UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzikální chemie

Sbírka výukových materiálů propojujících tematiku nanomateriálové chemie a nanomateriálů

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor:	Bc. Zuzana Brabcová
Studijní program:	N0531A130041 Nanomateriálová Chemie
Studijní obor:	Nanomateriálová chemie
Forma studia:	Prezenční
Vedoucí práce:	**doc. RNDr. Karel Berka, Ph.D.**
Studijní rok:	2023/2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně s vyznačením všech použitých pramenů a spoluautorství. Souhlasím se zveřejněním své diplomové práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách, ve znění pozdějších předpisů. Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, ve znění pozdějších předpisů.

V Olomouci dne 29.4.2024

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu své bakalářské práce doc. RNDr. Karlu Berkovi, PhD. za konzultace, cenné rady a připomínky po celou dobu práce. Dále bych také ráda poděkovala celému týmu Centra popularizace Univerzity Palackého, Pevnosti poznání, za poskytnutí prostorů a prostředků k realizaci diplomové práce. Poděkování patří také mé rodině a přátelům, kteří mně v období tvorby práce podporovali a nabízeli nové pohledy na zpracování práce.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora	Bc. Zuzana Brabcová
Název práce	Sbírka výukových materiálů propojujících tematiku nanomateriálové chemie a nanotechnologií
Typ práce	Diplomová práce
Pracoviště	Katedra fyzikální chemie
Vedoucí práce	doc. RNDr. Karel Berka, Ph.D.
Rok obhajoby práce	2024
Klíčová slova	Nanomateriály, Nanotechnologie, Neformální vzdělávání, Experiment, Didaktika chemie
Počet stran	65
Počet příloh	4
Jazyk	Český

Abstrakt

Díky perspektivám, které oblast nanomateriálových vědy nabízí pro řešení aktuálních globálních problémů, byl tento obor zařazen do dynamických míst českého vzdělávacího kurikula. Jelikož je obecná úroveň veřejné informovanosti o těchto oborech stále velmi nízká je potřebné vytvářet metodické materiály, které přispějí k začleňování tematiky do nižších stupňů vzdělávání. Tato diplomová práce přináší návrh systému začlenění tématu skrze instituce neformálního vzdělávání a celoživotní vzdělávání pedagogických pracovníků. Na vytvořených programech byla měřena míra informovanosti, ale také změny v osobních postojích účastníků, které zvyšování informovanosti provázejí.

Bibliographic Information

Autor's name	Bc. Zuzana Brabcová
Title	Library of Educational Resources Integrating the Subjects of Nanomaterial Chemistry and Nanotechnology
Type of thesis	Masters thesis
Department	Department of Physical Chemistry
Supervisor	doc. RNDr. Karel Berka, Ph.D.
The year of presentation	2024
Keywords	Nanomaterials, Nanotechnologies, Nonformal education, Experiment, Chemistry education
Number of pages	65
Number of appendices	4
Language	Czech

Abstract

Nanomaterial science holds a huge potential to address the current global challenges. Consequently, this subject has been incorporated into dynamic sites of the Czech educational curriculum. Given that the general level of public awareness about these areas remains very low, there is a need to develop methodological materials that facilitate the integration of these topics into lower levels of education. This thesis proposes a system for integrating the subject through institutions of informal education and the lifelong education of educational professionals. The created programs were evaluated for the extent of awareness and changes in the personal attitudes of the participants that accompany increased awareness of nanomaterial science.

Obsah

1 Úvod 1

2 Teoretická část 2

2.1 Nanotechnologie a nanomateriály 2

2.1.1 Definice nanomateriálů a nanotechnologií 2
2.1.2 Dělení nanomateriálů 4
2.1.3 Metody přípravy nanomateriálů 8
2.1.4 Vlastnosti nanomateriálů 10

2.2 Pedagogické aspekty výuky nanotechnologií 12

2.2.1 Vzdělávací kurikulum v České republice 12
2.2.2 Formální vzdělávání 12
2.2.3 Neformální vzdělávání 13
2.2.4 Přírodovědná gramotnost žáků 13
2.2.5 Dynamická místa kurikula 14
2.2.6 Nanotechnologie jako dynamické místo kurikula 16
2.2.7 Další vzdělávání pedagogických pracovníků 16

2.3 Přehled stávajících vzdělávacích metodických materiálů a zdrojů v ČR 17

2.3.1 Nano v učebnicích chemie 17
2.3.2 Metodické materiály v oblasti nanotechnologií 18

2.4 Výzvy a perspektivy ve výuce nanotechnologií 21

2.4.1 Konvergence přírodních věd pomocí výuky nanotechnologií 21
2.4.2 Překážky v implementaci do výuky 21

3 Praktická část 23

3.1 Metodologie 23

3.2 Vývoj výukového programu 24

3.2.1 Předpoklady a vstupy pro vývoj vzdělávacího programu 24
3.2.2 Charakteristika výukového programu 24
3.2.3 Harmonogram vytvořeného programu 25

3.3 Pilotní testování a evaluace výukového programu Všude samé nano 38

3.3.1 Výzkumné dotazníky 39
3.3.2 Obeznámení respondentů s tematikou 39
3.3.4 Postoje respondentů vůči nanotechnologiím 48
3.3.5 Celkové zhodnocení vzdělávacího programu 50

3.4 Vývoj DVPP kurzu pro pedagogy 51

3.4.1 Předpoklady a vstupy pro vývoj kurzu pro pedagogy 51
3.4.2 Charakteristiky kurzu pro pedagogy 51
3.4.3 Harmonogram vytvořeného programu 51

3.5 Pilotní testování a evaluace kurzu pro pedagogy 56

3.5.1 Zařazení oblasti nanotechnologie a nanomateriály do RVP 58
3.5.2 Celkové zhodnocení kurzu pro pedagogy 59

4 Závěr 60

5 Summary 61

Seznam použitých zdrojů a literatury: 62

Seznam obrázků: 64

Seznam příloh: 66

1 Úvod

Během posledních let se nanomateriálová věda a nanotechnologické aplikace začínají postupně dostávat do každodenního života. Prostup nanotechnologií na spotřebitelský trh uspíšila zejména pandemie COVID-19, během které se pojem nanomateriály a nanotechnologie dostal mezi běžnou veřejnost díky použití v ochraně i detekci viru. Ačkoliv se tedy většina obyvatel stala uživateli nanotechnologií, zůstává obecná informovanost o tomto oboru stále jen velmi nízká.[1,2] Počet komerčně dostupných produktů obsahující nanomateriály stále roste a s ním roste i potřeba edukovat veřejnost o existenci oboru nanotechnologie, jeho perspektivách, ale i možných rizicích, které používání nanotechnologických produktů přináší.

Celosvětově tak vznikají iniciativy, které se snaží právě edukaci v tomto odvětví prosazovat. Jednou z cest, jak dlouhodobě zvyšovat informovanost je začlenění problematiky do vzdělávacího systému. V České republice, stejně jako v mnoha dalších státech EU,[3] však zůstává celý obor neukotven v kurikulárních dokumentech a není tak vyučován ani v rámci pregraduální přípravy učitelů přírodovědných oborů. Vzhledem k absenci nanotechnologií v pregraduální přípravě učitelů přírodovědných oborů je často na učitelích, aby se sami rozhodli, jak a kdy tuto tématiku zařadit do výuky.[4,5]

Tato práce se proto zaměřuje na analýzu stávajících kurikulárních struktur a identifikuje klíčová místa pro zavádění nanotechnologického vzdělávání. Navrhuje inovativní přístupy a výukové materiály, které by měly usnadnit integraci nanotechnologií do stávajících vzdělávacích struktur a nabízí možnosti neformálního vzdělávání, které umožňují začlenění nanotechnologií mimo tradiční vzdělávací rámce. Specifický důraz je kladen na vytvoření interaktivních prakticky orientovaných programů, které budou schopné představit nanotechnologie žákům základních (ZŠ) a středních škol (SŠ) v atraktivní a srozumitelné formě. Vytvořením vzdělávacího programu v interaktivním science centru Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého, Pevnosti poznání, tak bude možné tematiku nanomateriálových věd předat široké skupině účastníků. Na základě výsledků získaných z výukových programů bude navržen kurz pro pedagogické pracovníky, který by měl podpořit transfer tématu do již vyučovaných témat. Nanotechnologie, jakožto interdisciplinární téma, mohou posloužit jako vhodný příklad k propojení přírodních věd a podpoře výuky v širších souvislostech, která je základem pro úspěšné přírodovědné vzdělávání.

