al.	1993	Ne
Obecná a anorganická chemie ¹⁰	Šrámek V. et al.	1996	Ne
Chemie 1a ⁶	Eisner W. et al.	1996	Ano
Chemie 1b ¹¹	Eisner W. et al.	1997	Ne
Chemie 2a ¹²	Amann W. et al.	1998	Ne
Chemie 2b ⁷	Amann W. et al.	2000	Ne
Chemie I ¹³	Flemer V. et al.	2001	Ne
Chemie II ¹⁴	Kolář K. et al.	2005	Ne
Chemie v kostce 1. díl ¹⁵	Růžičková K. et al.	1996	Ne
Chemie II. v kostce ¹⁶	Růžičková K. et al.	2006	Ne
Chemie pro střední školy ¹⁷	Banýr J. et al.	1995	Ne
Přehled středoškolské chemie ⁸	Vacík J. et al.	1995	Ne
Chemie pro čtyřletá gymnázia 1., 2., 3. díl ^{18,19,20}	Mareček H. et al.	2002	Ne

Po prostudování výše zmíněných středoškolských učebnic chemie, které jsou patrně nejfrekventovaněji používány studenty na středních školách, bylo zjištěno, že používá-li student tyto zdroje informací k získání znalostí z oblasti chemie, nemá prakticky možnost se s nanotechnologiemi seznámit. Výjimku může vytvářet sám vyučující. Pokud se najde pedagog, který rozšíří rozsah výuky za rámec dostupné podpůrné literatury, má dokonce i středoškolák příležitost získat informace z tohoto velmi zajímavého oboru. Jelikož se ale jedná poměrně o novou vědní disciplínu, je nutné v tomto ohledu vzdělávat i samotné pedagogy. Právě kontinuálnost jejich navazujícího vzdělávání, nejen v této oblasti, by mělo být bezesporu vzato v potaz.

Další možností, jak seznámit studenty se světem v „nano“ měřítku, jsou samozřejmě rozličné semináře a „workshopy“, které jsou v současné době v široké míře organizovány pro studenty se zájmem o přírodní vědy. Nicméně podmínkou získání informací je projevení prvotního zájmu o tento obor. A tudíž se opětovně dostáváme k problému, že informace týkající se nanotechnologií či nanochemie mohou být tímto způsobem dostupné pouze omezenému počtu zainteresovaných studentů. Nejedná se tedy o celoplošné pokrytí všech

studentů středních škol.

Mnoho univerzit v rozličných zemích plánuje otevření či dokonce již nabízí studijní programy dotýkající se „nanověd“ a nanotechnologií. Nicméně i oni velmi často stojí před otázkou, jak daný studijní program koncipovat. Co vlastně požaduje průmysl a společnost či jaké budou jejich potřeby v příštích letech? Nanotechnologie se ale rozvíjí především sbližováním pokročilých oborů přírodních věd a inženýrských technologií nebo lékařských věd. Potřebná úroveň a součinnost určitého řešení bude vyžadovat schopnost vzájemné komunikace mezi různými vědeckými a technologickými obory, schopnosti se vzájemně inspirovat a spolupracovat.

V roce 2005 byl Českou společností pro nové materiály a technologie vypracován výzkum na téma Nanotechnologie v České republice.²¹ Byl proveden přehled činností ve vysokoškolském vzdělávání v oboru nanotechnologií. Z anketní akce vyplynula naléhavá potřeba intenzivnějšího zaměření na vzdělávání v oblasti nanotechnologií na širokém vědeckém základě, sdružujícím zejména chemii, biologii, fyziku a inženýrské obory. Mimo to se projevilo závažné zaostávání v přístrojové infrastruktuře potřebné pro výuku, výzkum a vývoj nanotechnologií.²¹ Před 5 lety existoval pouze na jediné vysoké škole u nás předmět Nanotechnologie vyučovaný na ČVUT v Praze.²¹ Ostatní vysoké školy se v rámci bakalářských či magisterských programů věnovaly tématu nanotechnologií pouze okrajově prostřednictvím určitých předmětů nebo vůbec (tab. 2). V roce 2007 byly jako první v ČR na VŠB – Technické univerzitě v Ostravě otevřeny bakalářské a magisterské studijní programy *Nanotechnologie*²² nabízející studium jak v českém, tak anglickém jazyce. Bakalářský program poskytuje základy v matematice, fyzice, chemii a přehled v celé oblasti nanověd a nanotechnologií. Magisterský modul pak nabízí hlubší pohled do elektronické struktury materiálů, optických a magnetických vlastností a nových experimentálních metod v chemické nebo fyzikální specializaci. Během pár let došlo k začleňování nanotechnologií do vzdělávání na úrovni bakalářských a magisterských programů.²² V roce 2010 má snad každá vysoká škola v České republice předměty zabývající se nanotechnologiemi a na řadě škol jsou nebo vznikají nové studijní obory (tab. 2) se zaměřením na nanovědy. Výzkumnou činnost v oblasti nanovědy a nanotechnologií provádí v různém rozsahu a s různou kapacitou řada pracovišť akademické sféry (ústavy AV ČR a pracoviště vysokých škol) a soukromého sektoru.²²

Tab. 2: Stávající studijní nanotechnologické obory v rámci bakalářského a magisterského studia v oblasti chemie a fyziky; předměty zabývající se nanotechnologiemi v roce 2005.

Vysoká škola	Bc. Studijní program	Mgr. Studijní program	Předměty o nanotechnologiích v roce 2005
ČVUT Praha	-	Fyzika nanostruktur	Nanotechnologie
UK Praha	-	Modelování chemických vlastností nano a biostruktur	-
VŠCHT Praha	Nano a mikrotechnologie v chemickém inženýrství	-	-
VUT Brno	Fyzikální inženýrství a nanotechnologie	-	-
MU Brno		-	-
UP Olomouc	-	Nanotechnologie	Aplikovaná fyzika
TU Liberec	Nanotechnologie v oboru nanomateriály	-	-
VŠB-TU Ostrava	-	-	Mechanika sypaných hmot (návrh 35ti předmětů)
OU Ostrava	-	-	-
ZU Plzeň	-	-	-
JU České Budějovice	-	-	-
Univerzita Pardubice	-	-	-

Stávající předměty eventuelně celé studijní obory s „nano“ tematikou jsou orientovány na zaměření jednotlivých pracovišť a většinou tak ztrácejí svůj potenciál. Méně bývají zastoupeny biologické předměty, anatomie, fyziologie atd. a předměty věnované odpovědnému výzkumu nanotechnologií s ohledem na životní prostředí, zdraví, bezpečnost, či etiku. Spíše než vytváření nových samostatných nanotechnologických oborů se jeví jako smysluplnější zařazení předmětů se základy nanotechnologií v rámci bakalářských programů. Pro přiblížení k ucelené koncepci odpovědného vzdělávání v nanotechnologiích by v některých případech bylo možno vyjít ze souboru již zavedených předmětů a chybějící základní předměty doplnit. Aby se však naplnily nanotechnologické vize o existenci a funkčnosti inovativních a multifunkčních produktů a mechanismů, je třeba vybudovat nový systém vzdělávání poskytující teoretickou přípravu v plném rozsahu a v plném rozsahu zajistit

vlastní výuku nanotechnologií.²² Pro návazné aktivity v doktorském studiu, výzkumu nebo v průmyslu jsou sice podmínky většinou vytvořeny, ale více než podstatné se jeví využití spolupráce mezi univerzitami s velkým lidským potenciálem a pracovišti vědeckými s kvalitní vědecko-výzkumnou i aplikační infrastrukturou.

2.2 Teoretický základ nanochemie v kontextu chemie koloidní

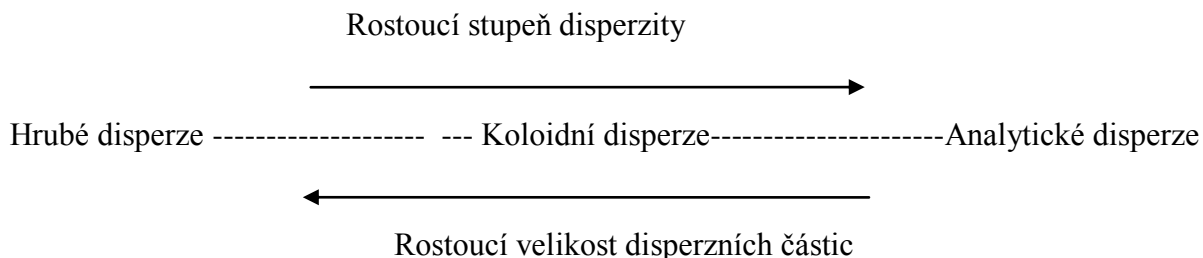
2.2.1 Disperzní soustavy

Současná koloidní chemie je rozsáhlá oblast chemické vědy, která studuje vlastnosti látek v disperzním stavu a povrchové jevy v disperzních soustavách. Jako disperzní soustavu (zkráceně disperzi) označujeme dvou nebo vícefázovou tj. heterogenní soustavu, ve které je alespoň jedna z fází tvořena velice malými částicemi, jejichž rozměry nicméně převyšují molekulární rozměry.²³ Takové částice jsou částicemi fázovými (disperzní fáze) s fyzikálně-chemickými charakteristikami, které jsou vlastní dané fázi, a se zcela zřetelným rozhraním vzhledem k prostředí (disperzní prostředí), které tyto částice obklopuje.^{3,23} Až na výjimky představují disperzní fáze a disperzní prostředí dvě chemicky odlišné složky nebo směsi složek. Povahu disperzní soustavy ovlivňuje řada faktorů. Především jde o velikost disperzních částic a počet fází v systému, tvar částic, interakce mezi částicemi a disperzním prostředím a vzájemné interakce mezi částicemi, dále pak povrchové a elektrické vlastnosti částic a v neposlední řadě také skupenství disperzního prostředí a disperzní fáze.¹

2.2.2 Klasifikace disperzních soustav – koloidní soustavy

Podle počtu fází lze rozlišit disperzní soustavy na heterogenní a homogenní. Typickou vlastností heterogenních soustav je fázové rozhraní.¹ Částice heterogenní soustavy lze pozorovat v závislosti na jejich velikosti optickým nebo elektronovým mikroskopem.²⁴ Jsou-li částice disperzní fáze v disperzním prostředí rozptýleny v tak drobných částicích (atomy, molekuly, ionty), že nelze uvažovat rozhraní mezi těmito částicemi a disperzním prostředím, jedná se o jednofázovou tj. homogenní soustavu. Jednofázové soustavy jsou opticky stejnorodé, rozptýlenou složku v nich nelze opticky rozlišit.²⁴ Soustavy, v nichž mají částice disperzní fáze stejnou velikost, se nazývají soustavy monodisperzní.³ Tento typ soustav se vyskytuje poměrně vzácně. Disperzní soustavy obsahují většinou částice s různou velikostí, a tudíž jsou nazývány soustavami polydisperzními. Velikost částic disperzní soustavy vyjadřuje tzv. stupeň disperzity.²⁴ Čím je disperzní fáze rozptýlena jemněji, tím má vyšší stupeň

disperzity (obr. 1). Podle stupně disperzity lze disperzní soustavy dělit na disperze analytické (pravé roztoky nízkomolekulárních látek), koloidní (micelární koloidní roztoky, lyosoly) a hrubé (prach, dým).³ Mezi jednotlivými typy soustav neexistuje ostré rozhraní, ale plynulý přechod.



Obr. 1: Klasifikace soustav podle stupně disperzity a velikosti částic disperzní fáze.²⁵

Analytické disperze, obsahující částice disperzní fáze s nejmenší průměrnou velikostí (do 1 nm ($d < 10^{-9}$ m)) jsou také nazývány pravé roztoky. Tyto soustavy jsou nefiltrovatelné, protože disperzními částicemi jsou v tomto případě molekuly nebo ionty.¹ Pravé roztoky vznikají samovolným rozpouštěním a jsou termodynamicky stálé homogenní soustavy. Částice disperzní fáze jsou díky své velikosti velmi pohyblivé, a tím je zaručena vysoká míra difúze a osmózy.²⁴ Při použití centrifugy nedochází k jejich sedimentaci. Částice analytických disperzí nejsou viditelné v elektronovém mikroskopu.¹

Největší velikost částic disperzní fáze z disperzních soustav vykazují hrubé disperze ($d > 10^{-6}$ m). Částice disperzní fáze těchto soustav jsou viditelné pouhým okem (nad 50 μm)¹ a dají se filtrovat přes filtrační papír. Nevznikají samovolně, nýbrž mechanickým rozmělněním. Jsou nestálé a zanikají samovolně vlivem koagulace. Jejich pohyb je značně omezen velikostí, a proto u nich prakticky nedochází k osmóze a difúzi.¹

Místo mezi hrubými a analytickými disperzemi zaujímají koloidní disperze, které obsahují částice disperzní fáze o průměrné velikosti v rozmezí 10^{-9} m až 10^{-6} m. Právě díky velikosti částic disperzní fáze v tomto velikostním rozsahu vykazují tyto soustavy unikátní fyzikálně-chemické vlastnosti.²⁴ Koloidní soustavy jsou heterogenní soustavy, které nejsou filtrovatelné klasickými papírovými filtry, ale částice disperzní fáze mohou být zadržovány polymerními membránami.³ Díky optickým vlastnostem jsou částice disperzní fáze pozorovatelné elektronovým mikroskopem nebo ultramikroskopem, často jsou právě kvůli velikosti částic výrazně barevné a v bočním osvětlení opaleskují (Tyndallův efekt, rozptyl světla).^{1,23} Vlivem tepelného pohybu (Brownův pohyb) prakticky nesedimentují, ale

z hlediska termodynamické stability nepatří k absolutně stabilním soustavám.

Koloidní soustavy (koloidy) mají ve svém chování řadu specifík. Chování koloidních soustav souvisí s jejich velkou specifickou plochou fázového rozhraní mezi disperzní fází a disperzním prostředím v porovnání s vlastním objemem rozptýlené disperzní fáze. Tato plocha fázového rozhraní roste s klesající velikostí částic.²⁴ Charakteristické jsou mimo jiné optické vlastnosti koloidních částic o velikosti jednotek nanometrů v porovnání s makroskopickými částicemi, což se projevuje zejména při interakci těchto soustav s elektromagnetickým zářením (absorpce a rozptyl).²⁴ Koloidní soustavy lze dělit dle rozličných kritérií např. podle skupenství, počtu molekul disperzní fáze, způsobu vzniku, stability částic a podle charakteru mezimolekulových interakcí na fázovém rozhraní. Nejčastěji užívaným dělením koloidních soustav je třídění podle skupenského stavu disperzní fáze a disperzního prostředí. Podle tohoto kritéria lze rozlišit 8 typů soustav (tab. 3).²⁴ Patrně nejzajímavější skupinou ze zmíněného členění jsou soustavy, které jsou tvořeny kapalným disperzním prostředím a pevnou disperzní fází. Tyto soustavy bývají také v literatuře hojně označovány jako soly. Koloidní soustavy tvořené kapalným disperzním prostředím a pevnou disperzní fází (lyosoly) lze dále klasifikovat dle způsobu vzniku a stálosti na lyofobní a lyofilní koloidní soustavy.

Tab. 3: Klasifikace koloidních soustav podle skupenského stavu disperzní fáze a disperzního prostředí.²⁴

disperzní prostředí	disperzní fáze	typ koloidní disperze
plynné	Plynná	netvoří koloid (plyny jsou mísitelné)
	Kapalná	aerosoly
	Pevná	aerosoly
kapalné	Plynná	pěny
	Kapalná	emulze
	Pevná	lyosoly
pevné	Plynná	tuhé pěny
	Kapalná	tuhé emulze
	Pevná	tuhé soly

2.2.2.1 Lyofilní koloidní disperze

Lyofilní koloidní disperze jsou soustavy, jejichž částice se vyznačují velkou afinitou k rozpouštědлу. Jedná se o soustavy, které vznikají samovolným rozpouštěním dispergované fáze v rozpouštědle a vzhledem k tomu, že jsou za daných termodynamických podmínek (tlak, teplota, koncentrace) stálé, není nutné je dále stabilizovat jakýmkoliv dalšími látkami.^{3,26} Rozpad lyofilní koloidní soustavy (tzv. koagulace) změnou termodynamických podmínek je obvykle reverzibilní děj. Lyofilní koloidy jsou nejčastěji tvořeny vysokomolekulárními látkami (bílkoviny, polymery).¹ Je-li disperzní prostředí tvořeno vodou, bývá lyofilní soustava označována jako hydrofilní. Mezi typické představitele lyofilních soustav patří asociativní (popř. micelární) koloidy.²⁴

Asociativní koloidy. Asociativní (micelární) koloidní soustavy jsou soustavy povrchově aktivních látek (PAL) neboli látek označovaných také buď jako tenzidy či surfaktanty. Povrchově aktivní látky se samovolně koncentrují na fázovém rozhraní a snižují přitom povrchové napětí mezi fázemi. Jedná se o nízkomolekulární látky mající amfifilní charakter molekuly. Taková molekula obsahuje jak hydrofilní polární skupinu např. $-\text{OSO}_3\text{H}$, $-\text{COOH}$,^{3,24} tak hydrofobní nepolární část (uhlíkatý řetězec) (obr. 2). Asociativní koloidy vznikají sdružováním (nebo-li asociací) molekul povrchově aktivních látek za vzniku koloidně disperzních částic, tzv. micel. Micela ovšem není nikterak statický útvar. Mezi micelou a disperzím prostředím dochází k neustálé výměně molekul PAL. Tyto útvary tedy logicky nemají pevně definované fázové rozhraní.²⁴ Vlastnosti asociativních soustav závisí na okamžitých fyzikálních podmínkách, tzn. na teplotě, tlaku, koncentraci rozpouštědla, PAL, i koncentraci jiných látek v systému látek. Koloidní soustavy povrchově aktivních látek jsou termodynamicky stabilní stejně jako soustavy lyofilní a mimo jiné se používají ke stabilizaci lyofobních koloidů.³ Mezi asociativní koloidy patří např. barviva, léčiva, mýdla a jiné.²⁶ Asociace (sdružování) primárních molekul, jejich počet v micelle, tvar, struktura a průměrný rozměr micely se mění taktéž s okamžitými fyzikálními podmínkami. Při vzniku micel se výrazně mění některé fyzikálně-chemické vlastnosti roztoku PAL. Změny jsou dány přechodem původně analytické disperze na koloidní disperze. Koncentrace PAL v systému, při níž dochází k agregaci molekul rozpuštěné látky do útvarů koloidní velikosti nebo-li micel se nazývá kritická micelární koncentrace (CMC – Critical Micelle Concentration). Kritická micelární koncentrace kolísá pro různé PAL v rozmezí 10^{-5} až 10^{-3} $\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. Aby vznikla micela, musí být rozpustnost PAL vyšší než CMC.²⁴ Některé PAL jsou za laboratorní teploty málo rozpustné a koncentrace PAL v roztoku nedosahuje hodnoty CMC. Je tedy nutné zvýšením teploty zvýšit rozpustnost potřebnou k dosažení tvorby micel. Teplota, při které

rozpustnost PAL dosáhne CMC, je označována jako Krafftova teplota.²⁴



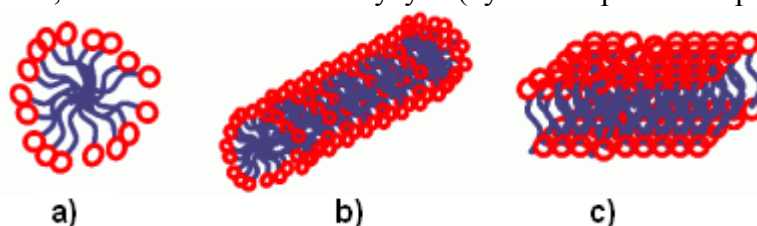
Obr. 2: Kulovitý tvar micely a molekula povrchově aktivní látky.²⁷

Povrchově aktivní látky. Povrchově aktivní látky lze dělit podle jejich chemické podstaty, druhu elektrolytické disociace či podle povahy povrchově aktivního iontu (tab. 4). Rozdělení povrchově aktivních látek na ionické a neionické zohledňuje další kritérium, kterým je elektrolytická disociace. Ionické látky se dále dělí na PAL anionické, kationické a amfionické.²⁴ Anionické PAL disociují v roztoku na objemný organický anion, jenž je nositelem povrchové aktivity. Kationtem je obvykle alkalický kov. Mezi nejvýznamnější anionické PAL patří alkylsulfáty a fosfáty, soli karboxylových kyselin nebo estery kyseliny fosforečné.²⁴ Kationické PAL jsou látky, které obsahují jednu nebo více funkčních skupin, jenž disociují ve vodném roztoku, a tím vznikají kladně nabitě organické ionty, které jsou také jako u anionických PAL nositelem povrchové aktivity. Organické kationické PAL vykazují baktericidní účinky.²⁴ Tyto PAL se vyznačují vysokou cenou, a proto se používají na specifické účely jako např. inhibitory koroze, v dezinfekčních prostředcích, aviváže.² Mezi tyto látky patří zejména soli kvartérních amoniových zásad, soli pyridinových zásad a alkylaminy.²⁴ Poslední skupinou PAL jsou látky amfionické. Tyto PAL obsahují ve své molekule dvě nebo více zásaditých nebo kyselých funkčních skupin, které jsou schopné disociovat ve vodném roztoku. V závislosti na pH prostředí jsou schopné poskytovat PAL s anionickým nebo kationickým charakterem. Mezi amfionické PAL patří např. aminokyseliny,²⁴ jak přírodní, tak i uměle syntetizované. Neionické PAL jsou v dnešní době nejpoužívanější a nejrozšířenější skupinou. Dnes nejrozšířenější skupina PAL je představována širokou škálou sloučenin, z nichž historicky nejstarší představují adiční produkty ethylenoxidu na různé organické molekuly (alifatické alkoholy, alkylfenoly, estery mastných kyselin či polymery) a přírodní molekuly jako glyceridy, sacharidy a glykosidy.²

Tab. 4: Členění povrchově aktivních látek.²⁴

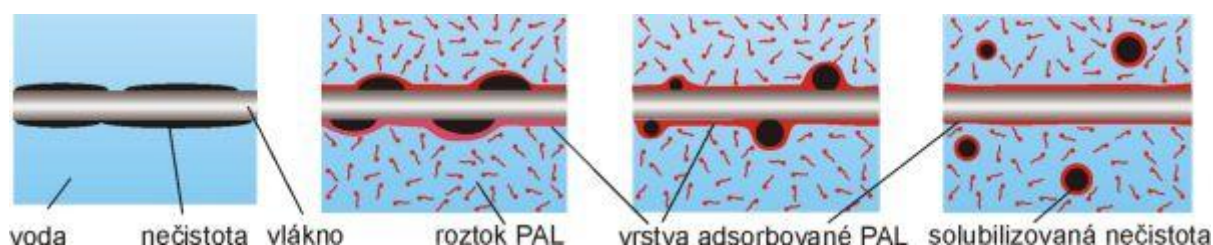
KRITÉRIUM ČLENĚNÍ	NÁZEV
Dle chemické povahy	anorganické
	organické
	organosilikátové
Dle elektrolytické disociace	ionické
	neionické
Dle povahy povrchově aktivního iontu	anionické
	kationické
	amfionické

Jak již bylo řečeno, asociativní koloidy vznikají sdružováním molekul povrchově aktivních látek (PAL) za vzniku koloidně disperzních částic, tzv. micel. Při vzniku micely se molekuly PAL orientují svými hydrofilními částmi molekuly k molekulám vody, hydrofobní části se uzavírají uvnitř micely. Základní tvar micel při jejich vzniku je kulovitý, zvyšováním koncentrace molekul PAL v roztoku dochází ke sdružování molekul, čímž se může měnit na vláknitý a lamelární tvar (obr. 3). Micely mají v praxi nevídaný význam. Právě díky micelám existují procesy praní, čištění a micelární katalýzy²⁴ (výroba a zpracování plastů).



Obr. 3: Tvary micel: a) kulovitý, b) vláknitý, c) laminární tvar.²⁸

Významnou vlastností micelárních roztoků PAL využívanou v procesech praní a čištění je tzv. solubilizace neboli schopnost PAL rozpouštět látky, které jsou v čistém rozpouštědle nerozpustné. Na principu solubilizace je založeno čištění znečištěných povrchů, tzv. detergence. Při detergenci se molekuly PAL nejprve naadsorbují na povrch znečištěné látky, tím dojde ke snížení povrchového napětí mezi nečistotou a roztokem neboli ke zvýšení smáčivosti nečistoty v rozpouštědle.²⁴ Nečistoty se postupně sbalují a uvolňují z povrchu, uzavřené v micelle mezi molekulami PAL přechází do roztoku. Původně hydrofobní nečistoty vlivem solubilizace získávají hydrofilní charakter a nemohou se zpět připoutat k čistému povrchu. Průběh detergence je patrný z obr. 4.