Cílem práce je nejen navrhnout efektivní metody začlenění nanotechnologií do školních kurikul, ale také provést pilotní testování těchto metod a programů ve vybraných vzdělávacích institucích. To by mělo pomoci posoudit jejich praktickou aplikovatelnost a efektivitu v reálném vzdělávacím prostředí, a tím přispět k lepšímu porozumění a akceptaci nanotechnologií mezi studenty i učiteli.

2 Teoretická část

Teoretická část této práce se věnuje propojení tematiky nanotechnologií a nanomateriálové chemie v kontextu vzdělávání. Teoretické kapitoly této práce vymezují oblast nanomateriálů a nanotechnologií a popisují současný stav vzdělávací politiky v České republice, se zaměřením na přírodovědné vzdělávání na ZŠ a SŠ. Zvláštní pozornost v teoretické části práce je věnována neformálnímu vzdělávání, jeho roli ve vzdělávacím systému a příležitostem, které v přírodovědném vzdělávání přináší.

První kapitola věnovaná nanotechnologií a nanomateriálové chemii je psána tak, aby byla možnost využít tento text jako teoretický podklad pro učitele chemie a dalších přírodních věd, kteří by chtěli zařadit problematiku nanotechnologií do výuky. Kapitola tedy nabízí sjednocený a zkrácený popis tématu jako celku. Další kapitoly se věnují zařazení nanotechnologií, jakožto vybraného dynamického místa kurikula, v předmětech chemie a fyzika. Popsán je český vzdělávací systém, propojení formálního a neformálního vzdělávání a principy rozvoje kompetencí učitelů v rámci dalšího vzdělávání pedagogických pracovníků. Kromě navržených vzdělávacích materiálů podrobně popsaných v praktické části, je součástí práce i soupis českých didakticky zaměřených materiálů, které na toto téma již dříve vznikly, a od kterých se tato práce také odvíjí.

Výuka nanotechnologií čelí v prostředí českého školství mnoha překážkám, od nedostatku informací o tématu ve veřejném prostoru a nedostatečnou komunikaci ze strany vědců, přes náročnost a širokou komplexitu oblasti, až po přeplněné školní tematické plány, které učitelé často jen těžko stíhají. Oproti všem překážkám, téma přináší také velkou řadu příležitostí.

Nanotechnologie jsou mladý, ale enormní rychlostí rostoucí obor, který díky svým fantastickým aplikacím, poutá pozornost nejen businessu a veřejnosti, ale i mladých pozorovatelů. I pro výuku přírodních věd představuje nanomateriálová věda slibnou možnost propojení přírodovědných témat napříč předměty a prostor pro otevřenou diskuzi o etice a dopadech vědy, které můžeme pozorovat v přímém přenosu a převádět je do reality školních lavic. Správně uchopené může toto téma představovat komplexní celek, který vede ke zvýšení zájmu žáků o přírodní vědy a být zásadním motivačním prvkem pro výběr jejich budoucí kariéry.

2.1 Nanotechnologie a nanomateriály

2.1.1 Definice nanomateriálů a nanotechnologií

Uvést přesnou definici nanotechnologií a nanomateriálů může být problematické. Jelikož se obor neustále rozvíjí, dochází k posunům v hranicích mezi jednotlivými pojmy a definicemi, což značně komplikuje ustálení pevně definovaných pojmů. S rozmachem oboru na spotřebitelský trh, však vznikla potřeba ukotvit pojmy v legislativě a přesně definovat, co jednotlivé pojmy představují. V současné době lze za nejrelevantnější považovat definice některých pojmů v rámci mezinárodních norem ISO z roku 2015 (ISO/TC 229; ISO/TS 80004)[6] a v doporučeních Evropské komise.[7]

Nanotechnologie:

Obecně lze nanotechnologie definovat jako interdisciplinární obor technologických aplikací, který se zabývá praktickým využitím neobvyklých a nových vlastností nanomateriálů. S aplikací těchto vlastností souvisí i cílený vývoj a syntéza nových struktur, které budou vhodné pro specifické průmyslové aplikace. Nejedná se o zcela nový obor, ale spíše velmi specifické propojení klasických vědních disciplín.
Definice nanotechnologií dle ISO 80004-1 zní (neoficiální překlad):

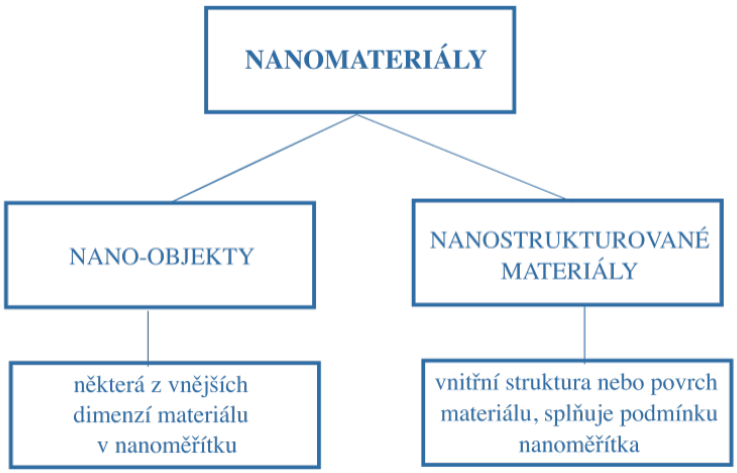
Nanotechnologiemi se rozumí aplikace vědeckých poznatků, vedoucích k manipulaci a řízení hmoty převážně v nanoměřítku, za účelem využití velikostně a strukturně závislých vlastností a jevů, odlišných od těch příslušících individuálním atomům nebo molekulám, nebo jsou pouze extrapolací z větších velikostí, toho stejného materiálu. Nanoměřítko je pak stejnou normou (ISO/TS 80004-1) definováno jako: *velikost v rozmezí přibližně 1-100 nm.* Pojmem manipulace a řízení je myšlena také syntéza takových materiálů.[6] Velikostní určení měřítka je v oblasti nanotechnologií nutno považovat za spíše přibližný parametr. V praxi bývají některé struktury, typicky fullereny, zařazeny mezi nanoobjekty, přesto že je jejich velikost menší než 1 nm. Naopak je možné najít velké množství molekul, které svou velikostí přesáhnou 1 nm, ale za nanoobjekty považovány nejsou.