Obr. 4: Průběh detergence.²⁹

2.2.1.1 Lyofobní koloidní roztoky

Lyofobní koloidní soustavy se na rozdíl od lyofilních koloidních soustav vyznačují velmi malou rozpustností. Nevznikají samovolně, lze je připravit metodou mechanického rozmělnění nebo cestou chemické reakce. Tvoří typické heterogenní soustavy s ostře vymezeným fázovým rozhraním.³⁰ Lyofobní koloidy jsou až na výjimky termodynamicky nestálé, snadno koagulují a následně sedimentují. Většinou je nutná dodatečná stabilizace.²⁶ Pro dlouhodobou stabilitu těchto koloidů je třeba stabilizovat (ochránit před koagulací) buď elektrickým nábojem (vzájemné odpuzování částic), nebo ochrannou vrstvou lyofilního koloidu (stabilizátoru či ochranného koloidu).^{24,26} Lyofobní koloidy jsou označovány jako ireverzibilní (nevratné) koloidy,³⁰ jelikož je po destabilizaci není možné vrátit zpět do koloidní podoby. Převážně jsou tvořeny anorganickými látkami (např. $\text{Fe}(\text{OH})_3$, As_2S_3 , S, Au, Ag ve vodě). Dispergované částice v lyofobní soustavě se vyznačují velkým specifickým povrchem,^{24,26} tj. poměr povrchu částice k její hmotnosti. Díky tomu jsou používány jako kontaktní katalyzátory. Je-li disperzní prostředí tvořeno vodou, je lyofobní soustava označována jako hydrofobní.

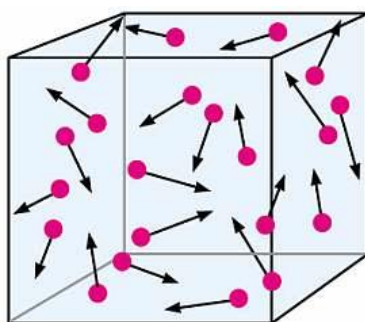
2.2.2 Fyzikální vlastnosti koloidních soustav

Vlastnosti koloidních roztoků lze rozdělit na kinetické, optické a elektrické. Kinetické vlastnosti zahrnují Brownův pohyb, difúzi, osmotický tlak a sedimentaci. Absorpce a rozptyl světla jsou vlastnosti optické. Elektrická dvojvrstva a pohyb částic v elektrickém poli patří k vlastnostem elektrickým.^{24,26}

2.2.2.1 Kinetické vlastnosti koloidních soustav

Koloidní částice vykonávají neustálé nepravidelné pohyby. Tento jev poprvé pozoroval R. Brown (1828) na zrnkách pylu ve vodě.³⁰ Pohyby částic vznikají tím způsobem, že do koloidních částic narážejí vlivem tepelného pohybu molekuly disperzního prostředí a tyto

nárazy mají za následek pohyb částic, tzv. Brownův pohyb (obr. 5). Intenzita pohybu roste s teplotou a se zmenšujícími se rozměry částic. S rostoucí velikostí částice se zvyšuje pravděpodobnost kompenzace nárazů z různých směrů. Proto větší částice (kolem $4\ \mu\text{m}$)^{24,1} již pohyb nevykazují. Brownův pohyb se projevuje zejména v difúzi a sedimentaci, má vliv na stabilitu koloidních soustav.²⁴



Obr. 5: Neustálý pohyb částic koloidního roztoku vlivem Brownova pohybu.³¹

Proces označovaný jako difúze je projevem Brownova pohybu. V důsledku pohybu částic dochází v různých částech soustav s rozdílnou koncentrací (koncentračním gradientem) k samovolnému vyrovnávání koncentrací. Směr difúze je vždy ve směru koncentračního gradientu, tedy z prostředí o vyšší koncentraci do prostředí s nižší koncentrací.^{24,26,30} Jde o snahu vyrovnat koncentraci v celém systému a dosáhnout rovnováhy.

Jiný způsob vyrovnávání koncentrací se uplatňuje při osmóze. A to je-li disperzní soustava oddělena od fáze čistého disperzního prostředí polopropustnou (semipermeabilní) membránou, která propouští molekuly disperzního prostředí a zadržuje disperzní částice.³ V nejjednodušším případě při osmóze dochází k vyrovnávání koncentrací mezi roztokem a čistým rozpouštědlem, jež vede k toku rozpouštědla směrem do roztoku. Hnací silou pohybu molekul rozpouštědla je osmotický tlak (π) měřený v Pa. Tento tlak je možné změřit stanovením protitlaku, jímž dojde k zabránění pronikání molekul rozpouštědla do roztoku a tím zředování roztoku. Osmotických měření lze využít ke stanovení velikosti dispergovaných částic či k určení molární hmotnosti makromolekulárních látek.²⁴ Praktické využití osmózy spočívá v separaci koloidů od nízkomolekulárních látek. Separční metody založené na principu osmózy se nazývají dialýza, ultrafiltrace, elektrodialýza, elektrofiltrace.²⁴

Koloidní částice vlivem působení gravitační síly F_g sedimentují – pohybují se ve směru gravitace. Pohyb částic v gravitačním poli závisí na jejich hmotnosti, tvaru a hustotě a

také na prostředí, ve kterém se částice pohybuje. Proti gravitační síle F_g každé pohybující se kulové částice v kapalině působí vztlaková síla F_{vztl} a viskozitní odpor F_{vis} , což lze vyjádřit Stokesovým vztahem:²⁴

$$F_g = F_{vztl} + F_{vis}$$

Po čase dojde k rovnovážnému uspořádání částic, největší částice jsou koncentrovány nejbližší dna a nejmenší částice zůstávají vlivem Brownova pohybu rovnoměrně rozptýleny v celém objemu koloidní soustavy v nádobě. Urychlení tzv. sedimentační rovnováhy umožňují odstředivky nebo centrifugy, kde je slabá gravitační síla nahrazena silou odstředivou, pod jejímž vlivem sedimentují i nejmenší částice.²⁴

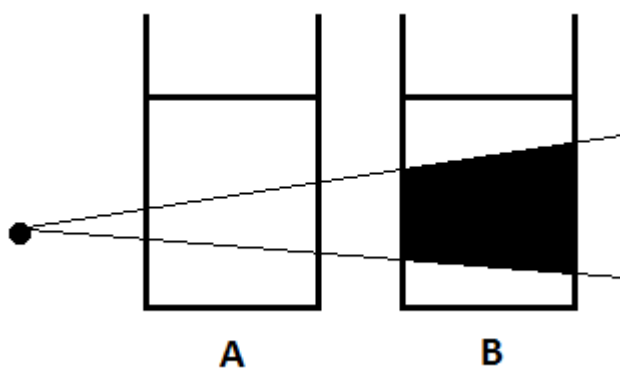
2.2.2.2 Optické vlastnosti koloidních soustav

Interakce světla s koloidními soustavami je jedním z nejtýpějších charakteristických chování koloidů v praxi. Po prostupu světla (elektromagnetického záření) hmotným prostředím - koloidní soustavou - je intenzita paprsků zmenšena. Zmenšení intenzity paprsků může mít následující příčiny. Může docházet k absorpci či k rozptylu dopadajícího záření.^{24,25} Při absorpci zvyšuje pohlcené záření vnitřní energii molekul prostředí a přeměňuje ji v teplo. Při rozptylu dochází k rozptylu světla na částicích soustavy. Podle charakteru koloidní soustavy jako je chemické složení disperzní fáze a velikost částic, jeden z uvedených jevů převládá. Velikost obou těchto efektů závisí na povaze hmotného prostředí a na vlnové délce dopadajících paprsků.²⁵ Absorpci světla látkou popisuje Lambert - Beerův zákon:²⁴

$$A = -\log I/I_0 = \epsilon cd,$$

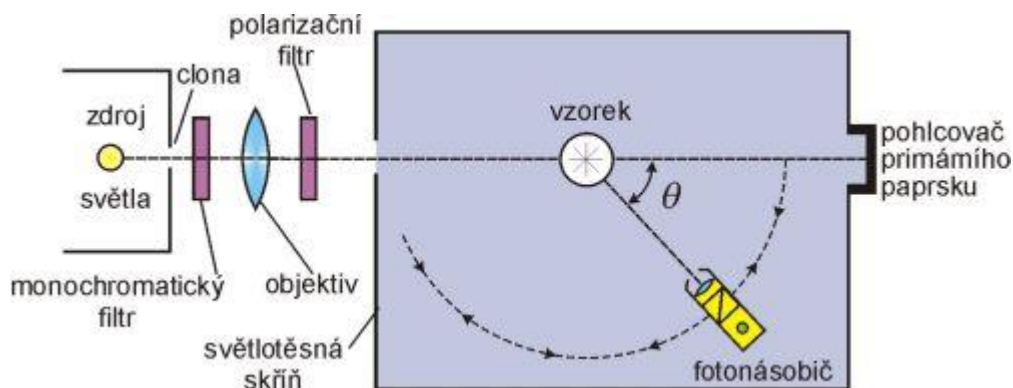
kde I je intenzita prošlého záření látkou, I_0 je intenzita dopadajícího záření na látku, ϵ absorpční koeficient, c koncentrace látky, d tloušťka vrstvy, kterou prochází paprsek. Při absorpci záření hmotou dojde k pohlcení energetického kvanta elektromagnetického záření, jež má za následek změnu energetických stavů valenčních a vazebných elektronů. Absorpcí záření dochází ke zvýšení vnitřní energie molekul systému, která se přemění v tepelnou energii.²⁴ U rozptylu světla nedochází k pohlcení světelné energie a následnému přeskupení energetických hladin valenčních a vazebných elektronů, tak jak tomu bylo u absorpce, nýbrž dochází k vyzáření veškeré přijaté energie náhodně všemi směry, a to beze změny vlnové délky.²⁴ Rozptyl záření v sobě zahrnuje odraz, lom, ohyb a interferenci světelného záření.

Rozptyl světla byl poprvé pozorován J. Tyndallem (1860), po němž se efekt rozšiřujícího se paprsku (kužele) procházejícího disperzním prostředím jmenuje, tzv. Tyndallův jev.^{5,23,24} Při průchodu světelných paprsků čirým pravým roztokem kolmo na jejich směr není jejich dráha viditelná. Jsou si však v uvažovaném prostředí rozptýleny částice koloidních nebo větších rozměrů, uplatňuje se rozptyl světla do té míry, že se dráha paprsku pozorována bočně stává viditelnou (obr. 6). Jsou-li disperzní částice dostatečně velké, mohou být ve světelném kuželu pozorovány jako jasně zářící body. U menších částic je pozorován jen difuzní světelný pruh. V homogenním prostředí tento jev nenastává. V laboratorní praxi se na základě Tyndallova jevu určuje koncentrace koloidních částic v disperzi prostřednictvím dvou metod: turbidimetrie (měření zákalu, tj. měření intenzity zeslabení světelného toku při průchodu disperzní soustavou) a nefelometrie (měření intenzity rozptýleného světelného toku, a to většinou ve směru kolmém ke směru šíření původních paprsků).^{1,24,25} Na bočním pozorování světelného kužele je založen ultramikroskop.



Obr. 6: Tyndallův jev; A) pravý roztok, B) koloidní roztok.

Mechanismus rozptylu záření spočívá v indukci elektrického dipólu v částici vlivem elektromagnetického pole dopadajícího záření, čímž tento indukovaný dipól vyzařuje záření o stejné vlnové délce, jako mělo dopadající záření. Dochází také k částečné polarizaci odraženého světelného paprsku. Rozptyl světla roste s klesající vlnovou délkou a s rostoucí velikostí koloidní částice.¹ Experimentální metody studia rozptylu světla jsou v zásadě jednoduché. Základní uspořádání je znázorněno na obrázku (obr. 7), ve kterém je intenzita rozptýleného světla měřena fotonásobičem pod úhlem θ , a při konstantní vzdálenosti r od objektu.²⁹



Obr. 7: Základní schéma experimentálního uspořádání pro měření rozptylu světla.²⁹

Často užívanou metodou pro potřeby analýzy koloidních soustav je metoda založená na principu dynamického rozptylu světla (DLS – Dynamic light scattering). Principem metody dynamického rozptylu světla je měření fluktuace (kolísání) intenzity světla (zdrojem je laser) rozptýleného částicemi ve vzorku v průběhu času okolo její průměrné hodnoty.²⁴ Fluktuace souvisí s interferenčním zesilováním a zeslabováním světla rozptýleného na koloidních částicích. Pokud by se částice v roztoku nepohybovaly, byl by rozptyl světla konstantní. V důsledku difúze částic (vlivem Brownova pohybu) dochází k interferenci rozptýleného světla a ke změnám intenzity rozptýleného záření. Z časového průběhu kolísání intenzity rozptýleného záření lze měřit rychlost pohybu částice prostředím a z ní lze určit rozměr částice rozptylující záření.^{1,24} Na principu dynamického rozptylu světla pracuje řada přístrojů pro stanovení velikosti distribuce koloidních částic.

Koloidní částice, jejichž rozměr je pod rozlišovací schopností optických mikroskopů, nelze přímo pozorovat optickými metodami. Při použití viditelného světla, o vlnové délce 400 – 700 nm, lze teoreticky rozlišit částice o velikosti 200 nm. V ultrafialovém světle, o vlnové délce 200 – 400 nm, lze detekovat částice o velikosti do 100 nm.²⁴ V praxi však optické mikroskopy umožňují pozorovat částice přibližně 1 μm .¹ Na principu rozptylu záření pracuje i speciální mikroskop, ultramikroskop, kterým nejsou přímo pozorovány částice, ale světlo rozptýlené koloidními částicemi (Tyndallův kužel). Do objektivu nepřichází primární paprsek, nýbrž světlo rozptýlené disperzními částicemi. Jednotlivé částice se jeví jako zářící body na temném pozadí.²⁴

Vhodnou metodou ke studiu velikosti a tvaru koloidně disperzních částic je transmisní elektronová mikroskopie (TEM – Transmission Electron Microscopy), jež místo světelných paprsků využívá svazek rychle letících elektronů, který je možno považovat za záření velmi krátké vlnové délky - 10^{-3} nm. Zdrojem proudu elektronů je kovová katoda, která po

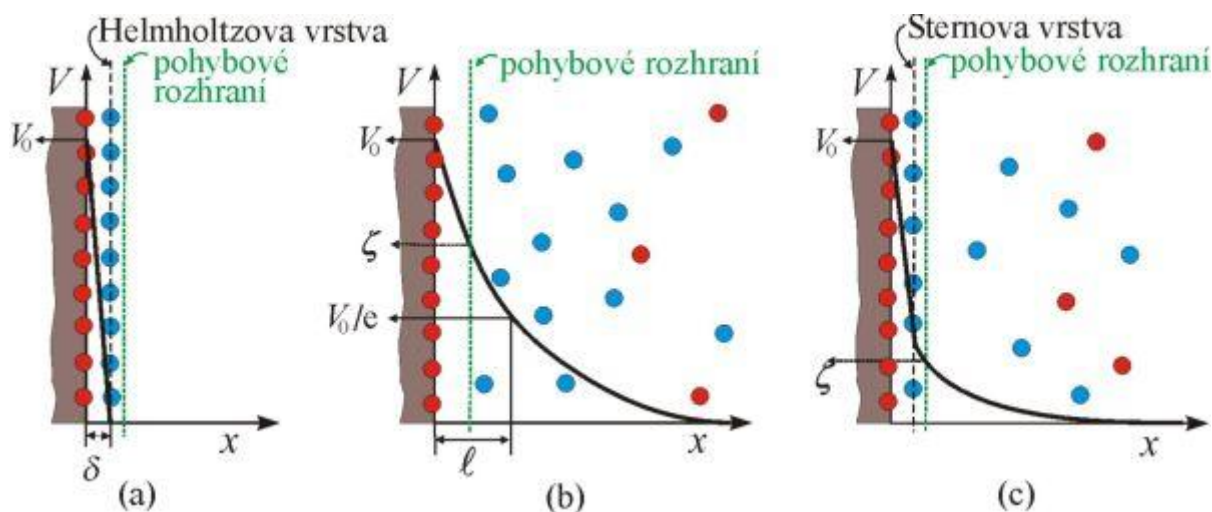
rozzhavení vysílá elektrony urychlované elektrickým polem o napětí 50 - 200kV.¹ Na podobném principu pracuje i skenovací (rastrovací) elektronový mikroskop (SEM – Scanning Electron Microscopy). Rozlišovací schopnosti elektronových mikroskopů se pohybují řádově v desetinách nm (TEM) až jednotkách nm (SEM).³² K charakterizaci velikosti nanočástic je využíván i mikroskop atomárních sil (AFM – Atomic Force Microscope) založený na odpudivých a přitažlivých interakcích mezi atomy. Vrstva částic nanosená na mikroskopické sklíčko je skenována ostrým hrotem, který se vlivem mezimolekulárních interakcí vychyluje a z velikosti výchylky je tak možné určit velikost částic.^{24,32}

2.2.2.3 Elektrické vlastnosti koloidních soustav

Stav povrchu koloidní částice z hlediska jejich elektrického náboje je důležitým parametrem pro stabilitu koloidních soustav a rozhoduje o chování nabitých částic v elektrickém poli. Na každém styku dvou fází se může vytvořit dvojvrstva orientovaných částic (interakcí iontů a dipólů, adsorpcí), v níž dojde k prostorovému rozvrstvení náboje, a tím ke vzniku rozdílu elektrických potenciálů. Tímto způsobem vzniká tzv. elektrická dvojvrstva. Koloidní částice může získat náboj buď disociací některých funkčních skupin (např. -COOH, -SO₃H, -OH), nebo adsorpcí malých iontů na svém povrchu (Cl⁻ nebo Ag⁺ na sraženině AgCl v přebytku Ag⁺ nebo Cl⁻ iontů).²⁶ Nabitý povrch takové částice k sobě přitahuje v disperzním prostředí náboje opačného znaménka. Tím se vytvoří mezi disperzní částicí a disperzním prostředím elektrická dvojvrstva.^{24,26}

Základní teorii elektrické dvojvrstvy vypracoval H. Helmholtz^{1,24,25} (1879) na základě podobnosti k deskovému kondenzátoru, kde je náboj částic, tvořících jednu vrstvu, zcela vykompenzován nábojem opačně nabitých částic vyskytujících se na druhé straně (obr. 8a). Tato představa o struktuře elektrické dvojvrstvy neodpovídala skutečnosti a později ji doplnili L. Gouy, L. Chapman a O. Stern.^{1,24,26} Gouyho-Chapmanova teorie elektrické dvojvrstvy dosáhla významného zlepšení zavedením difúze, díky níž nemohou ionty na povrchu částice vázat ekvivalentní množství protiiontů v protivrstvě, jelikož ty se pohybují v celém objemu kapalně fáze. Elektrický potenciál klesá exponenciálně od povrchu částice. K první vrstvě iontů je poután pouze určitý počet protiiontů. Tato první vrstva iontů se nazývá vnitřní (kompaktní) vrstva a určuje náboj koloidní částice.²⁴ Zbývající část opačně nabitých iontů je soustředěna v tzv. vnější (difuzní) vrstvě (obr. 8b). Autoři této představy elektrické dvojvrstvy nepočítali se skutečnými rozměry iontů, a proto teorie selhávala. O. Stern následně navrhl novou teorii struktury elektrické dvojvrstvy, kde zahrnul rozměry iontů a specifické neelektrické interakce iontů. Podle Sterna jsou k vnitřní vrstvě iontů přitahovány

elektrostatickými a adsorpčními silami ionty opačného znaménka. Část vnitřní vrstvy, tzv. Sternova vrstva, která je tvořena protionty vázanými převážně adsorpčními silami, společně s ionty vázanými na povrchu částice tvoří vnitřní vrstvu. Další protionty ve větší vzdálenosti od částice jsou přitahovány elektrostatickými silami, jsou součástí difúzní vrstvy. Při pohybu částice s elektrickou dvojvrstvou vůči nepohyblivému disperznímu prostředí se vnitřní vrstva iontů s částicí pohybuje, kdežto difúzní vrstva ne. Rozhraní oddělující pohyblivou a nepohyblivou část elektrické dvojvrstvy se nazývá pohyblivé rozhraní (obr. 8c). Potenciál existující v této vzdálenosti od povrchu částice, je odpovědný za její interakce s vnějším elektrickým polem, tzv. elektrokinetické jevy. O velikosti elektrokinetického potenciálu neboli ζ (zeta) potenciálu rozhodují adsorbované ionty a iontová síla. Zeta potenciál závisí na rychlosti relativního pohybu částic vůči prostředí, teplotě soustavy, koncentraci a druhu disperzní fáze.²⁶ S rostoucí koncentrací elektrolytu přecházejí opačně nabití ionty z difúzní části elektrické dvojvrstvy blíže k vnitřní části elektrické dvojvrstvy. To má za následek zmenšení difúzní vrstvy, což vede ke snížení hodnoty zeta potenciálu, a tím ke ztrátě stability koloidních částic.²⁴



Obr. 8: Modely elektrické dvojvrstvy: a) Helmholtzův, b) Gouyův-Chapmanův, c) Sternův.²⁹

pozn.:

V - změna potenciálu

V_0 - potenciál nabitého povrchu

Z - elektrokinetický (zeta) potenciál

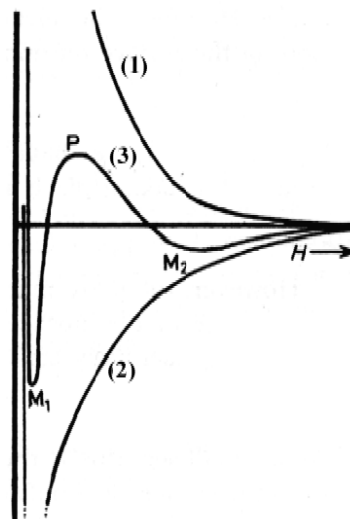
Všechny elektrokinetické jevy jsou vyvolány existencí elektrického náboje na fázovém rozhraní mezi disperzní fází a disperzním prostředím. Při elektrokinetických jevech se elektricky nabitě částice disperzní fáze pohybují vůči disperznímu prostředí.²⁴ Mezi elektrokinetické jevy patří elektroforéza, sedimentační potenciál, elektroosmóza a potenciál proudění (tab. 5). U elektroforézy a elektroosmózy dochází k pohybu částic vlivem vnějšího elektrického pole a v případě sedimentačního potenciálu a potenciálu proudění mechanický pohyb částic vyvolává elektrické pole.

Tab. 5: Elektrokinetické jevy.³⁰

Jev	Podstata jevu	Příčina jevu
<i>Elektroforéza</i>	pohyb dispergovaných částic v kapalině	vnější elektrické pole
<i>Elektroosmóza</i>	pohyb kapaliny vzhledem k nehybné dispergované částici	vnější elektrické pole
<i>Sedimentační potenciál</i>	vznik potenciálového rozdílu	pohyb dispergovaných částic v kapalině
<i>Potenciál proudění</i>	vznik potenciálového rozdílu	pohyb kapaliny vzhledem k nehybné dispergované částici

Pojmem stabilita koloidních soustav se rozumí jejich schopnost bránit se průběhu dějů, které vedou ke změně jejich struktury, stupně disperzity nebo ke změně rozdělení částic podle rozměrů.¹ Díky velkému povrchu částic disperzní fáze překypuje koloidní soustava přebytkem povrchové energie, obzvláště jsou-li interakce mezi molekulami disperzní fáze a disperzního prostředí slabé (lyofobní koloid).²⁴ Z pohledu stability jsou koloidní soustavy v tzv. metastabilním stavu – existují ve stavu s určitým přebytkem povrchové energie. Mohou se však dostat do stavu s nižší povrchovou energií, k tomu je však potřeba překonat určitou energetickou bariéru. Energií potřebná k překonání energetické bariéry je označována jako aktivační energie.^{1,24} Aktivační energie je nutná ke spojování částic. Aby koloidní soustava byla stabilní, musí existovat dostatečná energetická bariéra zabraňující spojování částic, a tím poklesu povrchové energie. Mezi částicemi koloidní soustavy existují přitažlivé a odpudivé mezimolekulární síly. Výsledkem těchto sil dvou vzájemně se vzdalujících částic (H je vzdálenost částic) je tzv. křivka interakční energie (obr. 9).²⁴

Obr. 9: Křivka interakční energie (3) v závislosti na rostoucí vzdálenosti částic H . (1) - křivka odpudivých sil, (2) - křivka přitažlivých sil.



M_1 na křivce interakční energie (Obr. 9) značí tzv. první minimum energie, při kterém jsou částice koloidní soustavy pospojovány vlivem velmi silných přitažlivých sil a není možné je převést zpět do koloidní formy.²⁴ Takovéto slučování částic nazýváme agregace. Agregací částic pak vzniká útvar nazývaný agregát/koagulát. Dosahuje-li interakční křivka maxima P , jsou částice od sebe v takové vzdálenosti, kdy převažují odpudivé mezimolekulové síly nad přitažlivými, a koloidní soustava je stabilní. Toto maximum energie odpovídá energetické bariéře. S další rostoucí vzdáleností částic klesá velikost přitažlivých i odpudivých sil, a tím i hodnota interakční energie. V některých případech existuje ještě tzv. sekundární minimum M_2 , kdy spojováním částic vznikají tzv. flokuláty.²⁴ Částice v těchto útvarech jsou poutány velmi slabými silami a je možné je zpětně od sebe oddělit. Přejít flokulátů na koaguláty není možné, jelikož tomu brání energetická bariéra (maximum energie P). Příčinou přitažlivých sil mezi molekulami jsou van der Waalovy interakce, související s existencí fluktuační elektrického náboje v molekule.