Nanomateriály:

Pojmem nanomateriály bývá obecně označena třída materiálů, které obsahují částice, jejichž velikost je alespoň v jednom prostorovém rozměru omezena. Předpona „nano“ označující v soustavě SI velikost 10^{-9}, pochází z řeckého slova nanos (νανοσ), které lze přeložit jako trpaslík. Rozměrovým omezením pro nanomateriály je již výše zmiňované nanoměřítko, které stanovuje velikost částic na 1-100 nm. Jako druhá podmínka pro nanomateriály je obecně považována změna vlastností materiálu v důsledku omezení jeho velikosti.
Definice nanomateriálu podle Evropské komise (18. 10. 2011):

„Nanomateriálem“ se rozumí přírodní materiál, materiál vzniklý jako vedlejší produkt nebo materiál vyrobený, obsahující částice v nesloučeném stavu, nebo jako agregát či aglomerát, ve kterém je u 50 % nebo více částic ve velikostním rozdělení jeden nebo více vnějších rozměrů v rozmezí velikosti 1 nm – 100 nm.[7]
Definice nanomateriálu podle mezinárodní organizace pro normalizaci (ISO/TS 80004-1) (neoficiální překlad):

Materiál splňující alespoň v jedné své vnější dimenzi podmínku nanoměřítka, nebo mající ve své vnitřní struktuře, nebo na povrchu, částice s velikostí v nanoměřítku. Tato definice také nastavuje danou hierarchii mezi jednotlivými pojmy a udává, které struktury mohou být pod pojmem nanomateriál zahrnovány.[6]



Obrázek č. 1: *Schématické znázornění vztahu mezi pojmy „nanomateriál“, „nanoobjekt“ a „nanostrukturovaný materiál“, nelze však vyloučit možnost, že i nanoobjekt může mít svou vnitřní strukturu, či povrch tvořen nanostrukturami. – jedná se tedy jen o schématické znázornění hierarchie. [převzato a upraveno]*[6]

2.1.2 Dělení nanomateriálů

Nanomateriály je možné klasifikovat na základě několika různých charakteristik. Nejběžnější způsob klasifikace, je na základě způsobu vzniku, zde se běžně rozlišuje skupina přírodních a syntetických nanomateriálů. Další z běžných způsobů dělení nanomateriálů je klasifikace na základě počtu dimenzí, ve kterých je materiál omezen na úroveň nanoměřítka.[8]

Přírodní nanomateriály

Ke vzniku nanomateriálů dochází i zcela přirozeně během některých geologických a biologických procesů v přírodě. Jako příklad geologických procesů je možné uvést přirozený vznik a postupný růst krystalů, či strukturní složení některých jílovitých typů půd. Jako další příklad lze uvést sopečnou činnost. Při výbuchu sopek se do ovzduší uvolní velké množství prachových částic, jejichž velikost je v řádech nanometrů. Funkční nanomateriály je možné nalézt v některých biologických systémech. Mezi funkční organické nanomateriály se řadí například nanokrystaly vosku pokrývající listy lotusu, lichořeřišnice a kapusty. Nanokrystaly vosku způsobují hydrofobicitu listů rostlin a přirozeně tak zabraňují zachytávání vody na povrchu rostliny. Biologické tkáně jako například svaly, nebo vlasy, mají specifickou hierarchickou strukturu a jejich základní stavební prvky splňují velikostní podmínky nanoměřítka.[9]

Syntetické nanomateriály

Syntetické nanomateriály vznikají cílenou syntézou, nebo jako vedlejší produkt průmyslových výrob a procesů. Nanočástice vznikající jako sekundární produkt, jsou často označovány jako tuhé imise, nebo ultrajemné nanočástice. Jedná se o částice, nejčastěji uvolňované ve formě zplodin z technologických výrob. Tuhé imise jsou běžně považovány za polutanty a kvůli jejich složení (často těžké kovy), je vyvíjena intenzivní snaha snižovat jejich množství v životním prostředí.

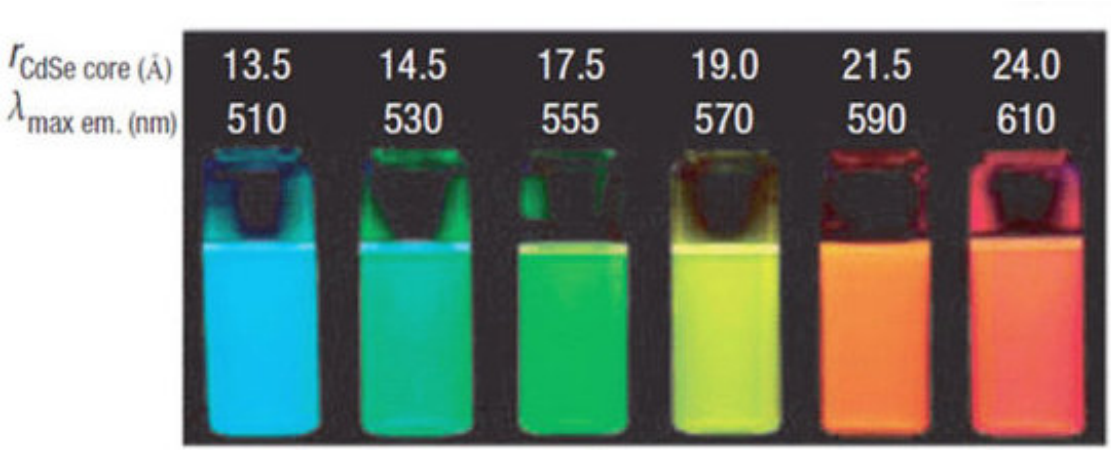
Druhou skupinou syntetických nanomateriálů, jsou cíleně syntetizované nanostruktury. Takto připravené materiály vykazují neobvyklé vlastnosti, nebo výrazné zlepšení konkrétních vlastností v porovnání s makro materiály se stejným složením. Konkrétní vlastnosti synteticky připraveného nanomateriálu závisí na jeho velikosti, tvaru, metodě přípravy a dalších charakteristikách. Syntetické materiály bývají běžně dále děleny podle jejich vlastností, nebo rozměru. Jelikož jsou vlastnosti i aplikace připraveného nanomateriálů výrazně ovlivněny omezeným rozměrem materiálu, je tato charakteristika také nejčastěji voleným parametrem pro další dělení této třídy.

2.1.2.1 0D nanomateriály

Pod pojmem 0D nanomateriály se rozumí struktury, které mají omezenou velikost na 1-100 nm ve všech 3 dimenzích. Do této skupiny patří nanočástice, kvantové tečky, ale i jedna z alotropických modifikací uhlíku **fullereny**. Koncepčně by se o fullerenech dalo uvažovat jako o vrstvách grafenu srolovaných do koule, připomínajících svou strukturou fotbalový míč. Jedná se o symetrické struktury sp^2 hybridizovaných atomů uhlíku. Aby byla molekula fullerenu stabilní musí vždy obsahovat specifický počet atomů (60, 70, 72, 84 a další). Objev prvního stabilního fullerenu vedl k objevům dalších uhlíkových nanostruktur, protože jako vůbec první struktura vykazoval odlišné a zajímavé vlastnosti. Například jsou fullereny rozpustné v řadě rozpouštědel, což je pro běžný uhlík neobvyklé. Fullereny je možné dále modifikovat, a to jak z vnější strany kulovité struktury, tak zevnitř. Možnost vložit jiný atom či molekulu dovnitř fullerenu, z něj tvoří perspektivní strukturu např. pro lokalizovaný transport léčiv v těle.[10]

Nanočástice (NP, „nanoparticles“) jsou jedním z nejznámějších a zároveň také nejstarších zástupců nanomateriálů, které byly zkoumány. NP kovů a jejich neobvyklé vlastnosti byly nevědomky využívány již před staletími. Dnes je již využití na NP více než designovou záležitostí, neobvyklé vlastnosti NP společně s jejich velmi malou velikostí totiž přináší zcela nové příležitostí v mnoha průmyslových odvětvích. Jedná se zejména o kulovité částice tvořené stovkami a vyššími tisícovkami atomů. NP mohou být využity ke zvýšení vodivosti materiálů, tvorbě velmi citlivých chemických senzorů, nebo mohou díky svému velkému specifickému povrchu sloužit jako levné varianty katalyzátorů. Vlastnosti NP přímo závisí na jejich chemickém složení, uspořádání atomů v částici, ale i na metodě přípravy, kterou byla nanočástice získána.[11]

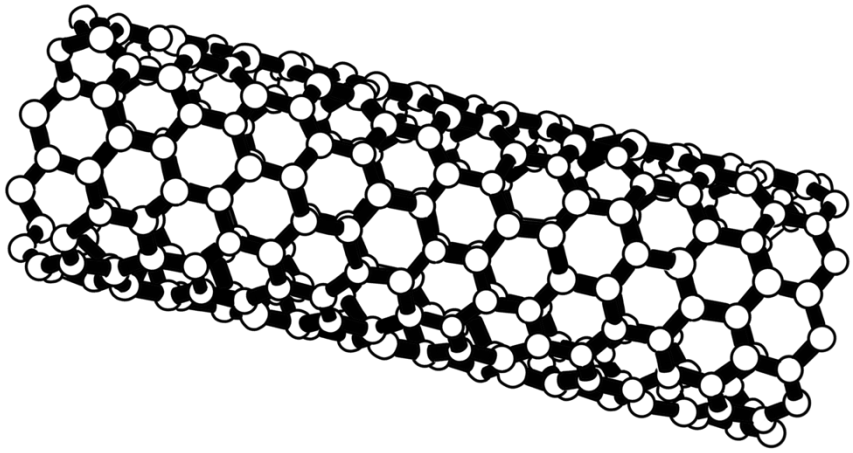
Posledním významným zástupcem 0D nanostruktur jsou **kvantové tečky (QD, „quantum dots“).** Díky neobvyklým optickým vlastnostem v této skupině rozlišujeme zejména uhlíkové kvantové tečky a QD tvořené z různých směsí polovodičů s dalšími prvky jako jsou Cd, Se, S nebo Zn. Svým rozměrem se QD typicky pohybují v rozmezí 1,5 – 10,0 nm. U částic s takto malými rozměry se začínají velmi výrazně projevovat kvantové jevy. Nejpodstatnějším z těchto projevů je výrazný posun v optických a elektronických vlastnostech struktury. Elektronová struktura pevných látek se skládá z určitých vrstev, které mohou být obsazeny elektrony. Vrstva elektronů nejdále od jádra atomu se nazývá valenční vrstva. Aby se elektron z této vrstvy dostal do vyšší energetické vrstvy musí překonat vzdálenost zvanou zakázaný pás Ten se u QD mění v závislosti na velikosti kvantové tečky a mění tak barvu QD, neboť barva vychází z elektronových přechodů.[12,13]



Obrázek č. 2: *Kvantové tečky tvořené slitinou CdSe o různých velikostech. Ukázka optických vlastností různě velkých kvantových teček, při ozáření UV světlem. [převzato ze zdroje[14]]*

2.1.2.2 1D struktury

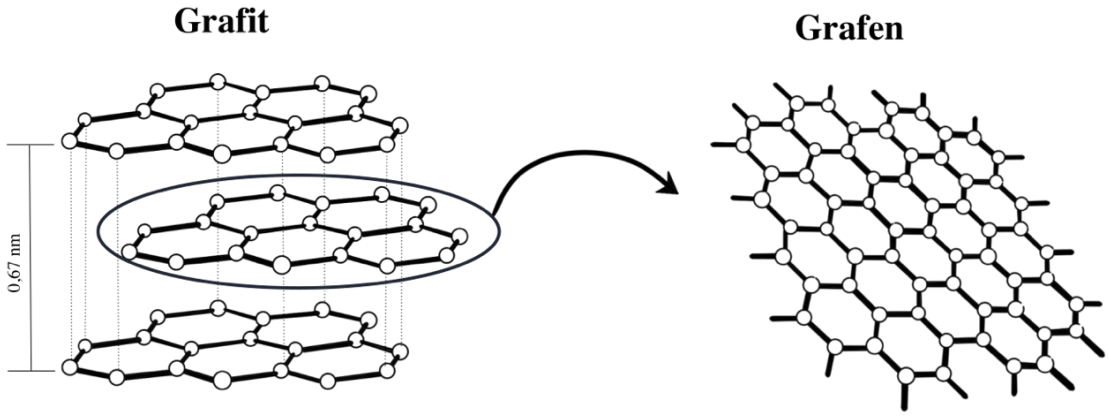
1D struktury definujeme jako struktury, které jsou ve dvou ze svých rozměrů omezeny na velikost menší než 100 mn. Tyto struktury je tedy možné si zjednodušeně představit jako dlouhé trubky nebo dráty s velmi malým průměrem. Délka 1D nanostruktur se standardně pohybuje v rozmezí 10–120 nm, mohou však být připraveny i mnohem delší struktury. Nejčastěji se 1D struktury dělí na nanovlákna, nanodráty a nanotrubice. Do těchto kategorií se struktury dělí na základě jejich délky, šířky jejich průměru, ale i způsobu přípravy a vlastností, které vykazují. V praxi jsou si však tyto kategorie velmi podobné a často bývají i zaměňovány.[15] Zajímavou skupinou mezi 1D nanomateriály jsou **uhlíkové nanotrubice (CNTs, „carbon nanotubes“**). Jejich vlastnosti závisí kromě na velikosti trubice i na konformaci, ve které se atomy uhlíku ve struktuře nacházejí. Úhel stočení uhlíkové sítě, která tvoří nanotrubici, je rozhodujícím faktorem mezi tím, zda se bude výsledná nanotrubice chovat jako vodič nebo polovodič.[16]



Obrázek č. 3: *Nákres struktury uhlíkové nanotrubice. [Vlastní ilustrace Sketchbook/Inkscape.]*

2.1.2.3 2D struktury

Dvoudimenzionální (2D) struktury, často označovány i jako tenké vrstvy nebo filmy, jsou nanoskopické struktury, které jsou prostorově omezeny pouze v jednom rozměru. Tyto materiály je možné si představit jako tenké sítě vzájemně propojených atomů. Extrémně malá šířka struktur jim dodává jedinečné fyzikální a chemické vlastnosti, jako je například elektrická vodivost, mechanická pevnost a další vlastnosti. Nejznámější zástupce 2D nanomateriálů je jedna z uhlíkových struktur **grafen.** První příprava grafenu v roce 2004 spočívala ve fyzikální exfoliaci jedná vrstvy grafenu z bloku grafitu. Grafen je tedy možné si představit jako jednu samostatnou vrstvu atomů uhlíku v grafitu. Struktura grafenu je označována za nejpevnější materiál, který má díky své extrémně vysoké hodnotě elektrické vodivosti mnoho využití v praktických aplikacích, jako jsou elektrody či senzory. Grafen lze modifikovat dalšími chemickými skupinami, čímž se dramatiky rozšiřují možnosti jeho aplikace.[10]



Obrázek č. 4: *Nákres struktury grafenu (vpravo) a porovnání se strukturou grafitu (vlevo) [vlastní ilustrace Sketchbook/Inkscape podle zdroje [17]]*

2.1.2.4 3D strukturované materiály

Skupina 3D strukturovaných materiálů je asi nejširší za všech skupin nanomateriálů. Mezi 3D strukturované materiály jsou zařazeny takové struktury, které jsou alespoň z 50 % tvořeny částicemi odpovídajícími alespoň v jednom rozměru nanoměřítku. Jedná se tedy často o kompozitní materiály složené z více částic, jejichž celková velikost přesahuje prostorové omezení nanoměřítka. Příkladem 3D strukturovaného materiálu je většina biomakromolekul. Ty jsou většinou tvořeny hierarchickou strukturou, což znamená že jsou složeny z opakujících se menších a menších částic. Dále se do této skupiny běžně řadí polymery a polymerní kompozity, vytvořené ze směsí různorodých materiálů.[18]

2.1.3 Metody přípravy nanomateriálů

Metody přípravy nanomateriálů lze rozdělit dle dvou hlavních přístupů.