Možnost stabilizace koloidních lyofobních částic je stabilizace pomocí lyofilních koloidů, tzv. ochranných koloidů.²⁴ Tyto látky vytváří dostatečně silnou adsorpční vrstvu na povrchu částic, která brání jejich agregaci. Jedná se o tzv. sterickou stabilizaci, kdy je ovšem nutné zvolit vhodnou koncentraci stabilizující látky, za určitých podmínek mohou mít totiž tyto látky opačný účinek.²⁴ Stabilizovat lyofobní částice je možné i povrchově aktivními látkami (např. stabilizace koloidních částic stříbra mýdlovým roztokem).

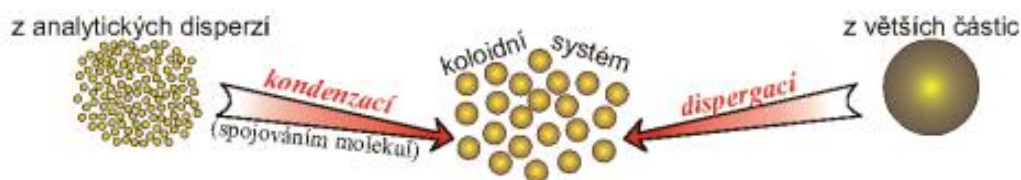
V důsledku toho, že mezi disperzními částicemi působí přitažlivé síly, dochází ke spojování částic, nejsou-li opatřeny ochrannou vrstvou - elektrickou dvojrůstvou (u částic, jejichž povrch může být elektricky nabitý). Při elektrostatické stabilizaci se dvojrůstva vytvoří kolem částic, povrch těchto částic může být nabitý a taková dvojrůstva přitahuje protionty.¹

Elektricky nabité koloidní částice se vlivem elektrostatických odpuzivých sil, které převažují nad přitažlivými mezimolekulárními interakcemi, odpuzují a nedochází tak k jejich agregaci. Přidáním elektrolytu však lze elektrickou dvojrstvu, resp. povrchový náboj koloidních částic eliminovat či zcela zrušit a koloidní soustavu tak destabilizovat. Teorii koagulace elektrolyty vypracovali B. Derjagin. a L. Landau (1940) a nezávisle na nich pak E. Verwey a J. Overbeek²⁴ a podle počátečních písmen těchto vědců je také pojmenována DLVO teorie. DLVO teorie je fyzikální popis koagulace koloidních částic účinkem elektrolytů za působení přitažlivé mezimolekulové interakce a odpuzivé elektrostatické síly povrchově nabitých částic. Dle DLVO teorie vede přidavek elektrolytu k elektrostaticky stabilizované koloidní soustavě ke stlačení elektrické dvojrstvy a snížení hodnoty povrchového náboje. Částice se pak mohou vzájemně více přibližovat a následně spojovat. Musí ovšem dojít k překonání energetické bariéry elektrické dvojrstvy, čímž dojde k destabilizaci koloidních částic. K agregaci dojde tehdy, je-li koncentrace přidávaného elektrolytu dostatečná. DLVO teorie popisuje dva typy koagulace: neutralizační koagulace a koncentrační koagulace.²⁴ Neutralizační koagulace je dána adsorpčními jevy. Množství naadsorbovaných iontů na povrchu koloidní částice určuje velikost povrchového náboje resp. elektrického potenciálu. Snížení adsorpce těchto iontů vede ke snížení elektrického potenciálu (snížení velikosti povrchového náboje), což má za následek snížení velikosti odpuzivých sil. Částice se pak mohou spojovat a následně koagulovat. Teorii neutralizační koagulace umožňuje spočítat hodnotu elektrického potenciálu, při kterém zmizí energetická bariéra. Koncentrační koagulace je koagulace způsobená stlačením elektrické dvojrstvy po přidavku elektrolytu, kdy dochází k poklesu elektrického potenciálu koloidních částic. Pro tento typ koagulace je důležitá nejen koncentrace elektrolytu, ale také poloměr a náboj protiiontu.

2.2.3 Příprava koloidních soustav

Metody přípravy koloidních soustav závisí na velikosti původních částic a materiálu, který je k jejich přípravě využíván. Pro přípravu koloidních soustav lze využít dvě cesty přípravy: dispergační a kondenzační metodu.^{1,23,24} Metoda dispergace využívá makroskopického materiálu, kdy pomocí mechanických nebo fyzikálně-chemických postupů (mechanické, ultrazvukové rozmělnování, elektrické rozprašování, peptizace, laserová ablace) lze připravit částice koloidních rozměrů.^{23,24} V některých případech je třeba, aby byly přítomny látky schopné stabilizovat vzniklé částice nebo zpomalovat jejich růst.¹ Dispergace neprobíhá samovolně, je proto nutné na přípravu koloidních soustav vynaložit práci. Mezi dispergační metody patří drcení částic v kulových mlýnech, rozmělnování částic pomocí ultrazvuku,

elektrické rozprašování či peptizace a metoda laserové ablace.^{1,24} K přípravě koloidních částic mletím se používá tzv. kulových mlýnů, jejichž funkce je obvykle založena na rozměňování při nárazech mletého materiálu na mlecí tělesa (např. ocelové, porcelánové koule) a stěny nádoby, ve které mletí probíhá. Negativní vlastností je kontaminace částic materiálem mlecích koulí a nemožnost dosáhnout vysokého stupně disperzity. Pro získání vysokodisperzních soustav se využívají tzv. koloidní mlýny, ve kterých se mletí uskutečňuje v polích s vysokým gradientem rychlosti. Tato pole vznikají např. v úzké štěrbině mezi rychle rotujícím kuželem a nepohyblivou plochou. Štěrbínou se protlačuje disperzní soustava. Podobné konstrukce se využívají pro zvýšení stupně disperzity (homogenizaci) emulzí, např. mléka²³. Rozměňování může být realizováno pomocí ultrazvuku. Tento způsob je ovšem efektivní pouze v případě, kdy dispergovaná látka má malou pevnost.¹ Ultrazvuk s frekvencí nad 20000 Hz vyvolává v látkách opakované stlačování a expanzi.²⁴ Vysokými tlaky dochází ke vzniku trhlin až rozpadu částic na koloidní rozměry. Výhodou je, že soustava při dispergaci nepřichází do styku s žádnou třetí látkou a často lze získat disperzní soustavy o vyšším stupni disperzity než jinými metodami. Elektrické rozprašování využívá elektrického proudu, jedná se o spojení dispergační a kondenzační metody.²⁴ Podstatou je odtrhávání částic z elektrod vlivem elektrického oblouku mezi elektrodami. Současně dochází k odpařování materiálu z povrchu elektrod a následné kondenzaci. Elektricky lze rozprašovat pouze vodivé materiály. Podstatou je odtrhávání částic z elektrod vlivem elektrického oblouku mezi elektrodami. Současně dochází k odpařování materiálu z povrchu elektrod a jeho následné kondenzaci.²⁴ Peptizací se rozumí proces opačný ke koagulaci, kdy se převádí sraženina zpět do koloidní formy. Mnohdy stačí opakované promývání sraženiny vodou, čímž se vymyjí elektrolyty způsobující koagulaci nebo je nutno přidání peptizátoru, látky, která se adsorbuje na povrchu částice a stabilizuje koloidní soustavu.¹ Možné způsoby stabilizace jsou specifická iontová adsorpce, stericke stabilizace pomocí lyofilních koloidů či PAL.²⁴ Stáním sraženiny, zvláště za vyšších teplot, dochází k její rekrystalizaci, při níž vznikají větší krystaly. Peptizace pak už není možná.¹ Principem laserové ablace je působení laserového paprsku s velmi vysokou energií na povrch pevné fáze, čímž dochází k lokálnímu přehřátí, vzniká vysoký tlak odtrhávající z povrchu materiálu částice koloidních rozměrů. Stejně jako u elektrického rozprašování dochází i u této metody k současnému odpařování a následné kondenzaci materiálu.²⁴



Obr. 10 : Příprava koloidních systémů.²⁹

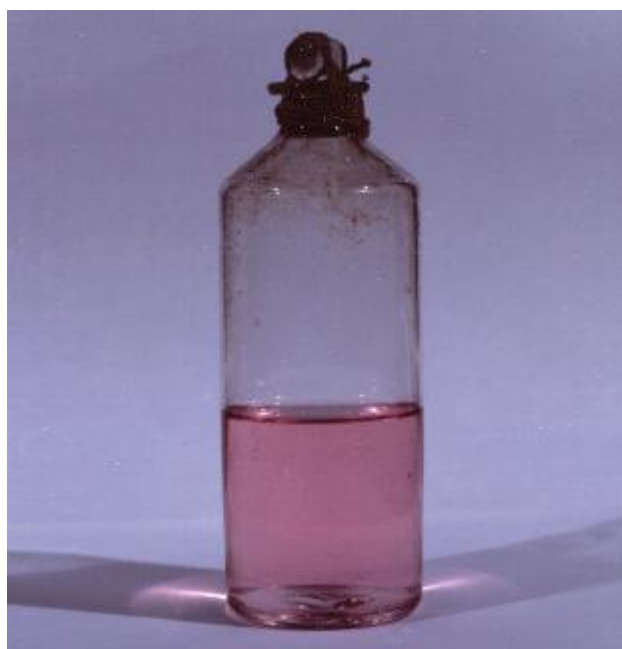
Metody kondenzační jsou opakem přístupu dispergačního, tzn. z analytických disperzních soustav jsou koloidní soustavy připravovány kondenzací (obr. 10) (chemická reakce, změna rozpouštědla a další). Kondenzačními metodami lze poměrně snadno připravit vysoce dispergované a poměrně monodisperzní koloidní soustavy.²⁴ Podmínkou je dostatečný počet a určitá rychlost růstu zárodků nově vznikající fáze a zároveň je nutné zamezit působení faktorů vedoucích k agregaci částic disperzní fáze.^{23,24} Kondenzaci lze provést fyzikálně-chemickými metodami. Fyzikálně-chemické kondenzační postupy jsou založeny např. na změně teploty, tlaku a na změně rozpustnosti látek. Změnou rozpouštědla, v němž má daná látka nízkou rozpustnost, lze vyvolat kondenzaci látky za vzniku koloidní částice. Jiným fyzikálně-chemickým způsobem přípravy je ochlazování par kovů či uhlíku na vhodné podložce. Více využívané, pro přípravu koloidních částic, jsou chemické přeměny. Vhodnými chemickými reakcemi, při nichž se z rozpustné látky vytváří látka nerozpustná, jsou oxidačně-redukční, srážecí, výměnné, acido-bazické či hydrolytické reakce.²⁴ Mezi nejjednodušší a tedy i nejčastěji používané metody přípravy koloidních částic patří redukce rozpustné soli. K redukci lze použít řadu organických či anorganických redukčních činidel.

2.3 Nanočástice kovů a jejich oxidů

Mezi světem atomů a současným reálným světem leží oblast „nanosvěta“, území částic a struktur v rozměrovém oboru od cca 1 nm do 100 nm,³ která nebyla v minulosti středem přílišné pozornosti. Současný intenzivní rozvoj v oblasti nanotechnologií dává vznik materiálům, které mají unikátní vlastnosti.

Za zakladatele moderní koloidní chemie je považován M. Faraday³³ (1857), jenž byl fascinován rubínovou barvou koloidního zlata (obr. 11) využívanou k barvení skla. Cílem jeho experimentů bylo zjistit, jaký je vztah interakce světla s kovovými částicemi, jejich vznik a vlastnosti. První reprodukovatelný standardní návod pro přípravu koloidů kovů (koloidu zlata) publikoval J. Turkevitch³⁴ (1951), který také navrhl mechanismus pro tvorbu nanočástic založený na nukleaci, růstu a agregaci tuhé fáze. Na možnosti z oblasti „nanosvěta“ jako první

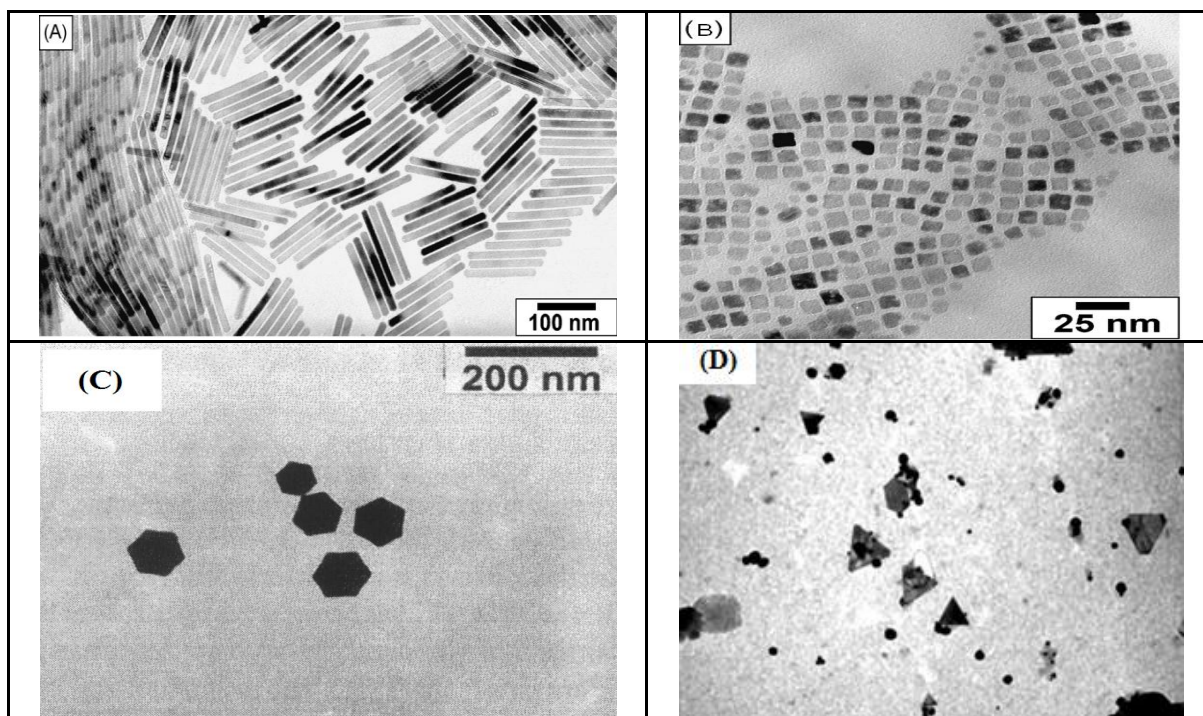
poukázal americký fyzik a nositel Nobelovy ceny Richard P. Feynman,³⁵ který svou vizi o nanotechnologii nastínil roku 1959 při příležitosti zasedání Americké fyzikální společnosti na Kalifornském technologickém institutu. Jeho přednáška s názvem „There’s Plenty of Room at the Bottom“ (překl. „Tam dole je spousta místa“) pojednávala o možnostech praktického využití světa atomu v budoucnosti. Feynman tehdy naznačil, naplnění jeho předpovědí až ve chvíli, kdy bude k dispozici experimentální technika, která umožní manipulovat s „nano“ objekty a měřit jejich vlastnosti. Nicméně řada jeho úvah, ve své době považovaných za pouhou utopii, se však v současné době již dočkala uskutečnění.



Obr.11: Faradayovo koloidní zlato rubínové barvy.³³

2.3.1 Metody přípravy

Ve všech vyvíjených nanotechnologických aplikacích má významnou roli velikost používaných nanočástic, jejich morfologie, stabilita, stav povrchu z hlediska fyzikálního (např. elektrický náboj) i chemického (modifikace povrchu). Při přípravě vlastních nanočástic je třeba uvážit jejich další aplikaci. Nanočástice kovů mohou být připraveny různými metodami (podobně jako koloidy), čímž lze dosáhnout požadovaných velikostí a tvarů - tyčinky, krychle, šestiúhelníky, trojúhelníky, (obr. 12), tím i požadovaných chemických a fyzikálních vlastností.



Obr. 12: TEM snímky nanočástic kovů:

A) tyčinky Fe_2O_3 ³⁶ B) krychličky Fe_2O_3 ³⁶ C) šestiúhelníky Ag_2SO_4 ³⁷ D) trojúhelníky Au ³⁸

Chemická metoda přípravy nanočástic kovů je proces nejčastěji vyvolán chemickou redukcí solí kovů. Jedná se v současnosti o nejrozšířenější a nejjednodušejí proveditelnou metodu pro přípravu koloidních suspenzí kovů. Redukce solí přechodných kovů v roztoku umožňuje, aby byly připraveny nanočástice požadované velikosti s malou odchylkou. Za tímto účelem je používán široký rozsah redukčních činidel, např. hydraziny, hydridy, kyseliny (kyselina askorbová), soli (citrát sodný).^{39,40} Ke kontrole růstu nanočástic a k jejich ochraně před agregací mohou být použity stabilizátory např. na bázi PAL.

Nejrozšířenějšími nanočásticemi kovů jsou nanočástice: zlata, stříbra, mědi, železa, kobaltu, niklu, zinku, manganu, paladia, platiny, nanočástice oxidů (železnatého, železitého, železnato-železitého, kobaltnato-kobaltitého, nikelnatého, měďného, měďnatého, zinečnatého, manganatého, křemičitého, titaničitého), hydroxidů (kobaltnatého), sulfidů (kademnatého), selenidů (kademnatého) a polymerní nanočástice (kopolymery, dendrimery).^{36,38,41,42,43,44,45,46} Pro představu různorodosti příprav nanočástic může být nastíněno několik preparativních metod. Nanočástice mědi lze připravit redukcí pentahydrátu síranu měďnatého tetrahydridoboritanem sodným v přítomnosti různých komplexních činidel (kyseliny vinné, citronanu sodného, amoniaku).⁴⁴ Superparamagnetické nanočástice oxidů železa lze syntetizovat laserem, pyrolýzou par pentakarbonylu železa.⁴¹ Nanočástice oxidu nikelnatého lze připravit pomocí Pechininovy metody – kalcinací prekurzorů NiO v rozmezí 300-700°C.⁴³

2.3.2 Aplikace nanočástic kovů a jejich oxidů

Ušlechtilé kovy nanočástic umožňují atraktivní aplikace v různých oblastech, jako je lékařství, biotechnologie, optika, mikroelektronika, kosmonautika, katalýza, fotokatalýza či ukládání informací.

Kromě přípravy nanočástic kovů lze získat i nanočástice jejich oxidů, hydroxidů, sulfidů a selenidů, jejichž využití ale není tak široké, jako v případě samotných kovů. Např. z celé škály vyráběných nanočástic jsou k dekontaminacím nejvhodnější a nejpoužívanější nanočástice elementárního železa, které fungují jako silné redukční činidlo. Železo je navíc přirozenou složkou životního prostředí, a proto při jeho použití při sanacích nedochází ke vnášení cizorodé nebo toxické látky do prostředí. Železo lze použít také v různých modifikacích, např. ve formě bimetalických nanočástic Fe/Pd, Fe/Ni, nebo jako emulzi s rostlinným olejem. Dalšími použitelnými nanočásticemi jsou např. oxidy MgO, CaO, Al₂O₃, TiO₂.⁴⁷ Studie z posledních let prokázaly, že použití nanoželeza je velice účinné při odstraňování mnoha kontaminantů vyskytujících se v podzemních vodách a horninovém prostředí, včetně tetrachlormethanu, trinitrotoluenu (TNT), organohalogenovaných pesticidů (např. lindan a DDT), dusičnanů i těžkých kovů (např. chrom, olovo).⁴⁷ Problémem je jejich tendence k agregaci spojená se ztrátou specifických vlastností (vyšší reaktivita, velký povrch, snadná migrace horninovým prostředím), otazníky zůstávají i u toxických vlastností nanočástic, jejich vlivu na organismy a životní prostředí.

Nanočástice železa mají také značné využití v lékařství. Magnetická resonance je jednou z nejvýkonějších technik v klinickém diagnostickém lékařství a biomedicinském výzkumu. Superparamagnetické nanočástice železa jsou využívány při posílení kontrastu mezi nemocnou a zdravou tkání, k označení funkčnosti orgánů a ke kontrole průtoku krve.⁴¹

Další oblastí využití kovových nanosystémů je průmysl nátěrových hmot, kdy přidávkem malého množství vhodných nanočástic dochází k pozitivnímu ovlivnění celé řady vlastností (zvýšení odolnosti proti stárnutí, vůči povětrnostním vlivům, vůči zvýšené teplotě a různým roztokům a rozpouštědlům). Pro danou aplikaci je důležitá volba vhodné nanočástice a její kompatibilita s cílovým prostředím. Pro průmysl nátěrových hmot jsou důležité nanočástice, které pozitivně ovlivňují hned několik vlastností nátěrového filmu. Jako příklad takových částic lze uvést nanočástice ZnO, které mají dvě velmi důležité funkce. V nátěrovém filmu působí jako UV filtr a zároveň mají antibakteriální účinek.⁴⁸

Nanočástice mědi nacházejí využití jako katalyzátory, aditiva do maziv, materiály pro elektronické a optické přístroje. Jejich zřejmě největším problémem je náchylnost k oxidaci.⁴⁴ Nanočástice oxidu měďného jsou zkoumány díky svým specifickým vlastnostem a širokým

možnostem využití např. jako katalyzátory a fotokatalyzátory, antiseptikum pro přepravu barev, germicidy v zemědělství, barvivo pro barvení skla a smaltu, součást maziv a termotransferových nanokapalin, v elektronických a optických nanosoučástkách, biosenzorech.^{45,46}

2.3.3 Nanočástice stříbra

Nanočástice stříbra, stejně jako nanočástice jiných ušlechtilých kovů, oplývají unikátními optickými a katalytickými vlastnostmi, které je činí mimořádně zajímavé nejen ve výzkumné, ale i technologické praxi. Pestrá minulost jejich využití v praxi má významný mezník v 80. letech minulého století, kdy díky objevu povrchem zesíleného Ramanova rozptylu (SERS) se nanočástice stříbra staly jedním z nejstudovanějších systémů kovových nanočástic. Aplikační možnosti nanočástic stříbra sahají dále než u jiných kovů a to především díky jejich silné antimikrobiální aktivitě. Díky této vlastnosti se s pojem nanočástice můžeme setkávat i mimo výzkumné laboratoře tj. v běžném životě.

2.3.3.1 Metody přípravy nanočástic stříbra

K přípravě nanočástic stříbra je možno použít vybrané metody dispergační i kondenzační. Kondenzační metody hrají při přípravě nanočástic stříbra, stejně jako u koloidů jiných kovů, podstatně významnější roli. Jednak díky časové i materiální nenáročnosti a množství obměn, díky nimž lze připravovat částice požadovaných vlastností. Jde především o redukce jejich sloučenin, kde lze kromě anorganických a organických redukčních činidel použít i radikály, generované v soustavě působením ultrazvuku, světla či radioaktivního záření.²⁴

Experimentálně jednoduchá, všestranná s ohledem na druh kovu je dispergační metoda laserová ablace (rozměňování) stříbrného makroskopického materiálu. Laserem dispergované kovové nanočástice jsou velmi čisté a proto je lze s výhodou využít k základním studiím v oblasti povrchem zesílené Ramanově spektroskopii (Surface Enhanced Raman Spectroscopy, SERS). Velikost částic stříbra připravených pomocí laserové ablace se pohybuje v rozmezí od několika jednotek do několika desítek nm, závisí na vlnové délce a intenzitě použitého laseru, na délce ozařování a použitém rozpouštědle, rovněž na přítomnosti dalších látek a či tenzidů v roztoku.⁴⁹ Ozařováním již připravené disperze nanočástic laserem lze měnit jejich velikost, polydisperzitu a dokonce i jejich morfologii.⁴⁹

Nejčastěji využívanou kondenzační metodou pro přípravu nanočástic stříbra je chemická redukce. Kdy z rozpustné sloučeniny stříbra vznikají atomy stříbra, které se při dostatečném přesycení roztoku a síle redukčního činidla shlukují do zárodků nové pevné fáze,

jež po dosažení kritické velikosti mohou dále růst. Vedle stávajících zárodků mohou vznikat i zárodky nové, které zvyšují polydisperzitu výsledné disperze. Novátory roztokových metod pro přípravu koloidů stříbra, související s objevem SERS v 70. letech 20. století, se stali J. Creighton, G. Blatchford a M. Albrecht,^{50,51} kteří částice stříbra připravovali redukcí AgNO_3 silným redukčním činidlem, tetrahydridoboritanem sodným (NaBH_4), ve vodném prostředí. Přidáním roztok AgNO_3 do intenzivně míchaného a chlazeného roztoku NaBH_4 lze připravit nanočástice o velikosti 5-20 nm, čemuž odpovídá poloha absorpčního maxima o hodnotě přibližně 400 nm.⁵⁰ Připravené nanočástice jsou agregace stálé po dobu několika měsíců.⁴ Zmíněnou metodou a jejími aplikacemi však nelze připravit částice větších rozměrů. Proto byla vyvinuta metoda, která využívá přípravy ve dvou stupních. V prvním stupni dojde k redukcí silným redukčním činidlem (např. NaBH_4), čímž vzniknou malé částice, které pak ve druhém stupni slouží jako zárodky k růstu větších částic při redukcí slabším redukčním činidlem. Obměnou poměru $\text{AgNO}_3/\text{NaBH}_4$ lze částečně měnit velikost a povrchový náboj vzniklých částic.⁵² Takto navržené nanočástice nejsou v některých aplikacích vhodné vlivem borátového aniontu adsorbovaném na jejich povrchu. V takových případech se osvědčuje redukční postup podle P. Lee a D. Meisela používající mírnější redukční činidlo – citrátový anion, který stabilizuje vznikající nanočástice stříbra.³⁹ Smícháním roztoku citrátu sodného s roztokem AgNO_3 vznikají po hodinovém varu větší a polydisperznější nanočástice než u borohydridové redukce. Velikost částic se pohybuje v rozmezí 30 až 120 nm, absorpční maximum pak leží okolo 420 nm. Mimo to lze využít rovněž redukčních účinků vodíku, peroxidu vodíku, hydroxylaminu, hydrazinu, kyseliny askorbové, formaldehydu a redukujících cukrů.^{4,53,54} V současné době se většina metod pro přípravu nanočástic resp. koloidních disperzí stříbra soustředí na redukcí stříbrných solí organickými činidly, jejichž výběr umožňuje připravovat částice nejrůznějších velikostí. Jednou ze základních metod je tzv. *Tollensův proces*, jehož podstatou je redukcí amoniakálního komplexu aldehydu.⁵⁵

V poslední době se k syntéze částic s kontrolovanou velikostí používá modifikovaný Tollensův proces.⁴ Základem reakce tohoto procesu je redukcí stříbra v amoniakálním roztoku použitím redukujících cukrů. Tímto způsobem byly získány částice o velikosti 45-380 nm.⁴ Tento rozdíl je kontrolovatelný při změně koncentrace komplexotvorné částice (amoniaku) a užitím řady redukujících sacharidů (xylóza, glukóza, fruktóza a maltóza).⁵⁴ Syntéza nezatěžuje životní prostředí⁴, jelikož jsou použity netoxické chemikálie. Další zmenšení velikosti částic je možné dosáhnout změnou pH reakční směsi, změnou koncentrace amoniaku a volbou redukujících sacharidů.⁵⁴ Nejmenší částice, které je možné získat redukcí disacharidem maltózou o velikosti od 25 do 50 nm, jsou téměř monodisperzní a vykazují

antimikrobiální a baktericidní aktivitu.⁴ Nanočásticový charakter připravených částic stříbra redukcí stříbrné soli redukujícími cukry v amoniakálním prostředí vykazují charakteristickou intenzivní absorpci světla okolo vlnové délky 400 – 420 nm, která uděluje disperzi těchto nanočástic intenzivní oranžové zbarvení.⁵⁶

2.3.3.2 Stabilizace nanočástic stříbra

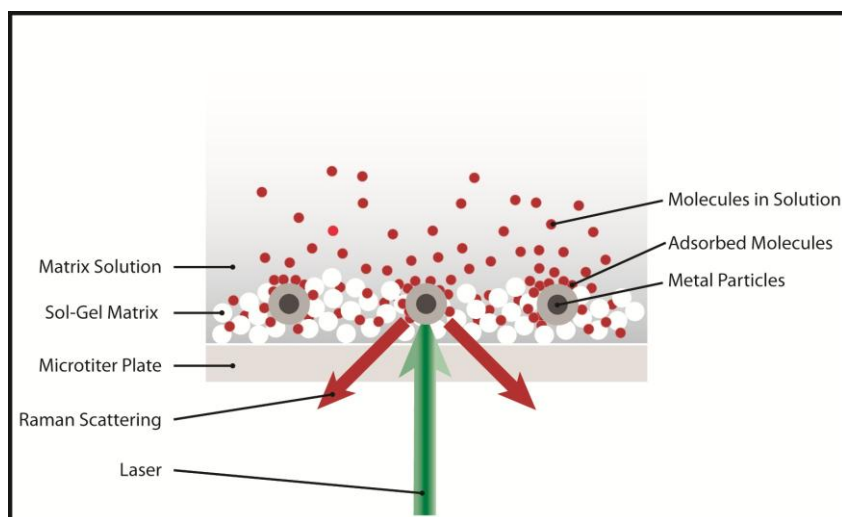
Syntéza nanočástic stříbra o velikosti od 1 nm do 100 nm je intenzivně studována nejen díky vědeckému zájmu, ale také kvůli množství užitečných aplikací. A právě přechod nanometrových částic v mikrometrové vede ke ztrátě unikátních vlastností. Proto je v rámci mnoha studií zájem o zvýšení agregátní stability těchto připravovaných látek. Za účelem stabilizace jsou používány nejen povrchově aktivní látky, ale i syntetické polymery, případně přírodní látky.⁵⁷

Různé stabilizující látky mohou kromě zvýšení stability systému, zapříčinit změnu tvaru syntetizovaných částic, jejich velikosti a jiné vlastnosti povrchu nanočástic v různém rozsahu. Neionické povrchově aktivní látky i polymery se adsorbují na povrchu nanočástic a ovlivňují stabilitu systému. Mezi nejčastěji používané neionické povrchově aktivních látky patří Brij, Tween a Triton X–100, proces stabilizace je založen na sterické repulzi, kdy jsou stabilizátory okamžitě adsorbovány na povrch částice.⁵⁷ Jako další zástupci povrchově aktivních látek se používají také anionické PAL např. sodium dodecylsulfát (SDS) či kationické PAL např. cetyltrimethylamonium chlorid (CTAC), cetyltrimethylamonium bromid (CTAB), jejich mechanismus procesu stabilizace je založen na elektrostatickém odpuzování povrchového náboje.^{57,58} Typickými příklady syntetických polymerů jsou kyselina polyakrylová či polyethylenglykol (PEG), polyvinylpyrrolidon (PVP), polyvinylalkohol (PVA), polyurethan (PU).⁵⁷ Mezi přírodní polymery, které se užívají ke stabilizaci, patří například želatina či kasein.⁵⁹

2.3.3.3 Možnosti aplikace nanočástic stříbra

Využití nanočástic stříbra vychází zejména z jejich unikátních optických a katalytických vlastností, které nelze pozorovat u stříbra makroskopických rozměrů. Tyto unikátní vlastnosti jsou tedy především závislé na jejich velikosti. Optických vlastností nanočástic stříbra se využívá zejména v povrchem zesílené Ramanově spektroskopii (SERS) a při tvorbě biosenzorů. V posledních letech se velice intenzivně studují antibakteriální účinky nanočástic stříbra, které jsou schopny působit proti mnoha druhům mikrobů včetně některých plísňů a virů, jež se s postupem času staly resistantními vůči antibiotikům.^{57,60}

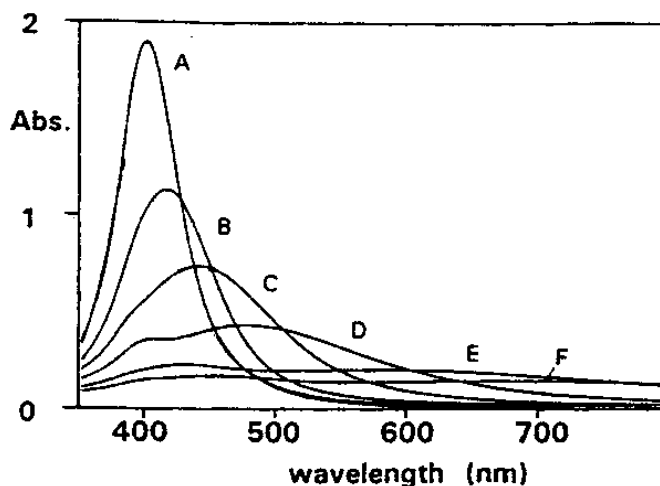
Techniky umožňující detekci stopové koncentrace látek a přesná znalost složení analytu jsou v současné době nezbytné v mnoha odvětvích průmyslu a vědy. Právě pro tyto účely jsou zkoumány povrchem zesílená Ramanova spektroskopie (SERS) a povrchem zesílená rezonanční Ramanova spektroskopie (SERRS).⁵³ Pro účely SERS a SERRS bylo testováno velké množství kovů (např. Au, Ag, Cu)^{39,61} ve formě koloidních disperzí či nanosených na různých podkladech. Bylo zjištěno, že pro oblast viditelného světla se jako nejvhodnější jeví právě nanočástice stříbra.³⁹ Metoda využívá speciálních vlastností kovových povrchů či částic koloidních rozměrů (obr. 13). Na vhodně zvolených materiálech může být Ramanův rozptyl zesílen více jak 10^7 krát.⁵⁴ K celkovému zesílení přispívají dva mechanismy: elektromagnetický, který výrazně zesiluje intenzitu dopadajícího i rozptýleného záření díky rezonanční excitaci povrchových plasmonů v kovu a chemický, který zvyšuje polarizovatelnost molekuly v důsledku její silné interakce s kovovým povrchem. Elektromagnetický mechanismus vyžaduje přítomnost nanostruktur v kovovém povrchu a jeho příspěvek k celkovému zesílení je vždy o několik řádů vyšší než příspěvek mechanismu chemického.⁶¹



Obr. 13. Ramanův rozptyl zesílený nanočásticemi stříbra vlivem naadsorbování molekul zkoumaného analytu.⁶²

Pro optické vlastnosti nanočástic stříbra je charakteristická přítomnost výrazného absorpčního pásu, který není možné sledovat u kovů makroskopických rozměrů. Při interakci elektromagnetického záření s nanočásticemi stříbra pozorujeme výrazné absorpční maximum nazývané jako povrchová plasmonová resonance.⁴⁵ Pro částečné srovnání teoretických výsledků s praktickými, lze uvést experimentálně získané absorpční spektra monodisperzních

částic stříbra o různých velikostech (obr. 14). Tento jev se dá s výhodou využít pro tvorbu vysoce citlivých senzorů. Poloha a tvar absorpčního pásu závisí nejen na velikosti a tvaru kovové nanočástice, ale i na dielektrických vlastnostech okolního prostředí, případně i na náboji nanočástic stříbra.⁴⁵



Obr. 14: Experimentálně změřené absorpční křivky částic stříbra o rozměrech 38 nm (A), 56 nm (B), 75 nm (C), 110 nm (D), 162 nm (E) a 173 nm (F).⁶³

Na základě této vlastnosti je pak možno sestrojít senzory s navázanými nanočásticemi stříbra, které i na nepatrnou chemickou změnu okolí reagují posunem či změnou tvaru absorpčního maxima. Na tomto principu jsou sestrojovány tzv. biosenzory, pomocí nichž se dají provádět imunologické testy.⁴⁵

Vysoká povrchová energie a velký specifický povrch nanočástic stříbra umožňuje jejich využití při katalýze. Koloidní stříbro je jedním z mnoha kovů často využívaným převážně jako oxidační katalyzátor, zejména pak např. při přípravě ethylenoxidu z ethylenu.⁴⁵

Do popředí zájmu se v současnosti z aplikačního hlediska v případě nanočástic stříbra dostávají biologické účinky, zejména jejich vysoká antibakteriální aktivita.⁵⁷ Mnohé patogenní bakteriální kmeny se dovedou enzymaticky rychle vyvíjet a měnit, kterak se stávají proti antibiotikům značně nebo i naprosto odolnými.⁵⁷ Naproti tomu studie s koloidním stříbrem ukázaly, že většina bakterií a virů nedokáže proti němu vyvinout sebeobranný mechanismus. Mechanismus antimikrobiálního působení není zatím přesně znám. Nejčastěji je působení koloidů na mikroorganismy vysvětlováno tím, že nanočástice napadá povrch buněčných membrán, narušuje jejich propustnost a zabraňuje dýchání. Menší částice jeví vyšší baktericidní účinky⁴, protože se předpokládá, že se nejen váží na povrch membrán, ale

vnikají jimi dovnitř bakterie, kde působí destruktivně vůči mikroorganismu.

Popularita stříbrných nanočástic předběhla vědecký výzkum a tak i přes dosud nejasný mechanismus působení na živé organismy a nejasnosti okolo účinků nanočástic stříbra v životním prostředí i na člověka lze zakoupit poměrně široký sortiment výrobků „upravených“ nanočásticemi stříbra ve formě léčivých (homeopatických) přípravků, předmětů denní potřeby jako textilie, hygienické a kosmetické přípravky a mimo to např. filtry obsažené v čističkách vzduchu a klimatizacích.^{56,64}

3 Výzkumná část

Výzkumná část diplomové práce zahrnuje dotazníkové šetření, jehož prostřednictvím byl zjišťován vztah studentů středních a vysokých škol k přírodním vědám (chemii), dále informovanost studentů v oblasti nanolátek, znalost jejich vlastností a aplikací.

3.1 Využití dotazníku ve výzkumné části

Výzkumná část diplomové práce byla započata dotazníkovým šetřením, jehož cílem bylo zjistit vztah studentů středních škol k přírodním vědám, jejich dosavadní zkušenosti s pojmy „nano-“ a zájem o pokračování ve studiu přírodovědných oborů na vysokých školách. U vysokoškolských studentů bylo metodou dotazníku sledováno, co je vedlo ke studiu vysoké školy (Univerzity Palackého v Olomouci) a oboru chemie. Dále pak byla zjišťována znalost základních nanopojmů a dovednost vyjádřit specifické vlastnosti a aplikace nanolátek. Vyhodnocené odpovědi dotázaných studentů posloužily k vyvození závěru týkající se problematiky výuky nanotechnologií na školách.

3.1.1 Realizace výzkumu na středních školách a UP v Olomouci

K výzkumu, jehož vyhodnocení tvoří praktickou část diplomové práce, byla použita metoda anonymního dotazníku. Na třech středních školách v Olomouci bylo rozdáno 110 dotazníků. Podle předpokladu bylo několik dotazníků chybně vyplněno (označení více než jedné odpovědi). Pro vlastní výzkum bylo použito zbývajících 100 řádně vyplněných dotazníků. Na Střední škole logistiky a chemie v Olomouci vyplnilo dotazník 19 studentů, 81 oslovených studentů navštěvuje Gymnázium Olomouc Hejčín a Slovanské gymnázium Olomouc. Jednalo se o žáky 4. ročníků, u kterých se předpokládá zvládnutí téměř veškerého středoškolského učiva v rámci chemie. Dvě gymnázia a jedna střední škola byly vybrány na základě předpokladu, že se nejčastěji studenti z těchto typů škol ucházejí o studium chemických oborů na Univerzitě Palackého v Olomouci, kde se provádělo následující šetření. Dotazník obsahuje 15 otázek v otevřené, uzavřené a kombinované formě. Studenti měli na výběr ze 2 až 6 možností vždy pouze jednu odpověď. Dotazník byl zadán osobně nebo prostřednictvím třídních učitelů, kteří byli srozuměni s postupem při jeho vyplňování. Samotné vypracování trvalo cca 7 minut, studenti pracovali samostatně.

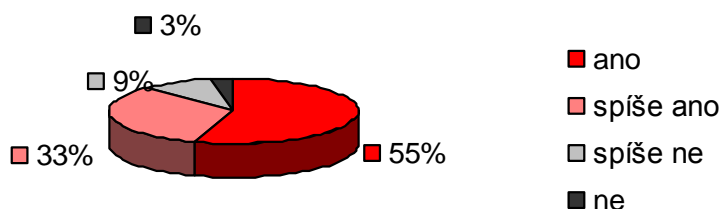
Studentům 1. ročníků bakalářského studia Univerzity Palackého v Olomouci, kteří

studují chemické obory (aplikovaná chemie, management v chemii, chemie - biologie, chemie), bylo přichystáno 50 dotazníků o 14 otázkách s formou odpovědí v otevřené, uzavřené a kombinované formě výběrem ze 2 až 6 odpovědí, vždy pouze s jednou možností výběru. Vyplnění dotazníku netrvalo déle než 7 minut, studenti byli srozuměni s postupem při jeho vypracování. Všech 50 dotazníků bylo řádně vyplněno.

3.1.2 Vyhodnocení středoškolských dotazníků

Následující část analyzuje výsledky na základě odpovědí 100 studentů na jednotlivé otázky dotazníku viz SŠ dotazník (Příloha 1). Pro přehlednost byla zvolena grafická forma. Výsledky výzkumu jsou uvedeny v procentech (relativní četnost). Získané výsledky jsou znázorněny graficky s popisem.

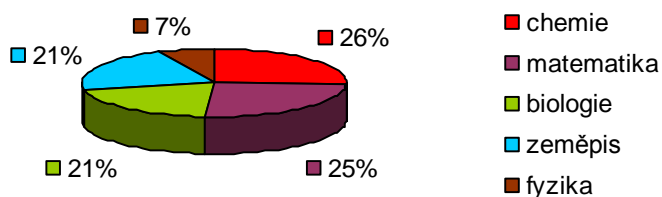
1) Zajímáš se o přírodní vědy (matematika, fyzika, chemie, biologie, zeměpis) ?



Graf 1: Zájem studentů o přírodní vědy.

Z uvedených odpovědí je zřejmé, že téměř všichni studenti (88 %) (graf 1) mají zájem o přírodní vědy. Ostatní studenti preferují jiné než přírodovědné zaměření.

2) Která z uvedených přírodních věd je ti nejbližší?

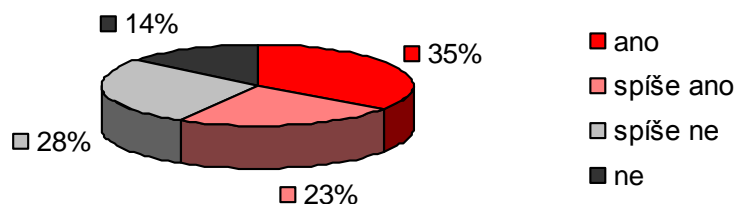


Graf 2: Oblíbenost přírodních věd.

Největší zájem, jak uvedla více než čtvrtina studentů (26%), je z nabízených přírodních věd o chemii. Musíme ovšem upozornit na skutečnost, že všichni studenti Střední školy logistiky a

chemie (19%) uvedlo právě chemii, což je jejich hlavním předmětem zájmu. V žebříčku oblíbenosti následuje matematika (25%), biologie (21%) a zeměpis (21%). Nejméně oblíbeným předmětem je fyzika (7%) (graf 2).

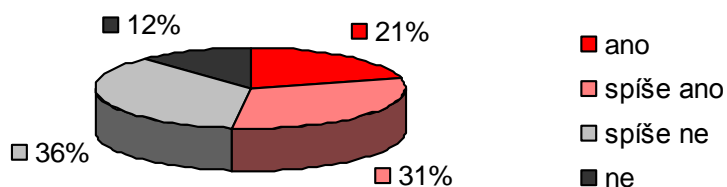
3) Považuješ chemii za atraktivní vědní disciplínu?



Graf 3: Atraktivita chemie.

O chemii, jako atraktivní vědní disciplíně, smýšlí více než polovina (58%) dotázaných studentů (graf 3).

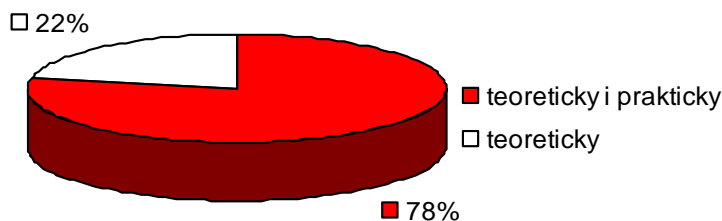
4) Je výuka chemie na Tvé střední škole zajímavá?



Graf 4: Zajímavost výuky chemie

Více než polovina (52%) dotázaných uvedla, že je výuka chemie na jejich střední škole dokáže zaujmout (graf 4), u ostatních studentů nevzbuzuje zájem.

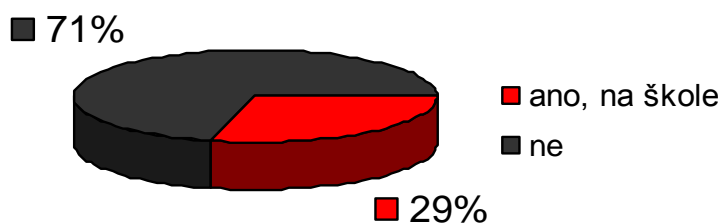
5) Jak probíhá výuka chemie na Tvé škole?



Graf 5: Forma výuky chemie.

Pouhý výklad učitele jako formu výuku chemie uvedla necelá čtvrtina dotázaných (22%) (graf 5), ostatní studenti se setkávají vedle teorie i s praktickou výukou (semináře, laboratorní cvičení).

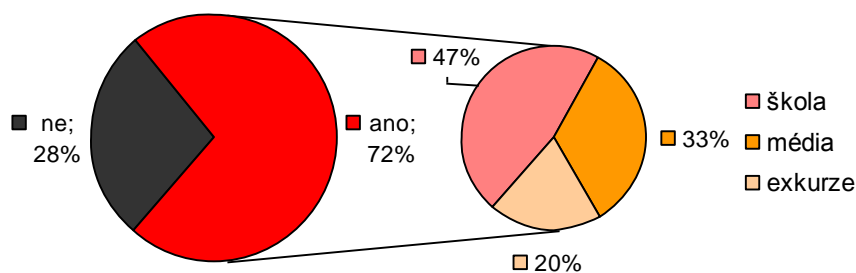
6) Setkal/Setkala ses již s pojmem „koloidní soustava/koloidní chemie“? Pokud ano, kde?



Graf 6: Znalost pojmu koloidní soustava/koloidní chemie.

Téměř tři čtvrtiny dotázaných (71%) se s pojmem koloidní soustava/koloidní chemie ještě neseťkala. Ostatní studenti znají pojmem koloidní soustava/koloidní chemii ze školy.

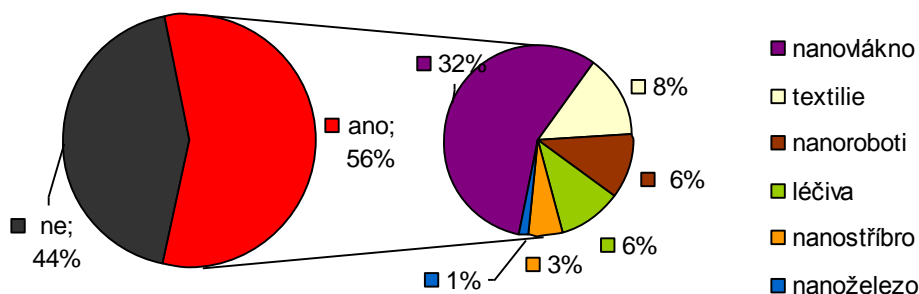
7) Setkal/Setkala ses již s pojmem „nano-“ (např. nanotechnologie, nanosoustava, nanočástice)? Pokud ano, kde?



Graf 7: Znalost a „místo setkání“ s pojmem „nano“.

28% z dotázaných studentů nezná pojem „nano“ (nanotechnologie, nanosoustava, nanočástice). Ze 72% studentů, kteří znají pojem „nano“ (graf 7) se s ním nejčastěji setkali ve škole (47%). Zbývající dotázaní znají „nano“ z médií (33%) či z exkurzí (20%).

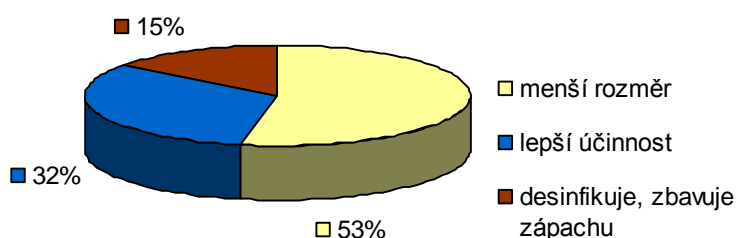
8) Uveď jeden z nanoproduktů, který znáš.



Graf 8: Znalost a název nanoproduktu.

Na otázku o znalosti názvu jednoho nanoproduktu nedokázala odpovědět téměř polovina dotázaných studentů (44%). Studenti, kteří znali odpověď (56%) (graf 8), odpovídali v sestupném pořadí počtu odpovědí takto: nanovlákno (57%), textilie (14%), léčiva (10%), nanorobot (10%), nanostříbro (5%), nanoželezo (2%).