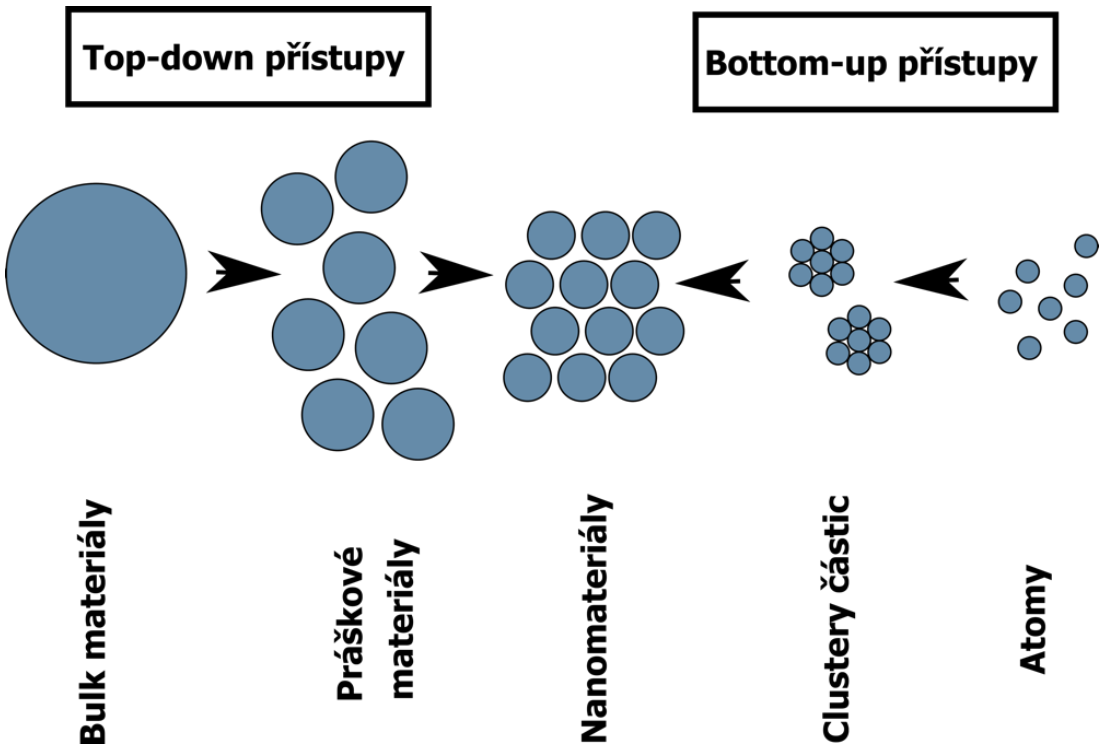
Top-down metody

- spočívají v postupném zmenšování makro materiálu až na požadovanou velikost nanostruktury. Ve většině případů se jedná o fyzikální metody, při kterých dochází k mechanickému namáhání materiálu, což vede k jeho rozpadu na menší částice.

Bottom-up metody

- spočívají v postupném skládání menších částic do větších klastrů, až do dosažení požadované velikosti. Bottom-up metody mají z pravidla přesnější výsledky. Velikost i vlastnosti konečné struktury totiž výrazně ovlivňují parametry syntézy, jako je teplota, tlak, přesný postup syntézy, ale i zvolené výchozí látky.[10]

Většina metod přípravy nanomateriálů vyžaduje využití specializovaných přístrojů, jako jsou mlýny, laserová zařízení, či autoklávy. Je však možné najít celou řadu metod, které je možné provést v běžné chemické laboratoři, bez nutnosti využití finančně náročného vybavení.



Obrázek č. 5: *Schematické znázornění metod přípravy nanostruktur. [vlastní ilustrace Sketchbook/Inkscape podle zdroje* [18]]

2.1.3.1 Top-down metody

Top-down metody bývají často označovány jako metody fyzikální. Jejich princip je totiž v mnoha případech založen na fyzikálních principech, kterými je dosahováno zmenšování materiálu až na požadovanou velikost. Mezi Top-down metody se zařazuje mechanické mletí, laserová ablace, litografické metody a mnoho dalších metod. Tyto metody, v různých obměnách, spočívají v postupném rozbíjení vstupního materiálu v pevném stavu. Rázovým zahříváním materiálu, nebo mechanickými nárazy, dochází k postupnému rozbíjení materiálu na menší a menší částice. Obecně jsou tyto metody velmi efektivním a levným způsobem vytváření práškových směsí různých materiálů. Nejčastěji se takto připravují nanočástice oxidů či karbidů různých kovů. Fyzikálními metodami ale vznikají neuniformní částice o různé velikosti i tvaru. Navíc zde často není možné přesné nastavení parametrů vznikajících nanostruktur. I přes tyto nevýhody jsou však široce využívány, zejména pro přípravu práškových směsí, které se dále zpracovávají.[19]

2.1.3.2 Bottom-up metody

Princip Bottom-up metod je založen na postupném skládání malých částic do výsledných větších struktur. Bottom-up metody bývají z pravidla přesnější a úpravou parametrů syntézy je možné vytvářet nanostruktury o přesně definované velikosti či tvaru. Do této skupiny metod se řadí depoziční metody, sol-gel metody, sedimentace, redukční metody, nebo takzvané green metody, které se zaměřují na hledání enviromentálnějších metod syntézy.[10]

Green metody

- zpravidla nevyužívají těžké kovy, či další toxické materiály a v průběhu syntézy se nevyužívají toxická rozpouštědla. Právě tyto metody mohou být z hlediska přenosu nanomateriálových syntéz do výuky na nižších stupních vzdělávání velmi zajímavé. Většina jiných metod totiž pracuje s chemikáliemi, se kterými dle zákona žáci ve školách pracovat nemohou.

Redukční metody

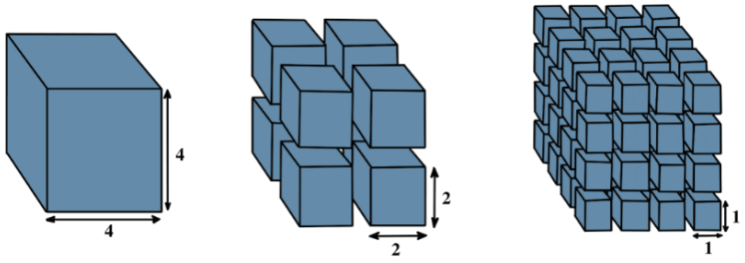
- spočívají v chemické redukci kovů z jejich solí. Jedná se o jednoduché metody, k jejichž provedení často není nutné použití žádného specializovaného přístrojového vybavení. Právě tyto metody je poměrně snadné provést v klasické laboratoři. K roztoku soli kovu se přidává redukční činidlo, které v závislosti na teplotě a pH roztoku redukuje atomy kovu z jeho iontů. Tak dojde ke vzniku krystalových zárodků v soustavě, a další redukcí zárodky rostou až do požadovaných velikostí. Takto připravené nanočástice je vždy třeba v roztoku stabilizovat, aby nedošlo ke shlukování nanočástic. Jako redukční činidlo lze využít celou řadu sloučenin, např. tetrahydridoboritanu sodný, citrát sodný, glukózu a další cukry. Volba redukčního činidla ovlivňuje kromě velikosti také tvar vznikajících částic.[20,21]

2.1.4 Vlastnosti nanomateriálů

Důvodem proč se o nanomateriály vědecká komunita tak intenzivně zajímá jsou jejich specifické vlastnosti, kterými se nanomateriály odlišují od 3D makro materiálů se stejným složením. V nanoměřítku dochází k významnému zesílení („nano-enhanced“) některých velikostně závislých vlastností, a u vybraných materiálů se objevují zcela nové vlastnosti („nano-enabled“), které u běžných makro materiálů nepozorujeme vůbec. U struktur s výrazně omezeným prostorovým rozměrem dochází k nejvýraznějším změnám v elektrických, optických, či mechanických vlastnostech.[8]

2.1.4.1 Specifická plocha povrchu

Specifická plocha povrchu je jedním z materiálových parametrů, který se s prostorovým omezením materiálů výrazně mění. Specifická plocha povrchu materiálů se běžně pohybuje v hodnotách desítek m^2/g, u nanomateriálů mohou hodnoty dosahovat stovek až tisíců m^2/g. S klesající velikostí částic dochází ke zvýšení počtu částic, které se nacházejí na povrchu struktury. Tím vzrůstá i podíl počtu částic na povrchu, oproti počtu částic uvnitř struktury. Například u částice o velikosti 1 nm tvoří povrchové částice téměř 30 % celé struktury. Molekuly, nebo částice na povrchu bývají zpravidla reaktivnější než částice uvnitř struktur. Ke změně reaktivity dochází na základě nevyrovnaných přitažlivých a odpudivých sil. Na částice uvnitř struktury působí obklopující částice ze všech stran rovnoměrně. Oproti tomu u částic na povrchu dochází k nevyrovnanému působení sil. Částice na povrchu tak získávají větší energii, což se obecně projevuje jejich vyšší reaktivitou. Tohoto jevu lze využít například při katalytických reakcích, protože na povrchu nanomateriálu dochází k zvýšenému projevu povrchových jevů, jako je například adsorpce.[10]



Celková velikost povrchu	96	192	384
Celkový objem	64	64	64
Poměr povrchu ku objemu	1,5	3	6

Obrázek č. 6: *Znázornění principu zvyšování velikosti specifické plochy povrchu se zmenšujícím se rozměrem jednotlivých částic materiálu. [Vlastní ilustrace Sketchbook/Inkscape]*

2.1.4.2 Elektrické a magnetické vlastnosti

Změna elektrických a magnetických vlastností nanomateriálů přináší zcela nové možnosti v technických a elektronických aplikacích. U některých materiálů, zejména u polovodičů, dochází při zmenšení rozměrů ke změnám ve velikosti zakázaných pásů, čímž se materiály mohou stát vodivými. Tuto změnu lze pozorovat na příklad u bóru, který je ve svém makro stavu polovodičem. Dvoudimenzionální síť vytvořená z atomů borů však vykazuje excelentní vodivé vlastnosti a chová se jako kov.[10] Vytvořením tenkých vrstev jiných materiálů na površích jiných struktur, lze také ovlivňovat vodivost a elektrické chování objektů. Vodivost lze materiálu dodat například potažením povrchu vrstvou grafenu.

Změna magnetických vlastností se projevuje u ferromagnetických materiálů nárustem magnetismu materiálu. Každý magnetický materiál se skládá z různých magnetických domén, které jsou vzájemně odděleny Blochovými stěnami. Velikost magnetických domén se odvíjí od velikosti částice. Zmenšování rozměru částice je možné se dostat do situace, kdy bude celá částice tvořena pouze jednou doménou. U jednodoménových částic však může nastat situace, kdy vznikne superparamagnetická částice, jejíž vlastnosti jsou významně závislé právě na velikosti dané částice. Superparamagnetismus je jev, při kterém částice vykazuje paramagnetické chování i při nižších teplotách, než je Curieho teplota.[22]

2.1.4.3 Optické vlastnosti

Optické vlastnosti nanomateriálů, opět zejména polovodičů, jsou důležitou charakteristikou v řadě nanotechnologických aplikací, jako je například fotokatalýza nebo fotovoltaika. Optické vlastnosti u nanomateriálů, lze stejně jako u běžných makro materiálů, definovat pomocí Lambert-Beerova zákona. Vlnová délka záření je tedy závislá na jeho energii a elektronové struktuře částice. U nanomateriálů je podstatným parametrem velikost struktury. Stejně jako u elektrických vlastností se totiž projevuje fakt, že v závislosti na velikosti částice se mění velikost zakázaného pásu. Šířka zakázaného pásu se rovná energii, kterou je třeba částici dodat, aby se elektrony v atomu dostali ze svého základního stavu do energeticky vyššího stavu. Je-li částici dodávána energie, část ekvivalentní šířce zakázaného pásu je pohlcena a přebytečná energie je vyzářena ve formě viditelného záření. Kromě samotné velikosti částice jsou optické vlastnosti nanomateriálů ovlivněny také chemickým složením materiálu, tvarem částic, způsobem přípravy a dalšími faktory.[18]

2.2 Pedagogické aspekty výuky nanotechnologií

K popisu komplexní problematiky výuky nanotechnologií a nanomateriálové chemie je vhodné nejprve krátce nastínit základní strukturu českého vzdělávacího systému. Státní vzdělávací systém totiž udává některé směry, kterým budou podléhat i všechny aspekty výuky nových vědeckých témat, jako jsou nanotechnologie a nanomateriálová chemie. K dodržení aktuálnosti bude na celou tematiku nahlíženo optikou právě probíhající revize vzdělávacího kurikula. Tato reforma přidává otázce výuky dynamicky se vyvíjejících témat ve vědě na relevanci, protože udává mimo jiné i potřebu přizpůsobení se výuky přírodních věd modernímu vývoji ve vědě a výzkumu. Jedním z podstatných výstupů probíhající reformy vzdělávacího kurikula v České republice bylo vytvoření nového konstruktu *kritická a dynamická místa kurikula.* Tento konstrukt vychází z probíhající a nutné modernizace kurikula pro 21. století.

2.2.1 Vzdělávací kurikulum v České republice

Celý systém vzdělávání v České republice se odvíjí od **Strategie vzdělávací politiky České republiky do roku 2030+,**[23] která udává základní cíle pro vzdělávání v následující dekádě. Tento dokument je v platnosti od roku 2021 a navazuje na předchozí **Národní program rozvoje vzdělávání v České republice,**[24] nazývaný také **Bílá kniha**, který byl v platnosti od roku 2002 do roku 2020. Hlavní cíl obou těchto dokumentů spočívá v ustanovení jednotné vzdělávací politiky, která odpovídá na současné potřeby společnosti v oblasti vzdělávání a dlouhodobého rozvoje. Strategie 2030+ uvádí, že cílem vzdělávání je motivovaný jedinec, vybavený základními a nepostradatelnými kompetencemi, který dokáže využít v co nejvyšší míře svůj potenciál v dynamicky se měnícím světě, ve prospěch jak svého vlastního rozvoje, tak s ohledem na druhé, a ve prospěch rozvoje celé společnosti.[23] Tento cíl má být naplněn skrze několik strategických linií, mezi něž patří rovný přístup ke vzdělávání, podpora pedagogických pracovníků, nebo například proměna obsahu, způsobů a hodnocení vzdělávání. Z tohoto základního dokumentu ministerstva školství jsou dále odvozovány všechny další vzdělávací dokumenty na národní úrovni i úrovni jednotlivých škol. Strategie vzdělávání rozděluje vzdělávání na formální a neformální.