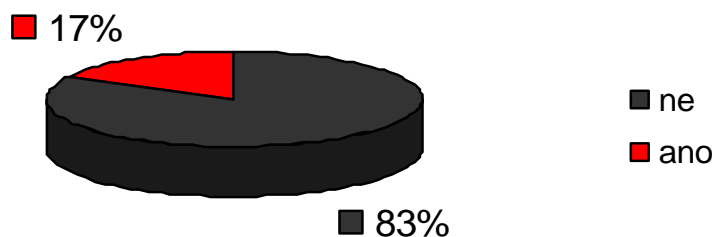
9) Má tento nanoprodukt nějaké jiné vlastnosti než obdobný produkt bez „nano“? Pokud ano, jaké?



Graf 9: Rozdíl mezi nanoproduktem a produktem bez „nano“.

Jakými vlastnostmi se liší nanoprodukt od produktu bez „nano“ odpovědělo 34% studentů, z nichž 53% uvádí rozdílem ve velikosti, 32% v lepší účinnosti a 15% v odstranění zápachu a dezinfekci (graf 9).

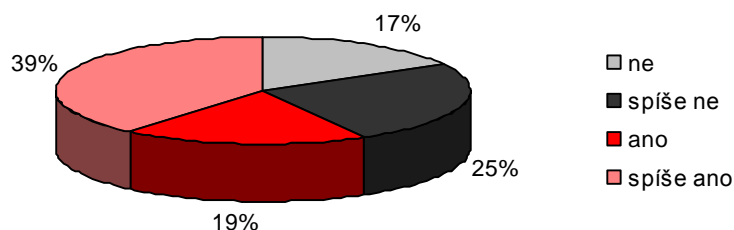
10) Setkal ses s nanochemií/koloidní chemií v rámci výuky chemie na Tvé škole?



Graf 10: Znalost pojmu nanochemie/koloidní chemie ze školní výuky.

V rámci výuky o koloidní chemii ani nanochemii neslyšela převážná část dotázaných (83%) (graf 10). Ostatní studenti se s těmito pojmy již setkali.

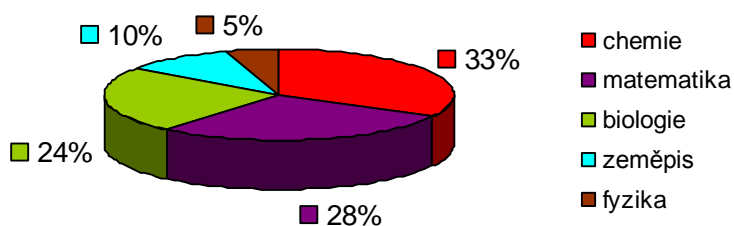
11) Zajímala by Tě problematika nanosvět, kdyby byla součástí výuky chemie na Tvé škole?



Graf 11: Zájem studentů o rozšíření učiva chemie o nanosvět.

Problematiku nanosvět by ve výuce chemie uvítala více než polovina studentů (58%) středních škol (graf 11).

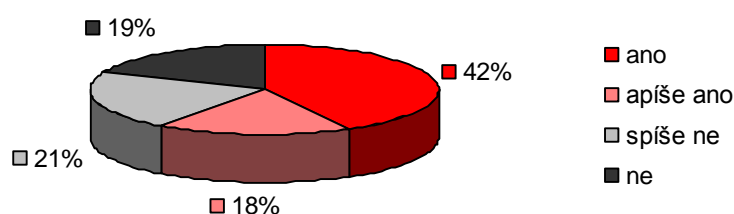
12) Budeš maturovat alespoň z jednoho přírodovědného předmětu? Pokud ano, ze kterého/ze kterých?



Graf 12: Přírodovědný maturitní předmět.

Všichni dotázaní studenti budou maturovat alespoň z jednoho přírodovědného předmětu. Nejvíce (33%) zvažovaným přírodovědným maturitním předmětem je chemie díky 19% studentů ze Střední školy logistiky a chemie, pro které je tento maturitní předmět samozřejmostí. V sestupném pořadí volili studenti maturitní přírodovědné předměty následovně: matematika (28%), biologie (24%), zeměpis (10%), fyzika (5%) (graf. 12).

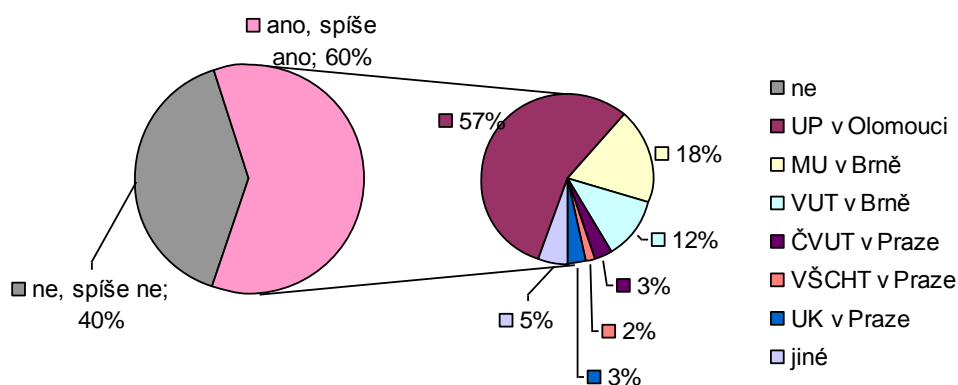
13) Uvažuješ o studiu přírodovědných oborů na vysoké škole?



Graf 13: Úvaha o nadcházejícím studium přírodovědných oborů na VŠ.

Více než polovina studentů (60%) smýšlí o studiu přírodovědných předmětů na VŠ (graf 13), ostatní studenti nejeví o tyto vědní obory zájem.

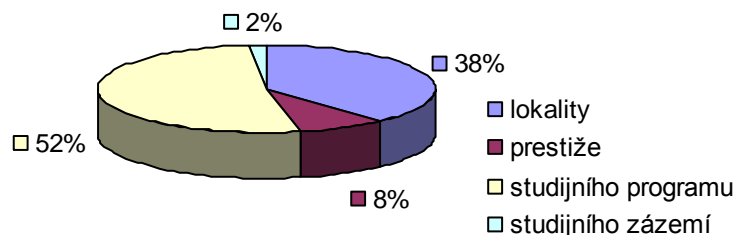
14) Pokud chceš pokračovat ve studiu přírodních věd na vysoké škole, máš představu, kde bys chtěl/chtěla studovat?



Graf 14: Výběr vysokých škol u zájemců o studium přírodovědných oborů.

Z 60% studentů, kteří uvažují o studiu přírodovědných předmětů na VŠ, je největší zájem o tyto vysoké školy (uváděné v sestupném pořadí): UP v Olomouci (57%), MU v Brně (18%), VUT v Brně (12%), ČVUT v Praze (3%), UK v Praze (3%), VŠCHT v Praze (2%) (graf 14). Možnost jiné odpovědi zvolilo 5% studentů, kteří zvažují studium na Univerzitě Pardubice a VŠB – TU v Ostravě.

15) Vysokou školu jsi vybíral podle:



Graf 15: Výběr vysokých škol u zájemců o studium přírodovědných oborů.

Ti studenti, kteří uvažují o studiu přírodovědných oborů, si vybírají vysoké školy nejčastěji podle studijního programu (52%), lokality (38%), prestiže školy (8%) a studijního zázemí (2%) (graf 15).

2.3.4 Shrnutí výsledků dotazníku pro SŠ

Ze získaných výsledků dotazníkového šetření na střední škole a gymnáziích vyplívá obecně kladný vztah studentů k přírodovědným vědám. Ačkoliv studenti těchto škol považují chemii za atraktivní vědní disciplínu, mají ostatní přírodovědné předměty ve větší oblibě. Důvodem tohoto zjištění může být forma výuky chemie, s jakou se studenti na těchto školách setkávají. U tří čtvrtin studentů se jedná o teoretický výklad a praktickou část. U zbylé čtvrtiny se ovšem jedná o pouhý teoretický výklad, z čehož pravděpodobně vyplívá snížená obliba tohoto předmětu. Jak bylo řečeno, předmět chemie na středních školách nepatří mezi oblíbené předměty, což může být zapříčiněno i přístupem vyučujících pedagogů. Učitelé chemie by se při výkladu měli zaměřit na kombinaci teorie s praxí a co možná nejvíce rozšířit výuku o pokusy a názorné ukázky i mimo laboratorní cvičení a zaujmout studenty.

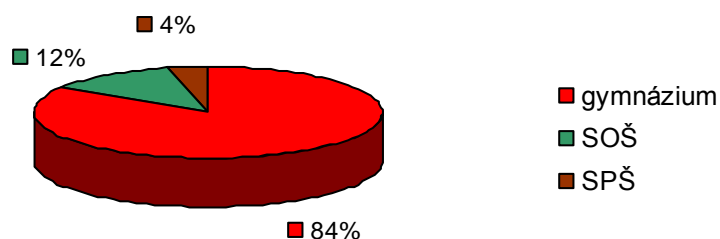
Všeobecně převládá u studentů znalost „nano“ pojmu nad pojmem koloidní chemie a to v poměru 3:1. S pojmem „nano“ se dotázaní studenti setkali ve škole, v médiích či na exkurzích. Nanovlákná, textilie, nanoroboti, léčiva jsou produkty, které si studenti vybaví pod pojmem nanoprodukt. Jak studenti uvádí, jejich vlastnosti tkví v menším rozměru, lepší účinnosti či desinfekci oproti obdobným produktům bez nano. Téměř polovina dotázaných studentů má zájem o zařazení problematiky nanosvěta do výuky chemie. Záleží tedy na samotných vyučujících, aby se neustále vzdělávali nejen ve svých oborech. Ředitelé škol by svým zaměstnancům měli zajistit s určitou pravidelností možnost rozvoje aprobačních předmětů formou přednášek, seminářů, školení, exkurzí, nákupem vědeckých knih a časopisů. Ti studenti, kteří mají zájem o studium vysoké školy, z více než poloviny uvažují

o přírodovědných oborech. Studenti si vysokou školu vybírají nejčastěji podle studijního programu.

2.3.5 Vyhodnocení vysokoškolských dotazníků

Následující část analyzuje výsledky na základě odpovědí 50 studentů 1. ročníků bakalářského studia chemických oborů na jednotlivé otázky dotazníku, viz dotazník VŠ (Příloha 2). Pro přehlednost byla zvolena grafická forma. Výsledky výzkumu jsem uvedla v procentech (relativní četnost). Získané výsledky byly znázorněny graficky s popisem.

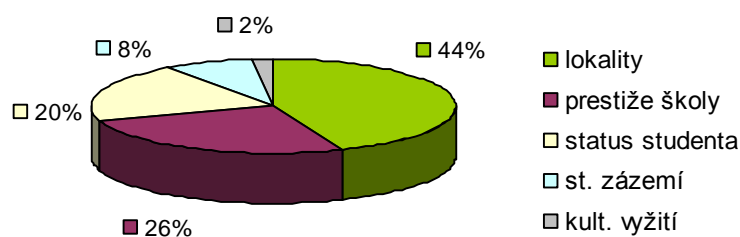
1) Jakou střední školu jsi studoval/studovala?



Graf 16: Studium na střední škole.

Většina studentů (84%) studujících 1. ročník bakalářského studia (chemické obory) na Univerzitě Palackého v Olomouci vystudovala gymnázium, ostatní studenti střední odbornou školu a střední průmyslovou školu (16%).

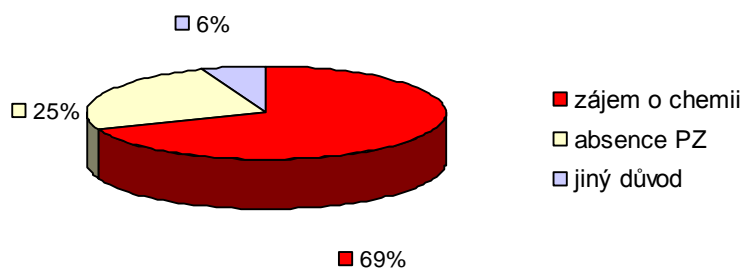
2) Vysokou školu jsi vybíral/vybírala podle?



Graf 17: Aspekty při výběru vysoké školy.

Studenti si vysokou školu vybírali nejčastěji podle lokality (44%), prestiže školy (26%), pro zachování statusu studenta (20%), studijního zázemí (8%) a kulturního vyžití (2%) (graf 17).

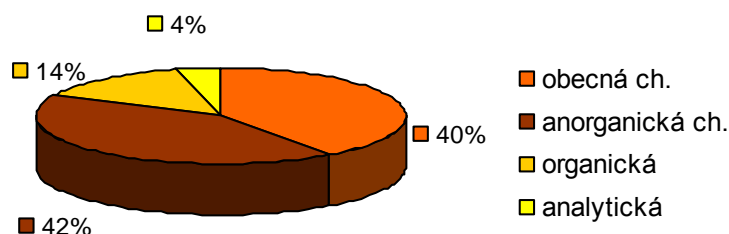
3) Co Tě vedlo ke studiu chemie?



Graf 18: Důvod studia chemie.

Více než dvě třetiny dotázaných studentů (69%) vedl ke studiu zájem o chemii. Necelá třetina (25%) navštěvuje 1. ročníky chemických oborů díky absenci přijímacích zkoušek. Možnost jiné odpovědi využilo 6% dotázaných (graf 18), pro které je smyslem studia chemie lepší uplatnění nebo nepřijetí na jinou VŠ. Možnost d) rodiče neuvedl nikdo.

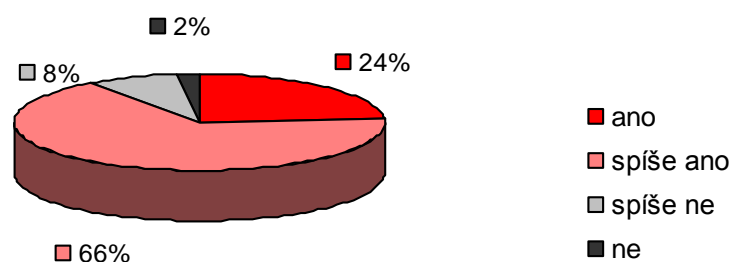
4) Který z uvedených oborů chemie je Ti nejbližší?



Graf 19: Obliba chemických oborů.

Většině studentů je nejbližší anorganická chemie (42%) a obecná chemie (40%), následuje organická a analytická chemie (graf 19). Možnost odpovědi d), tedy fyzikální chemie, nebyla využita.

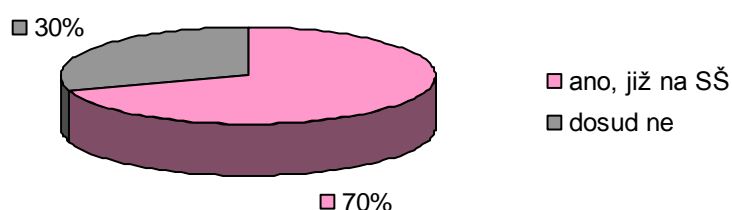
5) Probíhá výuka chemie podle Tvých představ?



Graf 20: Spokojenost s dosavadní výukou chemie.

Dosavadní výuka chemie na vysoké škole probíhá či spíše probíhá u 90% studentů podle jejich představ (graf 20). Ostatní studenti nejsou nebo spíše nejsou s výukou chemie spokojeni.

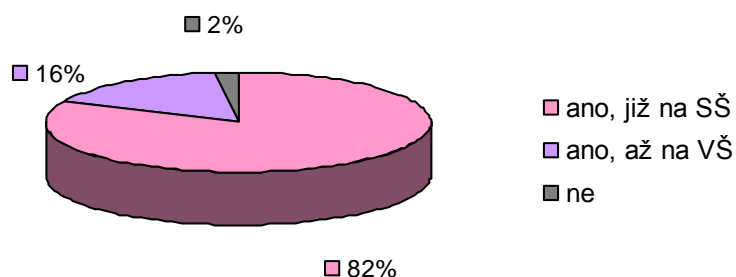
6) Setkal/Setkala ses s pojmem „koloidní soustava/koloidní chemie“?



Graf 21: Znalost pojmu koloidní soustava/koloidní chemie.

Pojem koloidní soustava/koloidní chemie zná 70% studentů již ze střední školy. S těmito pojmy se dosud nesešlo 30% dotázaných (graf 21). Žádný z respondentů nevyužil možnost odpovědi b) - ano, na VŠ.

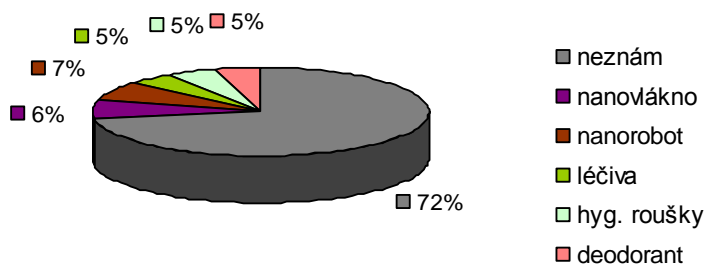
7) Setkal/Setkala ses s pojmem „nano-“ (např. nanotechnologie, nanosoustava, nanočástice)?



Graf 22: Znalost pojmu „nano“.

Většina studentů (82%) zná pojem „nano“ (např. nanotechnologie, nanosoustava, nanočástice) ze střední školy, 16% se s pojmem seznámilo na vysoké škole. Zbývající 2% studentů se s tímto pojmem ještě nesešlo (graf 22).

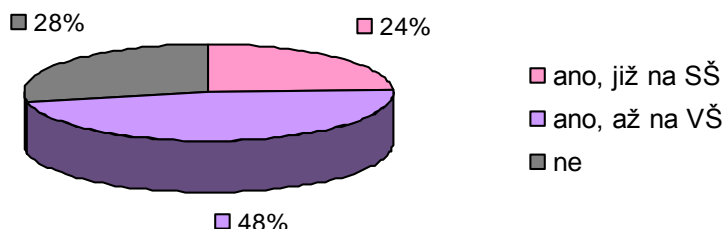
8) Uveď jeden z nanoproduktů, který znáš.



Graf 23: Znalost nanoproduktu.

Pouze 28% z dotazovaných respondentů uvedlo, že má povědomí o nějakém „nanoproduktu“. Studenti uváděli jej v pořadí četnosti následovně: nanovlákno (6%), nanorobot (7%), léčiva (5%), hygienická rouška (5%), deodorant (5%) (graf 23). Pro většinu studentů 72% zůstávají nanoprodukty neznámé (72%).

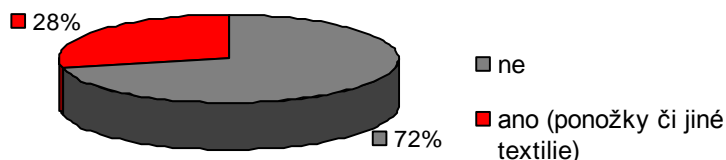
9) Setkal/Setkala ses s pojmem nanočástice stříbra?



Graf 24: Znalost pojmu nanočástice stříbra.

Téměř polovina studentů (48%) zná pojem nanočástice stříbra z vysoké školy, 24% studentů již ze školy střední (graf 24). Více než čtvrtina studentů se s pojmem nanočástice stříbra nesešla (28%).

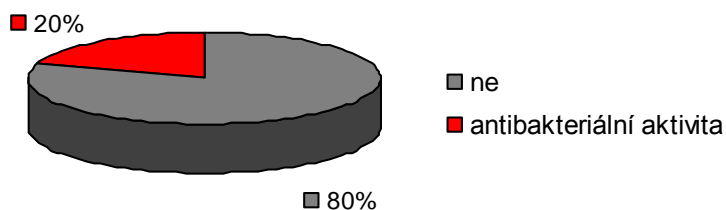
10) Znáš nějaké výrobky, ve kterých se využívá specifických vlastností nanočástic stříbra? Pokud ano, jaké?



Graf 25. Znalost výrobku s využitím specifických vlastností nanočástic stříbra.

Pouze 28% dotázaných Jako jediný výrobek, který využívá specifických vlastností nanočástic stříbra, uváděli studenti ponožky či jiné textilie (28%) (graf 25). Zbývající studenti žádný takový produkt nevedli.

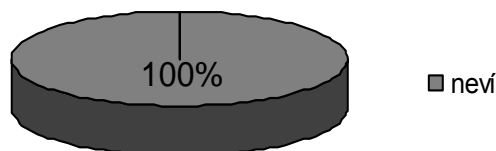
11) Víš, kterými vlastnostmi jsou „výjimečné“ nanočástice stříbra?



Graf 26. „Výjimečné“ vlastnosti nanočástic stříbra.

Jako „výjimečnou“ vlastnost nanočástic stříbra uváděli studenti antibakteriální aktivitu (20%). Zbývajících 80% dotázaných vlastnosti nanočástic stříbra nezná (graf 26).

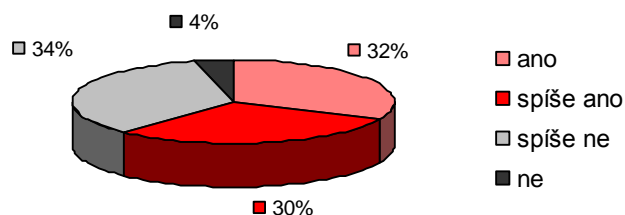
12) Pokud víš nějaké bližší informace o nanočásticích stříbra, pokus se je vypsát.



Graf 27: Bližší informace o nanočásticích stříbra.

U otázky č. 12 (s volnou odpovědí), týkající se znalosti nějakých bližších informací k nanočásticím stříbra, nebyla uvedena žádná odpověď (graf 27).

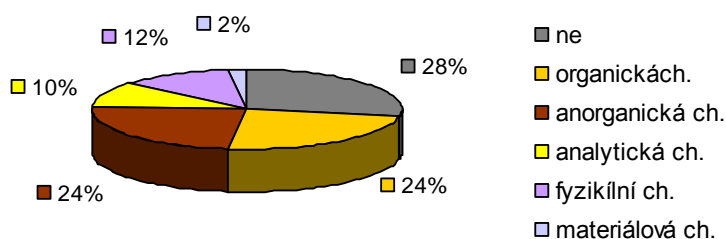
13) Uvítal/uvítala bys téma nanočástic v laboratorním cvičení bakalářského studia?



Graf 28: Zájem o úlohy z oblasti nanotechnologie v laboratorním cvičení bakalářského studia. Více než polovina studentů (62%) by uvítala nebo spíše uvítala v laboratorním cvičení

bakalářského studia úlohu z oblasti nanotechnologií. Ostatních 38% studentů by o tento typ laboratorních úloh nemělo nebo spíše nemělo zájem (graf 28).

14) Měl bys zájem pokračovat v magisterském studiu v oboru chemie?



Graf 29: Zájem o pokračování magisterského studia v rámci chemických oborů.

Více než dvě třetiny studentů (72%) by chtělo pokračovat ve studiu chemických oborů v následujícím pořadí: anorganická (24%), organická (24%), fyzikální (12%), analytická (10%) a materiálová chemie (2%). Zbývající dotázaní studenti o dalším studiu chemických oborů neuvažují (graf 29).

2.3.6 Shrnutí výsledků dotazníku pro VŠ

Na Univerzitě Palackého v Olomouci studují chemické obory nejčastěji absolventi gymnázií. Lokalita a prestiž školy jsou rozhodujícími kritérii při výběru vysoké školy. Mezi studenty bakalářského studia je největší zájem o anorganickou a obecnou chemii. Dosavadní výuka chemie probíhá u naprosté většiny dotázaných dle jejich představ.

Pojem „nano“ znají téměř všichni dotázaní studenti, a to ze střední či vysoké školy. Pojem koloidní chemie již tak známý není. Pouze necelá čtvrtina všech studentů dokázala uvést nějaký nanoprodukt. Nejčastěji znají studenti nanoroboty, nanovlákná, léčiva, hygienické roušky či deodoranty obsahující nanočástice. Nanočástice stříbra nezná více než čtvrtina studentů. Ostatní se s tímto pojmem setkali nejčastěji až na vysoké škole, v menší míře již na škole střední. Nanoponožky či jiné textilie jsou jediné produkty obsahující nanočástice stříbra, které jsou studenti schopni vyjmenovat. Necelá čtvrtina všech dotázaných studentů věděla, že jejich výjimečnost tkví v antibakteriální aktivitě nanočástic. Další specifické vlastnosti nanočástic stříbra nedovedl uvést žádný z dotázaných respondentů. Nadpoloviční většina studentů bakalářského studia by uvítala téma *Nanočástice* v laboratorním cvičení. A právě zjištění, že studenti jeví zájem o praktické úlohy v rámci laboratorních cvičení bakalářského studia, vedlo k vypracování experimentálních úloh vhodných pro dané téma.

4 Experimentální část

Návody k chemickým experimentům z „nano“ oblasti jsou navrženy tak, aby se mohly stát součástí školních studijních programů na středních školách a mohly být zároveň součástí bakalářských studijních programů na vysokých školách. Zatímco u středoškolských studentů by se jednalo spíše o voluntativní začlenění těchto experimentů do výuky, u bakalářských studijních programů by se mohlo jednat o začlenění obligatorní v rámci pokročilých laboratorních cvičení. Tomuto faktu také odpovídá experimentální náročnost navržených experimentů, pomůcky, chemikálie a jejich koncentrace. Právě použité chemikálie a jejich navržené koncentrace splňují podmínku „netoxicity“, která je klíčová pro začlenění navržených experimentů do výuky na středních školách. Zároveň byl kladen důraz na možnost realizace experimentů i se základním laboratorním náčiním, které je většinou dostupné na středních školách. Úlohy byly také navrženy s ohledem na jejich bezproblémovou realizaci v rámci časového vymezení chemického praktika či pokročilého laboratorního cvičení.