2.2.2 Formální vzdělávání

Formálním vzděláváním je míněna výuka ve školách, které je chronologicky řazena od mateřských přes základní a střední odborné, až po vysoké školy a univerzity. Instituce formálního vzdělávání se na národní úrovni řídí zpravidla **rámcovými vzdělávacími programy (RVP)**[25,26]. Dokumenty RVP udávají seznam požadovaných výstupů a kompetencí jedince, který absolvoval danou úroveň vzdělávání.

Přírodovědné vzdělávání je v českém RVP obsaženo zejména ve vzdělávací oblasti Člověk a příroda. Tato oblast je dále rozčleněna na jednotlivé předměty (biologie, chemie, fyzika), které jsou na většině škol vyučovány samostatně. Ačkoliv stávající kurikulum strukturu oddělených předmětů striktně neudává, jedná se (i díky rozčlenění RVP) o nejčastěji uplatňovanou formu výuky přírodních věd.

Výuka jednotlivých přírodních věd tak prakticky způsobuje spíše překážky ve výukovém procesu. Některá témata se dublují, jako například kapitola Látky a tělesa ve fyzice (F) a kapitola Částicové složení látek v chemii (CH). K identické duplicitě potom dochází i v RVP pro gymnázia, kde se kapitoly Mikrosvět (F) a Obecná chemie – stavba atomu (CH) tematicky překrývají dokonce ještě více, než u zmíněných kapitol RVP ZV. Důsledkem těchto překryvů v učivu je často demotivace žáků, protože jim často chybí doplnění širšího kontextu a důvodu, proč je vyučované téma opakováno. Další z problematik výuky přírodních věd je stále převažující instruktivistický přístup k výuce. Ve kterém převažuje aktivní role učitele, který předává žákům poznatky. Úkolem žáků je pasivně poznatky přijímat, což často vede k odtržení vyučovaných témat od praktického života. Vytrácí se tak „aplikační kontext" a probírané učivo se pro žáky stává „školní vědou", kterou se musí naučit, ale nebude jim k ničemu.[27] Jako řešení těchto problémů se ukazuje mezipředmětové propojení a tandemový způsob výuky, kdy jsou žáci v rámci jednoho tématu vystaveni všem praktickým aspektům, společně s jednotlivými oborovými propojeními. Právě mezipředmětová propojení nabízejí možnost začleňování nových témat do klasické výuky.

2.2.3 Neformální vzdělávání

Neformální vzdělávání dokresluje koncepci celoživotního učení. Proces celoživotního učení je v dnešní době stále více klíčový. S vývojem technologií, rozvojem robotizace a automatizace totiž přichází také transformace pracovního trhu a další výrazné změny ve společnosti, které často vyžadují, aby jedinec získával nový set dovedností a vědomostí. Právě tento proces by měly podporovat a podněcovat instituce neformálního vzdělávání. Neformální vzdělávání v České republice má celou řadu forem. Řadíme sem **muzea, science centra, centra volnočasových aktivit, ale i dobrovolné soutěže a vědomostní olympiády, kurzy pro dospělé** a mnoho dalších institucí. Neformální vzdělávání slouží jako stále více cenné doplnění formálního vzdělávání, které rozvíjí klíčové kompetence jedince a jeho motivaci k učení.

Koncept neformálního vzdělávání a jeho propojení s formálním sektorem je zakotven v kurikulárních dokumentech a právě probíhající revize RVP pro základní školy jej považuje za jeden z klíčových cílů.[28]

2.2.4 Přírodovědná gramotnost žáků

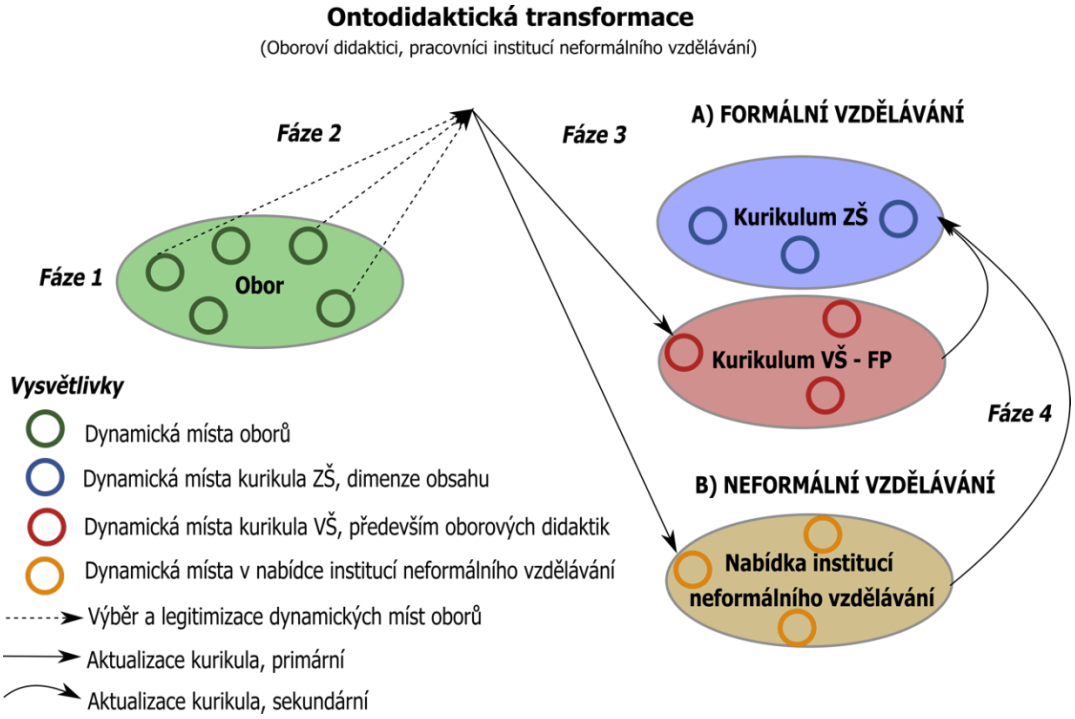
Pojem **přírodovědná gramotnost (PřG)** označuje osvojování dovedností a vědomostí a hodnot v přírodovědných disciplínách. Z počátku PřG představovala spíše soubor cílů, kterých by mělo být dosaženo. Od roku 2000 začal být tento pojem postupně začleňován do mezinárodních studií a používán pro srovnání úrovně vzdělanosti v jednotlivých státech. Pro Českou republiku bylo klíčové, v ohledu vymezení pojmu PřG, zapojení žáků Českých škol do mezinárodního šetření PISA, které porovnává vzdělanost žáků a s tímto pojmem pracuje. Vymezení pojmu se tak začal věnovat Výzkumný ústav pedagogický, jehož pracovníci vymezili PřG společně s čtenářskou, finanční nebo ICT gramotností v publikaci Gramotnosti ve vzdělávání.[29] Tato publikace obsahovala velké množství paralel a propojení s RVP – ZV, který sice nepracuje přímo s pojmem PřG, ale cíle vzdělávací oblasti Člověk a příroda jsou s konceptem PřG téměř totožné. V roce 2015

byla dvojice dokumentů doplněna ještě o publikaci České školní inspekce.[30] Ačkoliv tyto dokumenty nedefinují pojem PřG zcela shodně, jsou mezi jednotlivými definicemi jen velmi malé rozdíly. Všechny publikace uvádí, že PřG spočívá ve znalosti a používání **přírodovědných pojmů**, znalosti a používání **metod přírodních věd, reflexi vědecké práce** a znalosti širšího **kontextu přírodovědného poznání**. Tyto čtyři základní pilíře dále podrobně popisují vědomosti a dovednosti, které by měl každý jedinec zvládnout, aby byl schopen úspěšně fungovat ve společnosti.[31]