4.1 Chemikálie, přístroje a zařízení

Při experimentech byly použity následující chemikálie: dusičnan stříbrný (Tanda, p.a.), amoniak (Penta, 25% vodný roztok, p. a.), hydroxid sodný (Lachema, p.a.). K redukci reakční směsi byly použity redukční látky D - glukosa (bezvodá) (Sigma, p.a.), D - fruktosa (Lachema, p.a.), D(+) – galaktosa (Fluka), D(+) – maltosa monohydrát (Sigma, p.a.), tetrahydridoboritan sodný (Aldrich, p.a.). K modifikaci koloidních částic stříbra byly použity následující povrchově aktivní látky: mýdlo Jelen (Jelen), dodecylsulfát sodný (SDS) (Fluka, p.a.), polyethylenglykol (PEG 1500) (Fluka, p.a.). Ke studiu agregační stability modifikovaných koloidně - disperzních soustav byl použit poly(diallyldimethylammonium) chlorid (PDDA) (Aldrich, 20% vodný roztok, p. a.) a chlorid sodný (Lachema, p.a.). Všechny uvedené látky byly použity bez dalších úprav. Na přípravu všech vzorků byla užitá destilovaná voda, použitý materiál byl po každém měření promyt směsí destilované vody a kyseliny dusičné v poměru 1:1 a následně důkladně omyt destilovanou vodou.

Měření velikosti vznikajících nanočástic stříbra ve vodné disperzi včetně jejich polydisperzity bylo prováděno na přístroji Zeta Potencial Analyzer Zeta Plus (Brookhaven

Instr. Co., USA) pracujícím na principu dynamického rozptylu světla (DLS). Všechny hodnoty velikosti částic stříbra uvedené v této práci jsou průměry tří jednodominutových měření získaných metodou DLS. Další charakteristika připravených nanočástic stříbra, měření absorpčních spekter, byla prováděna metodou UV/VIS spektroskopie na spektrofotometru Specol S600 (Analytic Jena, Německo). Pro míchání roztoků byla použita elektromagnetická míchačka, pro dávkování reakčních složek automatické pipety. Nicméně míchání elektromagnetickou míchačkou a pipetování automatickou pipetou mohou být nahrazeny, bez jakýchkoliv zásadních dopadů, mícháním skleněnou tyčinkou a skleněnými pipetami.

4.2 Příprava nanočástic stříbra

Jednoduchou metodu přípravy nanočástic stříbra, vhodnou i pro středoškolské studenty, představuje modifikace Tollensovy reakce, kterou je na středních školách demonstrována přítomnost redukujících sacharidů za vzniku stříbrného zrcátka.⁵ Podstatou je redukce prekurzoru v podobě dusičnanu stříbrného redukujícím sacharidem.⁴ Vhodným nastavením reakčních podmínek lze ale místo makroskopického stříbra připravit stříbro nanoskopické.

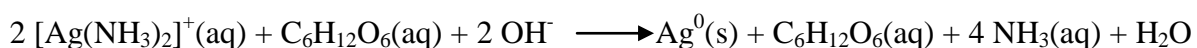
Nejdříve je připraven komplexní kation $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ prostým smícháním roztoků AgNO_3 a NH_3 . Následně dojde k úpravě pH přidáním roztoku NaOH do reakční směsi. Posledním krokem syntézy vodné disperze nanočástic stříbra je přidání roztoku sacharidu. Nanočástic stříbra připravené redukcí diaminstříbrného komplexu sacharidy lze sledovat nepřímou metodou pozorování založenou na rozptylu světla. Nanočástice stříbra (kovové nanočástice) jsou detegovatelné na základě charakteristické absorpce světla. K té u nanočástic stříbra dochází v oblasti vlnových délek 400 – 420 nm,⁵⁶ a proto lze pozorovat i pouhým okem charakteristické žlutooranžové až žlutošedé zbarvení jejich disperzí. Přítomnost nanočástic v disperzi ale můžeme potvrdit již na základě zmíněného rozptylu světla za použití laserového ukazovátka. Intenzivní záření laseru je na částicích rozptýleno a pouhým okem tak můžeme, v kolmém směru k procházejícímu paprsku, pozorovat světelný kužel procházející disperzí tzv. Tyndallův kužel.²³ Jako referenční vzorek lze použít destilovanou vodu. Vzhledem k tomu, že destilovaná voda neobsahuje částice, které by dokázaly rozptýlit dopadající laserové záření, nelze průchod laserového paprsku tímto homogenním prostředím pozorovat. V případě studentů vysokých škol dochází k charakterizaci připravených nanočástic stříbra pomocí spektrofotometru a přístroji pracujícím na principu dynamického rozptylu světla (DLS).

4.2.1 Příprava nanočástic stříbra redukcí diaminstříbrného komplexu sacharidy

Pomůcky: lžička, stříčka, váženka, váhy, kádinky (25ml), odměrné baňky, skleněná tyčinka, poloautomatická pipeta (skleněná 5ml pipeta), skleněná tyčinka (magnetická míchačka s míchadlem), laserové ukazovátka, plastové kyvety (pro studenty VŠ - k měření velikosti částic pomocí DLS a UV/VIS)

Chemikálie: (pro přípravu zásobních roztoků) dusičnan stříbrný (AgNO_3 ; $0,005 \text{ mol.dm}^{-3}$), amoniak (NH_3 ; $0,025 \text{ mol.dm}^{-3}$), hydroxid sodný (NaOH ; $0,05 \text{ mol.dm}^{-3}$) a cukry D – glukóza, D – fruktóza, D(+) – galaktóza, D (+) – maltóza ($0,05 \text{ mol.dm}^{-3}$); HNO_3 ; destilovaná voda

Pracovní postup: Příprava nanočástic stříbra vyžaduje několik po sobě jdoucích kroků, jejichž pořadí je nutné dodržet. Nejdříve si připravíme diaminstříbrný kation $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ smícháním 5 ml roztoku AgNO_3 s 5 ml NH_3 . Následuje přidavek 5 ml roztoku NaOH pro úpravu pH reakční směsi. Všechny reakční komponenty dobře promícháme buď pomocí elektromagnetické míchačky a míchadla nebo skleněnou tyčinkou. Posledním krokem je vlastní redukce, která se provede přidavkem 5 ml D – glukózy (rov. 1) (nebo jiného sacharidu) o koncentraci $0,05 \text{ mol.dm}^{-3}$. Přidavek musí být proveden velmi rychle. Následně je reakční směs intenzivně míchána po dobu přibližně 2 minut. Příprava nanočástic stříbra je dokončena v okamžiku, kdy vzniklá disperze nemění zbarvení.



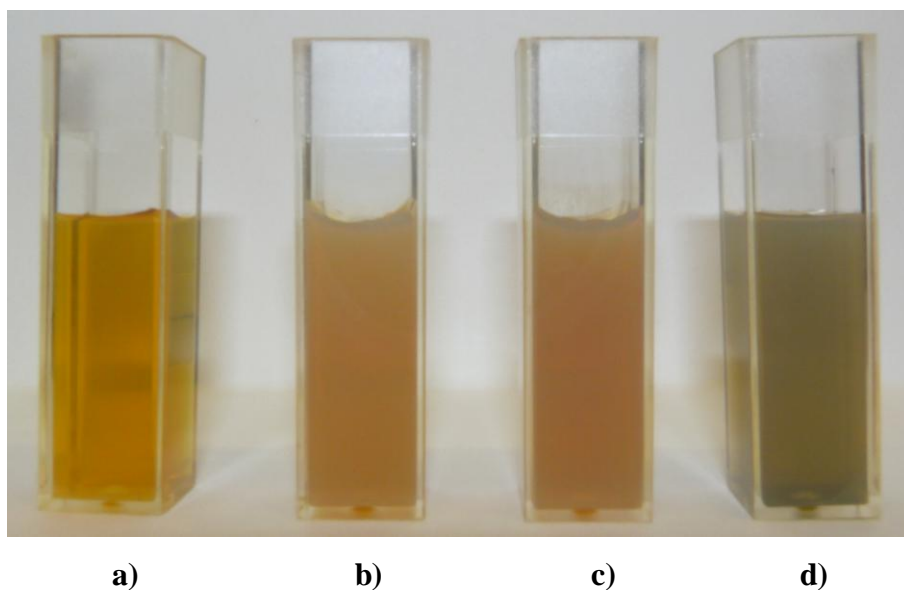
Rov. 1: Příprava nanočástic stříbra

Pozorování: Přibližně po pár sekundách až minutě, dle použitého cukru, od jeho přidavku začne roztok měnit svoji barvu od žluté přes oranžovou až oranžovošedou (obr. 15) vyredukovanými nanočásticemi stříbra (dle použitého cukru). O jejich přítomnosti se lze přesvědčit pomocí laserového ukazovátka. Světelný paprsek je rozptýlen na částicích stříbra a při jeho pozorování pod úhlem 90° se jeví jako kužel, který je označován jako Tydallův (obr. 16). Při tomto úkolu mohou studenti pracovat po skupinkách, kdy každá skupinka

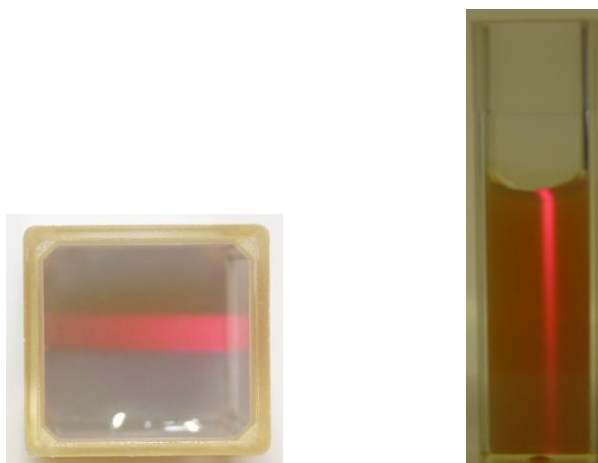
připravuje nanočástice stříbra pomocí různých cukrů. Úlohu je vhodné 3x zopakovat pro kontrolu přesnosti při pracovním postupu.

Při porovnání jednotlivých vzorků nanočástic stříbra, lze přibližně určit jejich velikost dle barev připravených disperzí (tab. 6). Přesné výsledky lze ale získat pomocí DLS měření a „nano“ charakter lze potvrdit také pomocí UV/VIS spekter, kdy lze pozorovat absorpční maximum v oblasti kolem 400 – 420 nm. Obecně lze ale konstatovat, že vzorky naprosto transparentní a žluto-oranžového zabarvení obsahují částice menší než vzorky tmavšího zabarvení (tj. oranžové, šedé, hnědé, černé) či se jedná o vzorky obsahující částice uniformního charakteru. Se zvyšující se velikostí částic dochází také k posunu absorpčního maxima nebo-li rozšíření absorpčního píku) a k poklesu jeho intenzity. Tato část úlohy je ale proveditelná převážně ve vysokoškolském prostředí, protože středoškolské laboratoře většinou nedisponují UV/VIS spektrofotometrem. Pro potřeby tohoto měření je navíc nutné měřený vzorek 10x zředit.

Navazujícím úkolem po přípravě několika vzorků nanočástic stříbra je sledování jejich časové stability. Tuto vlastnost lze vizuálně sledovat na základě chování jednotlivých disperzí v 30 minutovém intervalu. Charakterizaci „ustátých vzorků“ lze opakovat pomocí DLS měření po uplynutí 30 minut.



Obr. 15: Zbarvení: **a)** maltózového, **b)** glukózového, **c)** fruktózového, **d)** galaktózového koloidu; měřeno po 30 minutách.



Obr. 16: Pozorování Tyndallova kužele v glukózovém koloidu.

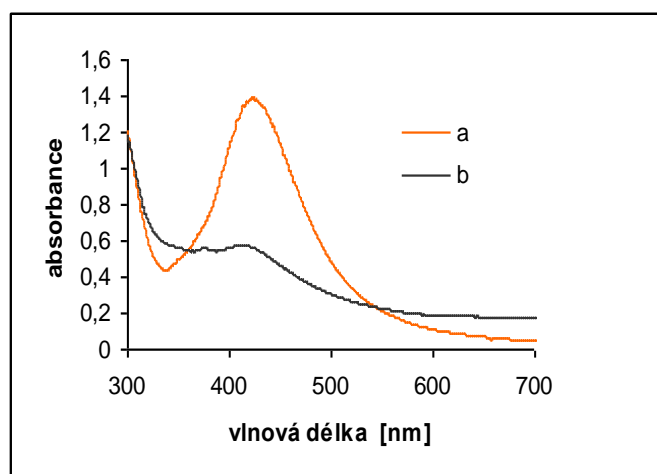
Metodické poznámky:

- Dusičnan stříbrný, hydroxid sodný, vodný roztok amoniaku, kyselina dusičná patří do Seznamu závažně klasifikovaných nebezpečných chemických látek a nesmí s nimi pracovat studenti do 15 let. Při práci s nimi dbát zvýšené opatrnosti.
- Použití digestoře a rukavic při práci s kyselinou dusičnou a vodným roztokem amoniaku.
- Roztoky, obsahující stříbro, vylévat do určených nádob. Likvidaci těžkých kovů zajistí odborná firma.
- Při uchování zásobních roztoků je vhodný popis lihovým fixem, zásobní roztok AgNO_3 obalit alobalem.

Měření: Při přípravě nanočástic stříbra modifikovanou Tollensovou metodou za použití čtyř redukujících cukrů jsem užila k míchání jak elektromagnetické míchačky tak skleněné tyčinky. Při porovnávání velikosti částic, na přístroji Zeta Potencial Analyzer Zeta Plus, u těchto dvou míchacích postupů nebyl shledán prakticky žádný rozdíl. U každého připraveného vzorku došlo ke změření velikosti částic, polydisperzity (metodou DLS) a proměření absorpčních spekter (obr. 17) 10x naředěného vzorku.

Tab. 6: Porovnání velikosti a polydisperzity částic stříbra připravených redukcí čtyřmi různými cukry vizuálně a metodou DLS; těsně po redukci a 30 minut po redukci.

Cukr	Barva roztoku / velikost částic [nm]/ polydisperzita	Barva roztoku po 30 minutách / velikost částic [nm] / Polydisperzita
Maltóza	žlutá čirá /39,6 / 0,028	sv. oranžová čirá /43,4 /0,095
Glukóza	oranžová zakalená /56,9 / 0,228	oranžová zakalená /56,9 / 0,243
Fruktóza	oranžová zakalená /74,8 / 0,209	oranžová zakalená /75,4 / 0,199
Galaktóza	oranžová zakalená /67,2 / 0,181	zelenošedá /105,2 / 0,317



Obr. 17: Absorpční UV/VIS spektra koloidních částic stříbra připravených redukcí galaktózou měřená a) hned, b) po 30 minutách.

4.2.2 Příprava nanočástic stříbra redukcí tetrahydridoboritanem sodným

Příprava borhydridovou metodou probíhala v koncentračním poměru $4,5 \text{ AgNO}_3 : 1 \text{ NaBH}_4$ ⁵² za laboratorní teploty i za chladu. Metoda je vzhledem k náročnosti na přístrojovou techniku vhodná pro bakalářské studium.

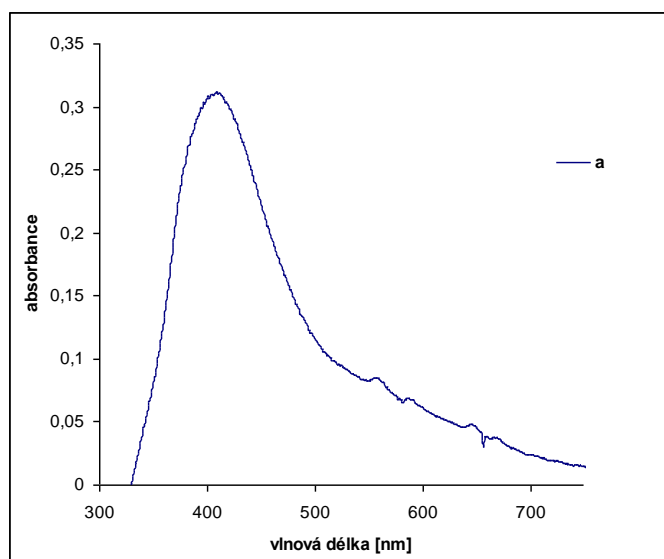
Pomůcky: špachtle, stříčka, váženka, váhy, kádinky (25ml), odměrné baňky, poloautomatická pipeta, magnetická míchačka s míchadlem, plastové kyvety, ledová lázeň

Chemikálie: (pro přípravu zásobních roztoků) dusičnan stříbrný (AgNO_3 ; $0,002 \text{ mol.dm}^{-3}$), tetrahydridoboritan sodný (NaBH_4 ; $0,00045 \text{ mol.dm}^{-3}$), hydroxidu sodného (NaOH ; $0,015 \text{ mol.dm}^{-3}$); HNO_3 , destilovaná voda, led

Pracovní postup: Z připravených zásobních roztoků odpipetujeme 5 ml AgNO_3 , který v kádince umístíme na elektromagnetickou míchačku, následně připipetujeme 5 ml NaOH a nakonec 5 ml NaBH_4 za zvýšení intenzity otáček po dobu přibližně 2 minut. Stejný postup se opakuje za chlazení na vodní lázni cca $2 \text{ }^\circ\text{C}$. Následuje porovnání velikostí částic (DLS) a proměření UV/VIS spekter (obr. 18).

Pozorování: V okamžiku přidavku 5 ml NaBH_4 k reakční směsi dochází ke změně zbarvení, vlivem vyredukovaných nanočástic stříbra, na světle žlutou barvu směsi.

Měření: Při přípravě nanočástic stříbra borohydridovou metodou podle postupu dle Shirlcliffe N.⁵² mají vznikat částice o velikosti kolem 5 nm až 20 nm v závislosti na teplotě. Absorpční maximum takto připravených částic by se má nacházet v rozmezí kratších vlnových délek (vzhledem k absorpčnímu maximu nanočástic stříbra připravených modifikovanou Tollensovou metodou) okolo 390 - 400 nm – charakteristické pro neagregované nanočástice stříbra. Mnou připravené nanočástice dosahovaly velikosti v rozmezí 36 nm až 60 nm při reakci za chladu a 63 nm až 90 nm za pokojové teploty. Požadované velikosti nebylo dosaženo ani změnou poměru či pořadím přidávaných reagentů.

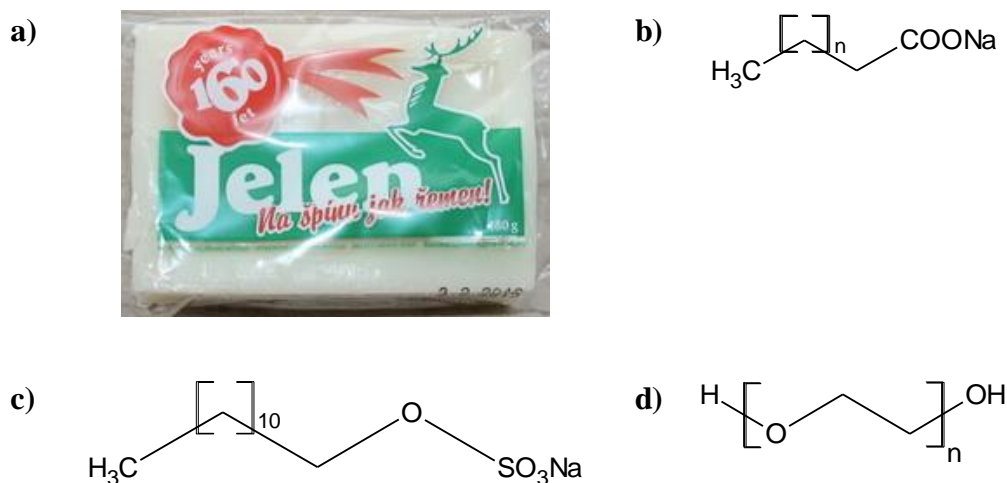


Obr. 18: a) Absorpční UV/VIS spektrum nanočástic stříbra připravených redukcí NaBH_4 .

4.3 Stabilizace nanočástic stříbra

Studium stability nanočástic stříbra má zásadní vliv na zachování specifických vlastností spjatých s jejich velikostí. Právě přechod nanometrových částic v mikrometrové vede ke ztrátě unikátních vlastností. Proto je v rámci mnoha studií zájem o zvýšení agregátní stability těchto připravovaných látek. Za účelem stabilizace jsou používány nejen povrchově aktivní látky, ale i syntetické polymery a přírodní látky.

V případě povrchové modifikace nanočástic stříbra byly do systému přidávány tenzidy a polymerní látka, využívané v praxi za účelem stabilizace koloidních disperzí. Jako modifikátory nanočástic stříbra byly použity povrchově aktivní látky (PAL) ve formě mýdlového roztoku (soli karboxylových kyselin, anionický tenzid), dodecyl sulfát sodný (SDS, alkylsulfát, anionický tenzid) a polymerní látka polyethylenglykol (PEG 1500) (obr. 19). Modifikace byla prováděna přidávkem stabilizující látky ke koloidu stříbra po redukci diaminstříbrného komplexu, koncentrace použitých povrchově aktivních látek a polymerní látky v reakčním systému byla 1 % (w/w).



Obr. 19: a) mýdlo Jelen, b) vzorec sodné soli karboxylových kyselin, c) vzorec SDS, d) vzorec PEG

Ke studiu agregátní stability modifikovaných koloidně - disperzních soustav bylo využito účinku elektrolytu chloridu sodného a kationického polyelektrolytu poly(diallyldimethylammonium) chloridu (PDDA), jež účinně destabilizují výchozí disperzi nanočástic stříbra již při velmi nízkých koncentracích v roztoku, což umožňuje provést tyto pokusy za minimálních koncentračních změn původní disperze. Pro sledování agregátní

stability nanočástic stříbra bylo využito kontinuálního přidavku látky, způsobující koagulaci, do stanoveného koloidního systému.

4.3.1 Studium agregační stability koloidně - disperzních soustav roztokem NaCl

Veškerým následujícím úlohám předcházela příprava „základního“ koloidního roztoku stříbra pomocí modifikované Tollensovy metody glukózou. Všechny výchozí látky byly použity v následujících systémových koncentracích (tab. 7). Příprava základního koloidního roztoku stříbra modifikovanou Tollensovou metodou nebude již v následujících úlohách opětovně uváděna.

Tab. 7: Použité koncentrace pro přípravu základního koloidního roztoku stříbra v reakčním systému.

	dusičnan stříbrný	amoniak	hydroxid sodný	D - glukóza
koncentrace [mol.dm⁻³]	$1 \cdot 10^{-3} \text{ mol.dm}^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3} \text{ mol.dm}^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2} \text{ mol.dm}^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2} \text{ mol.dm}^{-3}$

Pomůcky: špachtle, stříčka, váhy, kádinky (25ml), odměrná baňka (50ml), míchačka s míchadýlkem, poloautomatické pipety, plastové kyvety

Chemikálie: 5M NaCl, HNO₃, destilovaná voda

Pracovní postup: Do čtyř připravených kádinek, s právě dokončenou redukcí diaminstříbrného komplexu (25ml), přidáme po 50, 100, 150 a 200 μl 5M NaCl a důkladně promícháme. Následuje proměření velikosti částic, polydisperzity (metoda DLS) a UV/VIS spekter. Po 30 minutách jsou odstáté disperze promíchány na míchačce, opětovně proměřeny jejich parametry, uvedeny do tabulky a porovnány.

Pozorování: Nárůst velikosti částic zapříčiňuje pozorovatelné barevné změny testovaného koloidního systému. Zbarvení glukózového koloidu přechází od původního kalně oranžového přes šedo-oranžový až bezbarvý roztok obsahující černé mikročástice vyredukovaného stříbra pozorovatelného okem. Velikost částic je závislá jak na objemu přidaného 5M NaCl, tak na časových intervalech, ve kterých jsou vzorky měřeny.

Měření: S přidavkem 5M NaCl dochází k nárůstu velikosti částic stříbra, jak dokazuje DLS měření a změna UV/VIS spektra. Pouze po přidavku 50 μ l 5M NaCl není změna velikosti částic hned po zreagování ani po 30 minutovém měření nijak markantní. Množství 200 μ l 5M NaCl disperzi totálně destabilizuje za vzniku půlmikrometrových agregátů, které velmi rychle sedimentujících z původní disperze. Po 30 minutách dosahuje velikost koagulovaných částic téměř mikrometru (tab. 8).

Tab. 8: Změna velikosti koloidních částic stříbra s přidavkem 50, 100, 150 a 200 μ l 5M NaCl měřeno (DLS) po zreagování a po 30 minutách.

V (5M NaCl), μ l	Velikost částic [nm] po reakci / po 30 min
50 μ l	58,3/60,1
100 μ l	78,5/714,9
150 μ l	328,4/744
200 μ l	539,9/988,8

4.3.2 Studium agregační stability modifikovaných koloidně - disperzních soustav mýdlovým roztokem

Pomůcky: špachtle, stříčka, váhy, kádinky (25ml), odměrné baňky (50ml), míchačka s míchadýlkem, automatická pipeta, plastové kyvety

Chemikálie: 5M NaCl, 1% (w/w) mýdlový roztok, HNO₃, destilovaná voda

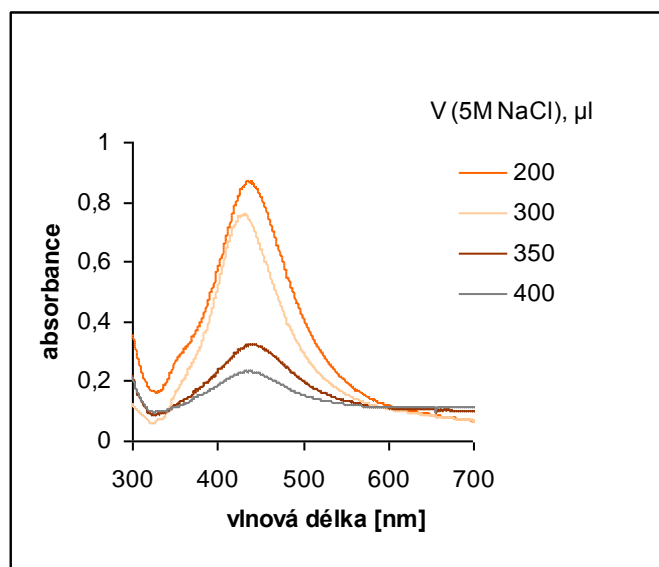
Pracovní postup: Do čtyř kádinek (25ml), s právě dokončenou redukcí diaminstříbného komplexu glukózou, přidáme 1% (w/w) mýdlový roztok za stálého míchání. Následně je k modifikovaným koloidním disperzím připipetováno 200, 300, 350 a 400 μ l 5M NaCl za nepřetržitého míchání po dobu cca 2 minut. Následuje proměření velikosti částic, polydisperzity (metoda DLS) a UV/VIS spekter. Po 30 minutách jsou odstáté disperze promíchány a opět proměřeny jejich parametry. Naměřené hodnoty jsou zapsány do tabulky a

porovnány s výsledky z předchozího úkolu.

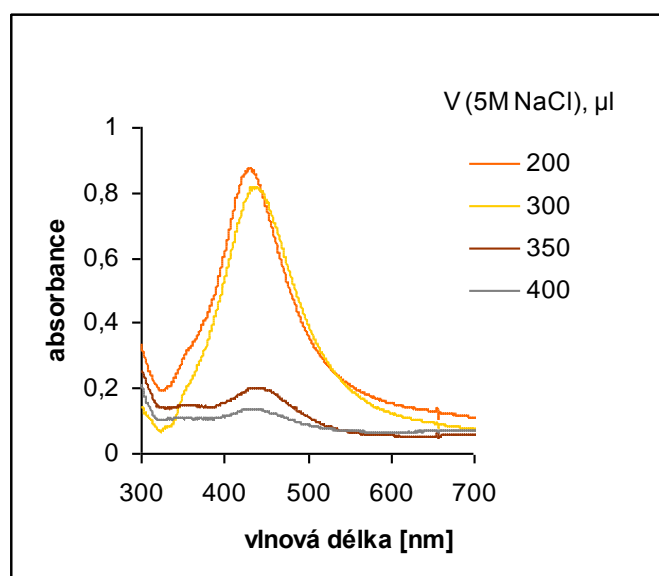
Měření: Stabilita stříbrných částic při přidavku povrchově aktivní látky je značná, jak prokazují výsledky sledování velikosti částic (tab. 9) tak i naměřená UV/VIS spektra těchto disperzí měřených hned (obr. 20) i po 30 minutách (obr. 21) po reakci.

Tab. 9: Změna velikosti stabilizovaných částic stříbra s přidavkem 200, 300, 350 a 400 μl 5M NaCl měřeno (DLS) po přidavku a po 30 minutách. Porovnání s nestabilizovanými částicemi stříbra (viz předchozí úloha).

1% (w/w) mýdlový roztok		Bez stabilizátoru	
V (5M NaCl), μl	velikost částic [nm]	V (5M NaCl), μl	velikost částic [nm]
200 μl	61,2 ...po 30 min... 61,5	50 μl	58,3 ...po 30 min... 60,1
300 μl	64,3 ...po 30 min... 70,0	100 μl	78,5 ...po 30 min... 714,9
350 μl	117,0 ...po 30 min... 216,5	150 μl	328,4 ...po 30 min... 744,0
400 μl	184,7 ...po 30 min... 336,8	200 μl	539,4 ...po 30 min... 988,8



Obr. 20: Destabilizační proces disperzí nanočástic stříbra modifikovaných 1% (w/w) mýdlovým roztokem realizovaný pomocí 200, 300, 350 a 400 μl 5M NaCl a monitorovaný pomocí UV/VIS absorpčních spekter (měřeno po přidavku).



Obr. 21: Destabilizační proces disperzí nanočástic stříbra modifikovaných 1% (w/w) mýdlovým roztokem realizovaný pomocí 200, 300, 350 a 400 µl 5M NaCl a monitorovaný pomocí UV/VIS absorpčních spekter (měřeno po 30 minutách od zreagování).

4.3.3 Studium agregační stability nemodifikovaného systému PDDA, NaCl

Nejdříve byl zkoumán nemodifikovaný systém, který byl systematicky destabilizován postupnými přidávkami 0,01% (w/w) poly(diallyldimethylammonium) chloridu (PDDA) a 5M NaCl. Efekt každého přídatku byl monitorován pomocí DLS a UV/VIS spektroskopie.

Při systematické destabilizaci glukózového koloidu postupnými přidávkami 0,01% (w/w) PDDA a 5M NaCl dochází k nárůstu průměrné velikosti částic obsažených v systému. Nárůst ve velikosti částic zapříčiňuje pozorovatelné barevné změny testovaného koloidního systému. Velikost částic je závislá jak na objemu přidaného 0,01% (w/w) PDDA, tak na časových intervalech, ve kterých byly vzorky měřeny. Pro disperzi nemodifikovaného systému, která byla systematicky destabilizovaná, byla vypočítána kritická koagulační koncentrace (CCC). Body v grafu byly proloženy dvěma lineárními přímkami. Průsečík těchto přímek označuje průměrnou hodnotu CCC.

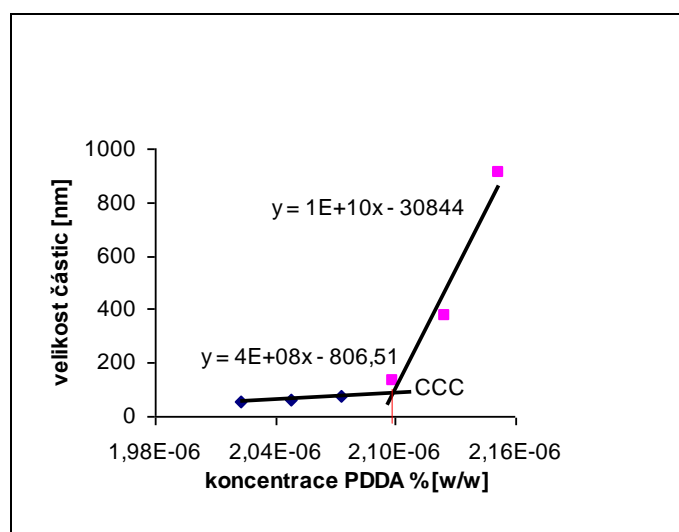
Pomůcky: špachtle, stříčka, váhy, kádinky (25ml), odměrné baňky (50ml), míchačka s míchadýlkem, poloautomatické pipety, plastové kyvety

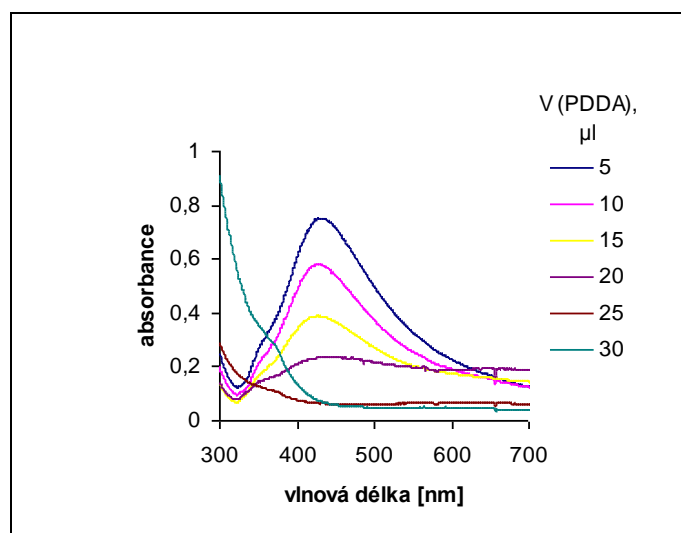
Chemikálie: 5M NaCl, 0,01% (w/w) PDDA, HNO₃, destilovaná voda

Pracovní postup: Do kádinky (25ml) s právě dokončenou redukcí diaminstříbného komplexu glukózou přidáme 5 µl 0,01% (w/w) PDDA za stálého míchání. Po cca 3 minutách nepřetržitého míchání následuje zaznamenání velikosti částic, polydisperzity a UV/VIS spekter. Koloid po proměření velikosti částic navrátíme zpět do kádinky - pro minimální koncentrační změny původní disperze. Dále pokračujeme metodou kontinuálního přidavku 5 µl 0,01% (w/w) PDDA až do úplného destabilizování systému. Naměřené a zaznamenané výsledky velikosti částic a UV/VIS spekter poslouží k výpočtu kritické koagulační koncentrace (CCC) a k vypracování pracovního protokolu. Zcela stejným způsobem se postupuje při studiu agregační stability při přidavku 10 µl elektrolytu 5M NaCl do glukózového koloidu.

Měření: Z důvodů ověření vlivu agregace nanočástic byl k roztokům koloidní disperze přidáván polyelektrolyt 0,01% (w/w) PDDA. Již při přidavku 4 x 5 µl 0,01% (w/w) roztoku PDDA do cca 25 ml disperze docházelo k více než dvojnásobnému nárůstu průměrné velikosti částic stříbra, další přidavek 2 x 5 µl 0,01% (w/w) roztoku PDDA tuto disperzi destabilizuje za vzniku mikrometrových agregátů velmi rychle sedimentujících. Zjištěná CCC u nemodifikované disperze nanočástic stříbra pak měla hodnotu $2,1 \cdot 10^{-6}$ % (w/w) PDDA (graf 30). Při srovnání jednotlivých UV/VIS absorpčních spekter je patrná změna intenzity hlavního absorpčního pásu okolo 420 nm, který se s rostoucí koncentrací PDDA snižuje (obr. 22).

Graf. 30: Destabilizační proces glukózového koloidu realizovaný pomocí 0,01% (w/w) PDDA a monitorovaný pomocí DLS, stanovení CCC.

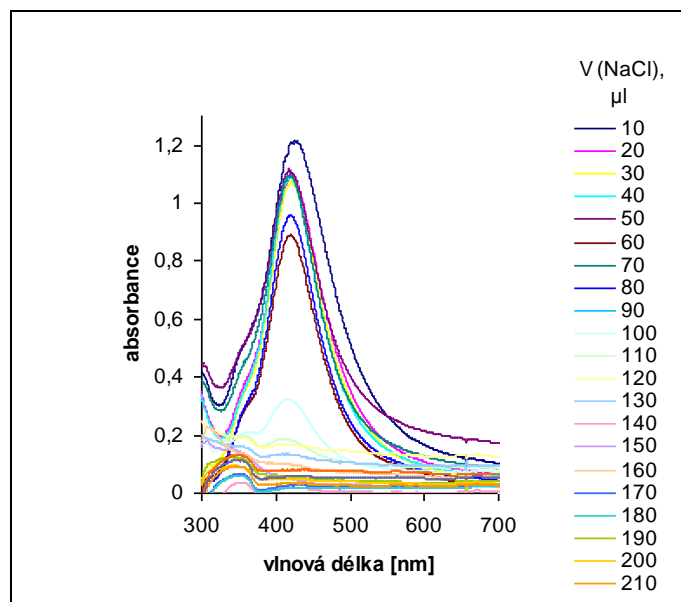
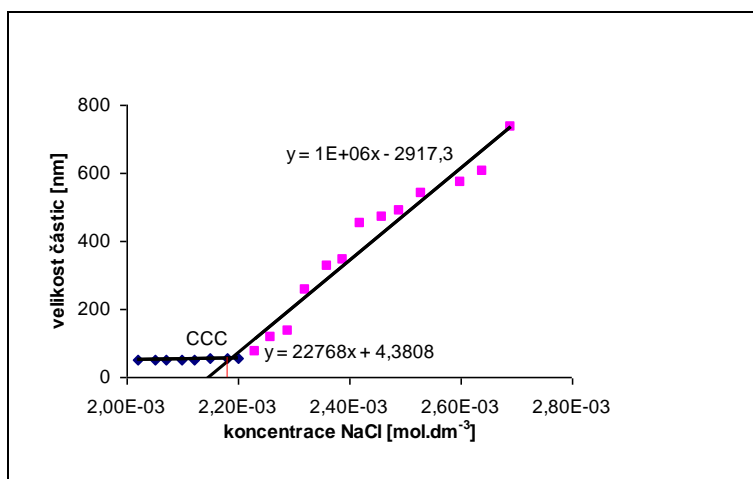




Obr. 22: Destabilizační proces glukózového koloidu realizovaný pomocí 0,01% (w/w) PDDA a monitorovaný pomocí UV/VIS absorpčních spekter.

Při přidavku elektrolytu 5M NaCl docházelo ke vzrůstu velikosti částic relativně pozvolna, což je patrné ze závislosti velikosti částic na přidavku 5M NaCl (graf 31). V UV/VIS absorpčním spektru je až po desátém přidavku elektrolytu patrný pokles absorpčního maxima (obr. 23). Při tomto přidavku je dosaženo CCC a dochází k systematické destabilizaci nemodifikovaného systému. Vypočítaná CCC je $2,18 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ NaCl. Od tohoto přidavku dochází k postupné agregaci systému.

Graf 31: Destabilizační proces glukózového koloidu realizovaný pomocí 5M NaCl a monitorovaný pomocí DLS jakožto změny ve velikosti částic obsažených v disperzi; stanovení CCC.



Obr. 23: Destabilizační proces glukózového koloidu realizovaný pomocí 5M NaCl a monitorovaný pomocí UV/VIS absorpčních spekter.

4.3.4 Modifikace nanočástic stříbra pomocí mýdla, SDS a PEG 1500

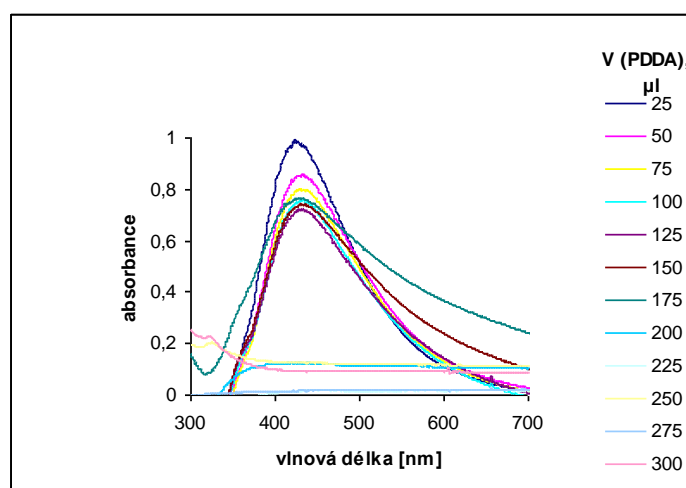
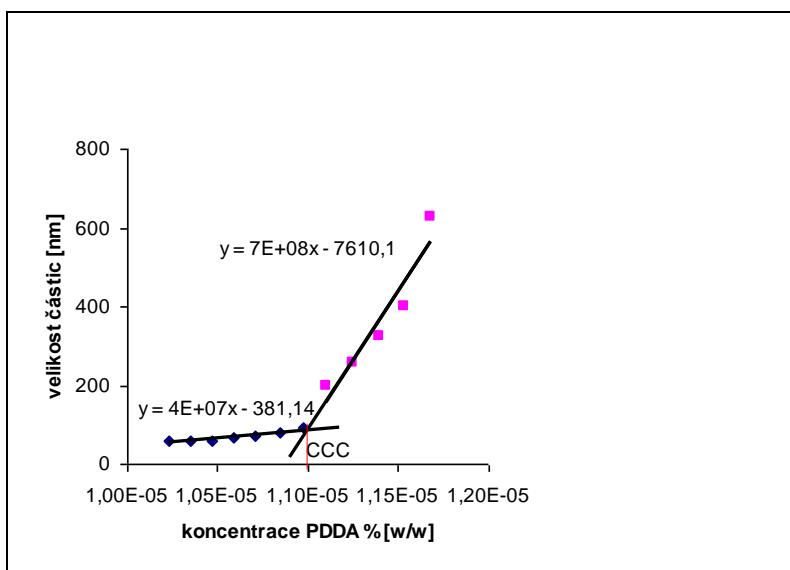
Pomůcky: špachtle, stříčka, váhy, kádinky (25ml), odměrné baňky (50ml), míchačka s míchadýlkem, automatické pipety, plastové kyvety

Chemikálie: 5M NaCl, 0,01% (w/w) PDDA, mýdlový roztok 1% (w/w), SDS 1% (w/w), PEG 1500 1% (w/w), HNO₃, destilovaná voda

Pracovní postup: Z kádinky (25ml) s právě dokončenou redukcí diaminstříbného komplexu glukózou si nejprve odebereme 1 ml koloidu a následně přidáme mýdlový roztok 1% (w/w) (případně SDS 1% (w/w), PEG 1500 1% (w/w)) za stálého míchání. Po cca 3 minutách nepřetržitého míchání následuje zaznamenání velikosti částic, polydisperzity a UV/VIS spekter. Koloid po proměření DLS navrátíme zpět do kádinky - pro minimální objemové změny původní disperze. Dále metodou kontinuálního přidavku destabilizujeme modifikovaný systém 25 μ l 0,01% (w/w) PDDA (případně 50 μ l 5M NaCl) až do úplného destabilizování systému. Naměřené a zaznamenané výsledky velikosti částic a UV/VIS spekter poslouží k výpočtu kritické koagulační koncentrace (CCC) a k vypracování pracovního protokolu.

Měření: Následně byly stejným způsobem testovány disperze nanočástic stříbra modifikované mýdlovým roztokem, SDS a polymerem PEG 1500 o výsledné koncentraci modifikátorů v disperzi 1% (w/w). Z hlediska stabilizačního účinku proti agregaci vyvolané přidavkem 0,01% (w/w) PDDA do vodné disperze nanočástic stříbra se jako nejoptimálnější stabilizátor ukázal 1% mýdlový roztok. Při jeho použití vykazuje CCC PDDA hodnotu $1,10 \cdot 10^{-5}$ % (w/w) PDDA (graf 32). Kritická koagulační koncentrace při použití 1% (w/w) roztoku mýdla je vyšší, než vykazuje CCC PDDA bez modifikátoru.

Graf. 32: Stanovení agregátní stability mýdlovým roztokem modifikované disperze nanočástic stříbra 0,01% (w/w) roztokem PDDA.



Obr. 24: UV/VIS absorpční spektra roztoku nanočástic modifikovaných látkou mýdlovým roztokem s přísádkou 0,01% (w/w) roztoku PDDA.

Použitý tenzid ve formě mýdlového roztoku vykazoval optimální stabilizaci, oproti nemodifikované disperzi zpomalil tvorbu agregátů. K úplné agregaci docházelo až při 225 μl 0,01% (w/w) roztoku PDDA, jak prokazují paralelně měřená UV/VIS spektra (obr. 24). Ty i při částečné agregaci nanočástic stříbra vykazují typické absorpční maximum povrchového plasmonu okolo hodnoty 420 nm.

Prakticky nulovou stabilizační schopnost vykazuje tenzid SDS 1% (w/w) s CCC

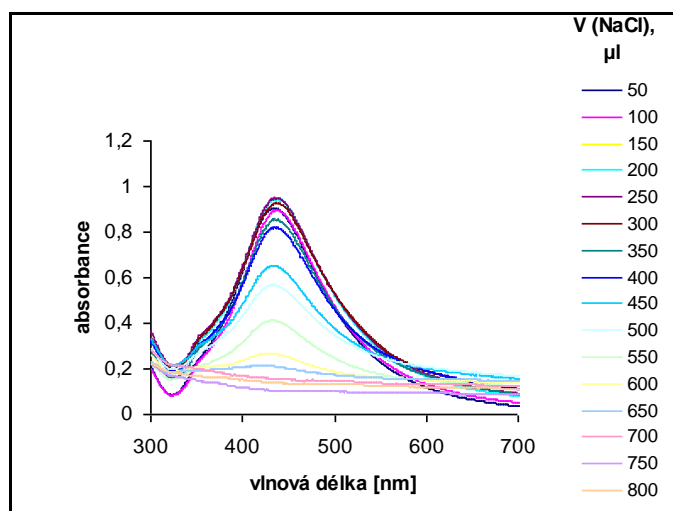
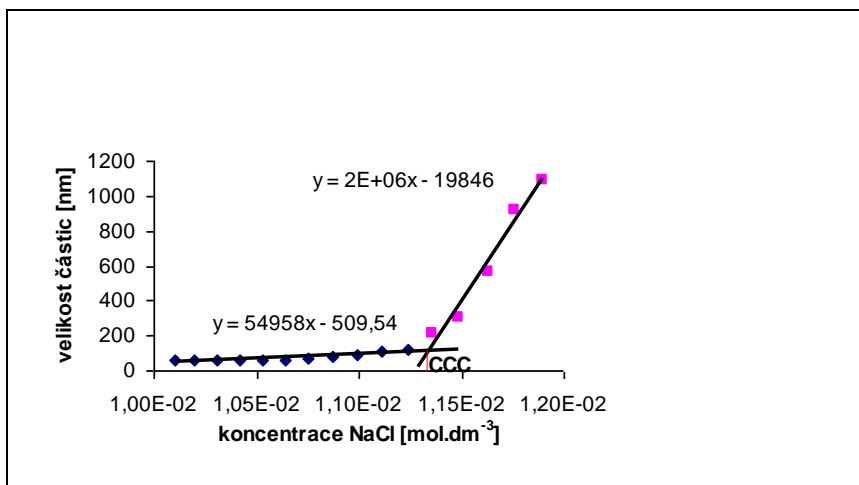
$2,1 \cdot 10^{-6}$ (w/w) PDDA. Modifikace disperze nanočástic stříbra polymerem polyethylenglykolového typu PEG 1500 1% (w/w) taktéž nevedla ke zvýšení agregátní stability (tab. 10). Stabilizační účinek povrchově aktivních látek ve formě mýdlového roztoku byl v porovnání s oběma zkoumanými látkami daleko výraznější. Tento fakt byl ověřen měřením průměrné velikosti částic stříbra.

Tab. 10: Srovnání kritických koagulačních koncentrací polyelektrolytu 0,01% (w/w) PDDA při sledování agregační stability nanočástic stříbra.

Kritická koagulační koncentrace (CCC) (w/w) roztoku PDDA	
<u>Bez modifikátoru:</u>	$2,10 \cdot 10^{-6}$
<u>S modifikátorem:</u>	
<i>mýdlový roztok 1% (w/w)</i>	$1,10 \cdot 10^{-5}$
<i>SDS 1% (w/w)</i>	$2,18 \cdot 10^{-6}$
<i>PEG 1500 1% (w/w)</i>	$2,06 \cdot 10^{-6}$

Účinku elektrolytu chloridu sodného bylo využito ke koagulaci nestabilizovaných i stabilizovaných nanočástic stříbra za použití stejného postupu jako u polyelektrolytu PDDA. U nemodifikované disperze činí kritická koagulační koncentrace $2,18 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$. Z hlediska stabilizačního účinku proti agregaci vyvolané přidávkem 5M NaCl do vodné disperze nanočástic stříbra se jako optimální stabilizátor taktéž prokázal 1% mýdlový roztok s CCC $1,13 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ (graf 33) a objemem 600 μl 5M NaCl (obr. 25).

Graf. 33: Stanovení agregátní stability mýdlovým roztokem modifikované disperze nanočástic stříbra přidavkem 5M NaCl.



Obr. 25: UV/VIS absorpční spektra roztoku nanočástic modifikovaných látkou mýdlovým roztokem s přidavky 5M NaCl.

Jako dobré stabilizátory vodných disperzí nanočástic stříbra se projevily jak anionický tenzid SDS tak i polymerní ve vodě rozpustná látka polyethylenglykol PEG 1500. Při jejich použití dosahují CCC NaCl téměř shodných hodnot (tab. 11).

Tab. 11: Srovnání kritických koagulačních koncentrací elektrolytu 5M NaCl při sledování agregační stability nanočástic stříbra.

Kritická koagulační koncentrace (CCC) mol·dm⁻³ NaCl	
<u>Bez modifikátoru:</u>	2,18·10 ⁻³
<u>S modifikátorem:</u>	
<i>mýdlový roztok 1% (w/w)</i>	1,13·10 ⁻²
<i>SDS 1% (w/w)</i>	4,23·10 ⁻³
<i>PEG 1500 1% (w/w)</i>	4,28·10 ⁻³

Ke koagulaci stabilizovaných nanočástic stříbra bylo využito účinku elektrolytu chloridu sodného a kationického polyelektrolytu PDDA. Poly(diallyldimethylammonium) chlorid velmi účinně destabilizuje výchozí disperzi nanočástic stříbra již při velmi nízkých koncentracích v roztoku 0,01% (w/w). V obou případech se z hlediska stabilizačního účinku proti agregaci vyvolané přidávkem PDDA a NaCl do vodné disperze nanočástic stříbra nejlépe osvědčil. mýdlový roztok.

5 Závěr

„Nanosvět“ je v dnešní době stále diskutovanějším tématem a jako takové by nemělo zůstat pouze v hledáčku odborníků na slovo vzatých a zůstat uzamčen ve vědeckých laboratořích. Nejlepší způsob jak se o daném tématu může dozvědět nejen student střední či vysoké školy, je vlastní zkušenost. A to především prostřednictvím četby odborné literatury, formou přednášek, exkurzí a nejlépe na bázi experimentu. Na základě takto získaných informací jsou studenti schopni vytvořit si objektivní názor, který není nikterak ovlivněn populismem či negativistickými názory odpůrců těchto nových technologií.

Na základě výše nastíněné situace byl vytyčen cíl práce: zjistit, jaký je zájem studentů středních škol a studentů odpovídajících bakalářských studijních programů škol vysokých o chemii, o problematiku nanochemie, jejich dosavadní zkušenosti s tímto novým neustále se rozvíjejícím oborem a zařazení úloh týkajících se nanočástic do laboratorního cvičení. Na základě dotazníkového šetření byl zjištěn zájem studentů o tuhle oblast chemie a na bázi těchto informací byly sestaveny úlohy zabývající se přípravou disperze nanočástic stříbra zahrnující problematiku modifikace nanočástic s cílem jejich stabilizace. Po prostudování dostupných středoškolských učebnic bylo zjištěno, že oblast nanochemie a úlohy k této části chemie zcela chybí ve středoškolských učebnicích. I přes neustále se rozvíjející speciální studijní programy v oblasti „nano“ nejsou prozatím úlohy dotýkající se tohoto tématu zařazeny do laboratorního cvičení bakalářského studia. Navržené středoškolské úlohy se od vysokoškolských liší především ve využití dostupné techniky a v časové náročnosti celého cvičení.

Pro přípravu nanočástic stříbra ve formě vodné disperze byla ve většině případů zvolena velmi dobře reprodukovatelná modifikovaná Tollensova metoda využívající redukce primárně vytvořeného komplexního kationtu $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ pomocí zvoleného redukčního sacharidu (glukóza, fruktóza, galaktóza, maltóza). Zbarvení, barevné změny a Tyndallův jev vizuálně pozorovatelné u koloidních systémů jsou zásadní parametry užívané ke klasifikaci velikosti koloidních částic stříbra ve středoškolských laboratořích.

Pro modifikaci nanočástic stříbra byly použity anionické tenzidy: mýdlo Jelen a dodecylsulfát sodný (SDS); polymerní látka polyethylen glykol (PEG 1500). Ke studiu agregační stability koloidně - disperzních soustav bylo využito účinku elektrolytu chloridu sodného a kationického polyelektrolytu poly(diallyldimethylammonium) chloridu (PDDA), jež účinně destabilizují výchozí disperzi nanočástic stříbra již při velmi nízkých koncentracích v roztoku jak dokazuje kritická koagulační koncentrace (CCC) $2,1 \cdot 10^{-6}$ % (w/w) PDDA

a $2,18 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ NaCl pro nemodifikovaný systém. Zjištěné výsledky prokázaly, že 1% mýdlový roztok jako studovaný povrchový modifikátor má výborné stabilizační účinky s CCC $1,10 \cdot 10^{-5} \%$ (w/w) PDDA a $1,13 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ NaCl. Oproti tomu modifikace pomocí 1% SDS a PEG 1500 má minimální či negativní vliv na agregační stabilitu systému nanočástic stříbra. Disperze nemodifikovaných i modifikovaných nanočástic stříbra byly charakterizovány pomocí přístroje pracujícím na principu dynamického rozptylu světla (DLS) a pomocí velmi citlivé UV/VIS spektroskopie. Užití obou metod je nezbytné k provedení úloh zaměřených na studenty bakalářských studijních programů.

6 Summary

The world of nanotechnology represents one of the most discussed and exciting topics today and should not be considered only as an exclusive domain of a narrow circle of expert scientists and as such stay confined in research facilities. However, also high school or university students should be given the opportunity to learn more about this topic through reading technical literature, attending lectures and field trips facilitated by school and through direct observation and personal involvement in laboratory experiments. Using the obtained information and experiences, the students will be able to form their own unbiased opinions, not influenced by populism or negativistic views of the opponents of these new technologies.

The objective of this paper was based on above outlined conditions:

To determine the level of academic expectations of High school and university students of corresponding fields concerning nanochemistry, present their experience in this fast evolving field and include the corresponding lessons concerning the nanoparticles into the lab practices. A preliminary survey shows students' interest in this specific area of chemistry. Based on the survey information, model exercises, concerning preparation and modification of silver nanoparticles, were suggested. Looking closer at the current high school textbooks it was revealed that the specific area of nanochemistry is not covered by the textbooks at all. Despite of the recent establishment of specialized educational programs in the field of nanotechnology, the subject was not included in the advanced courses for students of bachelor programs. The proposed high school exercises differ from university courses mainly in terms of available equipment and time schedule preferences.

For preparation of the silver nanoparticles, in the form of aqueous dispersion, the modified Tollens process was applied. The process is based on the reduction of the primarily created complex cation $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ with the use of selected reduction saccharides (glucose, fructose, galactose, maltose). Coloring, changes of color and Tyndall effect, which can be observed in colloidal systems, are the essential parameters that can be used for the determination of the presence of the particles and also for the particle size estimation. Additionally, the silver nanoparticles modified by detergents: soap "Jelen" and sodium dodecylsulphate (SDS), and by a polymer compound polyethylen glykol (PEG 1500). For the study of aggregation stability in colloidal systems the influence of chloride electrolyte and cationic polyelectrolytes poly(diallyldimethylammonium) was utilized for the effective destabilizing of the original dispersion of silver nanoparticles at very low concentration in

solution as shows critical coagulation concentration (CCC) $2,1 \cdot 10^{-6}$ % (w/w) of PDDA and $2,18 \cdot 10^{-3}$ mol·dm⁻³ of NaCl for unmodified system. The results of these experiments confirmed that a 1% soap solution represents the surface modifier with excellent stabilizing effect with CCC $1,10 \cdot 10^{-5}$ % (w/w) of PDDA a $1,13 \cdot 10^{-2}$ mol·dm⁻³ of NaCl. On the contrary, modifications using 1% SDS and PEG 1500 has minimal or negative effect on the aggregation stability of colloidal system of silver nanoparticles. The dispersion of the unmodified or modified silver nanoparticles was analyzed by the equipment using technique of determination of dynamic light scattering (DLS) or using very sensitive UV/VIS Spektroskopie Methods. Utilizing both methods is essential part for the advanced courses (in chemistry) for undergraduate students of bachelor study programs.

7 Seznam zkratek

AFM	mikroskop atomárních sil	PU	polyuretan
CCC	kritická koagulační koncentrace	PVA	polyvinylalkohol
CMC	kritická micelární koncentrace	PVP	polyvinylpyrrolidon
CTAB	cetyltrimethylamonium bromid	SDS	dodecylsulfát sodný
CTAC	cetyltrimethylamonium chlorid	SEM	skenovací (rastrovací) elektronový mikroskop
DDT	dichlordifenyltrichlormethylmethan	SERRS	povrchem zesílená rezonanční Ramanova spektroskopie
DLS	dynamický rozptyl světla	SERS	povrchem zesílená Ramanova spektroskopie
DLVO	teorie koagulace elektrolytů	TEM	transmisní elektronový mikroskop
PAL	povrchově aktivní látka	TNT	trinitritoluen
PDDA	poly(diallyldimethylamonium) chlorid		
PEG	polyethylenglykol		

8 Seznam literatury

- ¹ L. Bartovská; M. Šisková: Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav, VŠCHT, Praha 1999.
- ² *Metody studia koloidních soustav* [online]. Olomouc: Libor Kvítek, 2006 [cit. 2011-01-14].
Organické povrchově aktivní látky, s. Dostupné z WWW:
<<http://chemikalie.upol.cz/skripta/msk/msk.pdf>>.
- ³ J. Pouchý: Fyzikální chemie makomolekulárních a koloidních soustav, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2001.
- ⁴ Panáček A.; Kvítek L.; Pucek R.; Kolář M.; Večeřová R.; Pizúrová N.; Sharma K. V.; Nevěčná T.; Zbořil R.: *Journal of Physical Chemistry B* (2006), 110, 16248-16253.
- ⁵ M. Klečková; Z. Šindelář: Školní pokusy z anorganické a organické chemie, Univerzita Palackého, Olomouc, 2007.
- ⁶ Eisner W.; Fladt R.; Gietz P.; Justus A.; Laitenberger K.; Schierle W.: *Chemie 1a pro střední školy*, Scientia, Praha 1996.
- ⁷ W. Amann; W. Eisner; P. Gietz; J. Maier; W. Schierle; R. Stein: *Chemie 2b*, Scientia, Praha, 2000.
- ⁸ J. Vacík; J. Barthová; J. Pacák; B. Strauch; M. Svobodová; F. Zemánek: *Přehled středoškolské chemie*, SPN, Praha, 1995.
- ⁹ P. Beneš; V. Pumpr; J. Banýr: *Základy chemie*, Fortuna, Praha 1993.
- ¹⁰ V. Šrámek; V. Kosina: *Obecná a anorganická chemie*, Fin, Olomouc, 1996.
- ¹¹ W. Eisner; R. Fladt; P. Gietz; A. Justus; K. Laitenberger; W. Schierle: *Chemie 1b*, Scientia, Praha, 1997.
- ¹² W. Amann; W. Eisner; P. Gietz; J. Maier; W. Schierle; R. Stein: *Chemie 2a*, Scientia, Praha, 1998.
- ¹³ V. Flemr; B. Dušek: *Chemie I*, SPN, Praha, 2001.
- ¹⁴ K. Kolář; M. Kodíček.; J. Pospíšil: *Chemie II*, SPN Olomouc, 1997.
- ¹⁵ K. Růžičková; B. Kotlík: *Chemie v kostce 1. díl*, Fragment 1996.
- ¹⁶ K. Růžičková; B. Kotlík: *Chemie II v kostce*, Fragment 2006.
- ¹⁷ J. Banýr; P. Beneš; J. Hally; P. Novotný; J. Pospíšil: *Chemie pro střední školy*, SPN, Praha 1995.
- ¹⁸ A. Mareček; J. Honza: *Chemie pro čtyřletá gymnázia 1. díl*, Nakladatelství Olomouc, 2000.
- ¹⁹ A. Mareček; J. Honza: *Chemie pro čtyřletá gymnázia 2. díl*, Nakladatelství Olomouc, 2002.

-
- ²⁰ A. Mareček; J. Honza: *Chemie pro čtyřletá gymnázia 3. díl*, Nakladatelství Olomouc, 2002.
- ²¹ KRAUS, Libor, et al. *Nanotechnologie v České Republice 2005* [online]. Ostrava : Repronis Ostrava, 2005 [cit. 2011-04-05]. Dostupné z WWW: <<http://csnmt.cz/getfile.php?type=file&IDfile=21#page=7>>. ISBN 80-7329-111-6.
- ²² BOUDA, Václav. Projekt "Pokročilé vzdělávání ve výzkumu a aplikacích nanomateriálů". *Nanotechnologie* [online]. 2009, 52, [cit. 2011-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.nanotechnologie.cz/view.php?cislocianku=2007080024>>.
- ²³ E. D. Ščukin; A. V. Percov; E. A. Amelinovová: *Koloidní chemie*, Academia Praha, 1990.
- ²⁴ L. Kvítek; A. Panáček.: *Základy koloidní chemie, UP v Olomouci*, Olomouc 2007.
- ²⁵ L. Šimek; J. Hrnčířík: *Fyzikální chemie II (Koloidní a makromolekulární systémy)*, Vydavatelství Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín 2004.
- ²⁶ K. Komers: *Základy koloidní chemie*, Univerzita Pardubice, 1996.
- ²⁷ *Analytická chemie UCH 041* [online]. 2005 [cit. 2011-01-14]. Plynová chromatografie (GC). Dostupné z WWW: <http://users.prf.jcu.cz/sima/analyticka_chemie/separb.htm>.
- ²⁸ *Solubilization of polymers: polymer - surfactant complexes* [online]. 2005 [cit. 2011-01-14]. Vladimir Baulin. Dostupné z WWW: <http://vbaulin.front.ru/research/a_glob.html>.
- ²⁹ *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav* [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2010 [cit. 2011-01-14]. Dostupné z WWW: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/uid_isbn-978-80-7080-745-3/anotace/>.
- ³⁰ O. Ficher; L. Kišová; M. Miadoková; J. Molin: *Fyzikální chemie*, Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1983.
- ³¹ El movimiento browniano [online]. 14.10.2010 [cit. 2011-01-14]. Salud etecnologia. Dostupné z WWW: <<http://www.tecnologiahechapalabra.com/salud/eventos/articulo.asp?i=5129>>.
- ³² Kubínek, Roman . *Metody v blízkém poli - základní principy a metody* [online]. duben 2003 [cit. 2011-02-22]. Mikroskopie skenující sondou. Dostupné z WWW: <<http://atmilab.upol.cz/brozura.html>>.
- ³³ Thompson, David. Michael Faraday's Recognition of Ruby Gold: the Birth of Modern Nanotechnology. *Gold Bulletin* [online]. 2007, 40/4, [cit. 2011-03-10]. Dostupný z WWW: <http://www.goldbulletin.org/assets/file/goldbulletin/downloads/Faraday_4_40.pdf>.
- ³⁴ Turkevitch J; Stevenson P. C. ; Hillier J.: *Discuss. Faraday Soc.* (1951), 11, 55-56.
- ³⁵ J. Hošek: *Úvod do nanotechnologie*, ČVUT, Praha, 2010.
- ³⁶ Wang Y.; Yang H.: *Chemical Engineering Journal* (2009), 147, 71–78.
- ³⁷ L. Kvítek: *Habilitační práce*, PřF UP Olomouc, 2008.

-
- ³⁸ Verma, Vijay C., et al. Biofabrication of Anisotropic Gold Nanotriangles Using Extract of Endophytic *Aspergillus clavatus* as a Dual Functional Reductant and Stabilizer. *Nanoscale Research Letters* [online]. 2010, 6:16, [cit. 2011-03-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.nanoscalereslett.com/content/6/1/16>>.
- ³⁹ Lee P. C.; Meisel D.: *Journal of Physical Chemistry* (1982), 86, 3391-3395.
- ⁴⁰ Sharma K. V.; Yngard R. A.; Lin Y: *Advances in Colloid and Interface Science* (2009), 145, 83-96.
- ⁴¹ Morales M. P.; Bomati-Miguel O.; Alejo R. P.; Ruiz-Cabello J.; Veintemillas-Verdaguer S.; O'Grady K.: *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* (2003), 266, 102–109.
- ⁴² Lau K.: *Composites Science and Technology* (2006), 66, 450–458.
- ⁴³ Garcí'a-Cerda C. L. A.; Romo-Mendoza L. E.; Quevedo-Lo'pez M. A.: *J Mater Sci* (2009), 44, 4553–4556.
- ⁴⁴ WEI, Yu, et al. Synthesis and Characterization of Monodispersed Copper Colloids in Polar Solvents. *Nanoscale Research Letters* [online]. 2009, 5, [cit. 2011-03-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2898482/>>.
- ⁴⁵ Pucek R.; Kvítek L.; Panáček A.; Vančurová L.; Soukupová J.; Jančík D.; Zbořil R.: *J. Mater. Chem.* (2009), 19, 8463-8469.
- ⁴⁶ Chen D.; Ni. S.; Fang J. J.; Xiao T.: *Journal of Alloys and Compounds* (2010), 504S, S345.
- ⁴⁷ Wickson F.; Grieger K.; Braun A.: *International Journal of Emerging Technologies and Society* (2010), 8/1, 5–23.
- ⁴⁸ Jitianu M.; Goia V. D.: *Journal of Colloid and Interface Science* (2007), 309, 78–85.
- ⁴⁹ Takeshi T.; Kenzo I.; Norihisa W.; Masaharu T.: *Appl. Surf. Sci.* (2002), 202, 80-85.
- ⁵⁰ Creighton E.: *J.Chem.Soc., Faraday Trans* (1991), 87, 3881.
- ⁵¹ Tuan Vo-Dinh; Fei Yan: *NATO Science Series* (2006), 224, 239-259.
- ⁵² Shirtcliffe N.; Nickel U.; Schneider S.: *Journal of Colloid and Interface Science* (1999) 211, 122-129.
- ⁵³ Kvítek L.; Pucek R.; Panáček A.; Novotný R.; Hrbáč J.; Zbořil R.: *J. Mater. Chem.* (2005), 15, 1099-1105.
- ⁵⁴ Pucek R.; Kvítek L.; Hrbáč J.: *Acta Univ. Palacki. Olom. Chemica* (2004), 43, 59.
- ⁵⁵ Virender K. Sharma; Ria A. Yngard; Yekaterina Lin: *Advances in Colloid and Interface Science* (2009), 145, 83–96.
- ⁵⁶ Slistan-Grijalva A.; Herrera-Urbina R.; Rival-Silva J. F.; Ávalos-Borja M.; Castillon-Barraza F. F.; Posada-Amarillas A.: *Physica E*, (2005), 27, 104-112.

-
- ⁵⁷ Kvítek L.; Panáček A.; Soukupová J.; Kolář M.; Večeřová R.; Pucek R.; Holeňová M.; Zbořil R.: *J. Phys. Chem. C*: (2008), 112, 5825–5834.
- ⁵⁸ Soukupová J.; Kvítek L.; Panáček A.; Nevěčná T.; Zbořil R.: *Materials Chemistry and Physics* (2008), 111, 77-81.
- ⁵⁹ Lefebvre J.; Antonov Y.: *Colloid and Polymer Science* (2001), 279, 393-397.
- ⁶⁰ Wright G. D.: *Advanced Drug Delivery Reviews* (2005), 57, 1451-1470.
- ⁶¹ Moskovits M.: *Rev. Mod. Phys.* (1985), 57, 783-826.
- ⁶² *High Sensitivity Trace Detection using SERS* [online]. 2010 [cit. 2011-03-22]. DIGILAB. Dostupné z WWW: <<http://www.digilabglobal.com/sers-with-raman-plate-reader>>.
- ⁶³ Schneider S.; Halbig P.; Grau H.; Nickel U.: *Photochemistry and Photobiology* (1994), 60, 605.
- ⁶⁴ Kozáková S.: *Bakalářská práce, PřF UP Olomoc*, 2010.

SŠ dotazník

Škola: _____

Ročník: _____

- 1) **Zajímáš se o přírodní vědy (matematika, fyzika, chemie, biologie, zeměpis)?**
 - a) ano
 - b) spíše ano
 - c) spíše ne
 - d) ne

- 2) **Která z uvedených přírodních věd je ti nejbližší?**
 - a) matematika
 - b) fyzika
 - c) chemie
 - d) biologie
 - e) zeměpis

- 3) **Považuješ chemii za atraktivní vědní disciplínu?**
 - a) ano
 - b) spíše ano
 - c) spíše ne
 - d) ne

- 4) **Je výuka chemie na Tvé střední škole zajímavá?**
 - a) ano
 - b) spíše ano
 - c) spíše ne
 - d) ne

- 5) **Jak probíhá výuka chemie na Tvé škole?**
 - a) teoreticky (výklad učitele)
 - b) teoreticky i prakticky (výklad učitele, semináře, laboratorní cvičení)

- 6) **Setkal/Setkala ses již s pojmem „koloidní soustava/koloidní chemie“? Pokud ano, kde?**
 - a) ano _____
 - b) ne

- 7) **Setkal/Setkala ses již s pojmem „nano-“ (např. nanotechnologie, nanosoustava, nanočástice)? Pokud ano, kde?**
 - a) ano _____
 - b) ne

- 8) **Uveď jeden z nanoproduktů, který znáš.**

- 9) **Má tento nanoprodukt nějaké jiné vlastnosti než obdobný produkt bez „nano“? Pokud ano, jaké.**
 - a) ano _____
 - b) ne

- 10) Setkal ses s nanochemií/koloidní chemií v rámci výuky chemie na Tvé škole?
- a) ano
 - b) ne
- 11) Zajímala by Tě problematika nanosvěta, kdyby byla součástí výuky chemie na Tvé škole?
- a) ano
 - b) spíše ano
 - c) spíše ne
 - d) ne
- 12) Budeš maturovat alespoň z jednoho přírodovědného předmětu? Pokud ano, ze kterého/ze kterých?
- a) ano _____
 - b) ne
- 13) Uvažuješ o studiu přírodovědných oborů na vysoké škole?
- a) ano
 - b) spíše ano
 - c) spíše ne
 - d) ne
- 14) Pokud chceš pokračovat ve studiu přírodních věd na vysoké škole, máš představu, kde bys chtěl/chtěla studovat?
- a) Univerzita Palackého v Olomouci
 - b) Masarykova Univerzita v Brně
 - c) Vysoké učení technické v Brně
 - d) České vysoké učení technické v Praze
 - e) Vysoká škola chemicko-technologická v Praze
 - f) Univerzita Karlova v Praze
 - g) jiná _____
- 15) Vysokou školu jsi vybíral podle
- a) lokality (je blízko/daleko od mého domova)
 - b) podle prestiže školy
 - c) podle nabízeného studijního programu
 - d) podle nabízeného studijního zázemí (koleje, knihovna, nové vybavení atd.)
 - d) možnosti kulturního vyžití v místě, kde se škola nalézá
 - e) jiný důvod _____

Příloha 2: Vysokoškolský dotazník

VŠ dotazník

Ročník: _____

Obor: _____

1) Jakou střední školu jsi studoval/studovala?

- a) gymnázium
- b) střední odborná škola
- c) střední průmyslová škola
- d) jiné _____

2) Vysokou školu jsi vybíral/vybírala podle?

- a) lokality (je blízko/daleko od mého domova)
- b) podle prestiže školy
- c) podle nabízeného studijního zázemí (koleje, knihovna, nové vybavení atd.)
- d) možnosti kulturního vyžití v místě, kde se škola nalézá
- e) jiný důvod _____

3) Co Tě vedlo ke studiu chemie?

- a) zájem o chemii
- b) absence přijímacích zkoušek
- c) rodiče
- d) jiný důvod _____

4) Který z uvedených oborů chemie je Ti nejbližší?

- a) obecná
- b) anorganická
- c) organická
- d) fyzikální
- e) analytická

5) Probíhá výuka chemie podle tvých představ?

- a) ano
- b) spíše ano
- c) spíše ne
- d) ne

6) Setkal/Setkala ses s pojmem „koloidní soustava/koloidní chemie“?

- a) ano, již na SŠ
- b) ano, na VŠ
- c) ne

7) Setkal/Setkala ses s pojmem „nano-“ (např. nanotechnologie, nanosoustava, nanočástice)?

- a) ano, již na SŠ
- b) ano, na VŠ
- c) ne

8) Uveď jeden z nanoproduktů, který znáš.

9) Setkal/Setkala ses s pojmem nanočástice stříbra?

- a) ano, již na SŠ
- b) ano, na VŠ
- c) ne

10) Znáš nějaké výrobky, ve kterých se využívá specifických vlastností nanočástic stříbra? Pokud ano, jaké?

- a) ano _____
- b) ne

11) Víš, kterými vlastnostmi jsou „vyjimečné“ nanočástice stříbra?

- a) ano _____
- b) ne

12) Pokud víš nějaké bližší informace o nanočásticích stříbra, pokus se je vypsát.

13) Uvítal/uvítala bys téma nanočástic v laboratorním cvičení bakalářského studia?

- a) ano
- b) spíše ano
- c) spíše ne
- d) ne

14) Měl bys zájem pokračovat v magisterském studiu v oboru chemie?

- a) ano, zůstanu na stejném oboru
- b) ano, ale změním obor
- c) ne