Společně s vývojem přírodních věd v posledních letech, a zvyšující se dostupností informací se postupně mění požadavky na soubor vědomostí a zejména dovedností, které by si měl jedinec osvojit. K transferu nových poznatků a podpoře předávání nově vznikajících dovedností se zdá výhodné využít institucí neformálního vzdělávání. Tyto instituce často nezajišťují pouze vzdělávání žáků, ale i celoživotní vzdělávání dospělých. Skrze neformální vzdělávání je tak možné nově vznikající potřeby společnosti předávat nejen nejmladší generaci, ale i dalším členům společnosti. Z dokumentů zastřešujících pojem PřG tedy vyplývá, že aby byla přírodovědná gramotnost jedince podpořena v plném rozsahu, musí být naplněna role jak formálního vzdělávání, tak musí být zapojeno i vzdělávání neformální, které může zprostředkovat více praktické zážitky v průběhu celého života jedince.[29]

2.2.5 Dynamická místa kurikula

Konstrukt **dynamických míst kurikula** vychází z předpokladu, že téměř všechny vědecké disciplíny procházejí dynamickým vývojem. Některé nové poznatky vedou k obohacení, aktualizaci, či dokonce k zásadním změnám ve vnímání dané oblasti výzkumu.[5] Tyto oblasti se označují jako **dynamická místa oborů**.[32] Národní vzdělávací systém, jakožto celek, není schopen přizpůsobovat se každému novému poznatku, který z odborné sféry přichází. Tento fakt ale znamená, že kurikulární dokumenty ve srovnání s výzkumem a vývojem neustále zastarávají. Jelikož se však od národních RVP odvíjí obsahy učebnic, tematické plány, a nakonec i samotné obsahy vyučovaných hodin, není prakticky možné, aby byly v RVP obsaženy všechny nové poznatky. Proto byl na základě revizí kurikulárních dokumentů navržen právě konstrukt dynamických míst kurikula. Tyto vytipované oblasti se opírají o již výše zmíněná dynamická místa oborů. Mezi dynamická místa byla zařazena témata, která buďto zásadním způsobem mění způsob chápání a aplikace dané oblasti oboru, nebo nové a perspektivně se rozvíjející oblasti odborných disciplín. Tato témata je třeba pečlivě vybírat, aby nedocházelo pouze ke zvyšování objemu učiva, které mají žáci v rámci počáteční výuky získat. U vybíraných témat je tak posuzována jejich relevance na základě několika kritérií (např. užitečnost pro společnost nebo jedince, význam pro budoucnost apod.) Ve chvíli, kdy téma projde tímto výběrem, musí projít procesem didaktické transformace. Zde je důležitý aspekt, zda je možné téma navázat na některé z již vyučovaných oblastí RVP. Zejména v přírodních vědách totiž existuje velké množství oborů, které se dynamicky vyvíjí, ale jsou až příliš úzce specifikované.[5] V této fázi výběru tak neprojde spousta témat, která by se z odborného pohledu zdála vyhovující, protože nejsou vhodná pro běžnou výuku. Jako příklad jednoho z dynamických míst kurikula je možné uvést téma „moderní kartografie a GPS“ v geografii, nebo téma „magnetická kapalina“ ve fyzice.[32]



Obrázek č. 7: *Znázornění principu výběru dynamických míst kurikula a jejich postupné začleňování do kurikulárních dokumentů. [převzato ze zdroje [5]]*

V otázce výuky dynamických míst kurikula je třeba nastínit i další překážky než jen národní vzdělávací systém. Nová témata se mohou ve výuce snadno stát kritickými oblastmi výuky nejen pro žáka, ale i učitele. K výuce nových témat většinou neexistuje mnoho materiálů a učitelé nejsou s tématem důkladně seznámeni. Což ve většině případů vede k tomu, že se těmto tématům vyhýbají a z výuky je vypouštějí.

Další překážku mohou představovat i vzdělávací podmínky. Výuka nových vědeckých poznatků často zahrnuje využití technologií, kterými škola nemusí disponovat. V kontextu těchto překážek výuky dynamických míst kurikula se ukazuje, že ideálním prostředím pro zprostředkování jsou instituce neformálního vzdělávání, jako jsou science centra, či muzea. Tyto instituce mohou disponovat vyšší pomůckovou a technologickou vybaveností, ale i spoluprací s odbornými pracovníky, kteří se specifickému tématu věnují a mohou poskytnout teoretické podklady a praktické zkušenosti. Edukační oddělení muzeí a science center mají také větší prostor vytvářet vzdělávací obsahy věnované konkrétním kapitolám (nejen) dynamických míst kurikula. Mohou tak vytvářet specificky zaměřené edukační programy, které se věnují jednomu vybranému tématu.

Jako příklad je možné uvést program zaměřený na téma magnetická kapalina, jehož realizace probíhala v roce 2015/2016 v olomouckém science centru Univerzity Palackého – Pevnosti poznání. Tento program sloužil k představení základních principů nanotechnologií žákům ZŠ a SŠ pomocí ukázek chování magnetických kapalin a nanočástic železa. Tato problematika navazovala na oblast RVP předmětu fyzika, kdy se žáci učí o magnetismu. Výuka pomocí magnetické kapaliny tak umožnila současně upevnění standardně vyučovaného tématu ve školách, a představení nového dynamicky se vyvíjejícího oboru nanotechnologie. Zmiňovaný program se v Pevnosti poznání po roce 2016 již nevyučoval. Nicméně praktická část této diplomové práce na něj navazuje.

2.2.6 Nanotechnologie jako dynamické místo kurikula

Z kapitoly o dynamických místech kurikula vyplývá, že aby se dalo určité dynamicky se rozvíjející téma zařadit do skupiny dynamických míst kurikula, musí splňovat několik výše zmíněných kritérií. Budeme-li podle těchto kritérií posuzovat tematiku nanomateriálové chemie a nanotechnologií, dojdeme k závěru, že se jedná o téměř ukázkovou oblast. Tématika nanotechnologií se od vzniku oboru v 50. letech minulého století neustále posouvá kupředu a přináší řadu zásadních objevů, nových materiálů a technologických řešení. I přes to, že se jedná o poměrně specificky zaměřený obor, který staví na složitých a komplexních fyzikálně-chemických principech, nacházejí dnes nanotechnologické aplikace své místo téměř ve všech oblastech – od technologií, přes zdravotnictví k potravinářství a enviromentálním řešením. Fyzikálně-chemické principy, na kterých nanotechnologie staví, je v mnoha případech možné označit jako pokročilé aplikace základních fyzikálních a chemických zákonů. Tudíž je možné vybraná témata se základními jevy přímo propojit. Důležité je zmínit, že oblast nanotechnologií tak nespadá pouze do výuky chemie, ale i fyziky a dalších přírodovědných předmětů. Téma tedy nabízí i mezipředmětové propojení a je možné jej napojit hned na několik kapitol stávajícího RVP pro ZŠ a SŠ. Kapitola nanotechnologie tedy nevystupuje přímo v RVP, ale je zařazena právě do seznamu vytipovaných dynamických míst kurikula. Díky ukotvení tohoto didaktického konstruktu se tak začíná rozvíjet i zájem o výuku tohoto tématu, ať už ve školách, tak v rámci neformálního vzdělávání. Největší překážku ve výuce nanotechnologií na nižších stupních vzdělávání však stále představuje informační a materiálová základna v českém jazyce. Jelikož tématika nanomateriálů a nanotechnologií není součástí výuky v nižších stupních vzdělání a na většině vysokých škol není ani součástí programů pregraduální přípravy učitelů chemie, je téma stále poměrně vzdáleno českým učitelům, edukátorům, ale i široké veřejnosti.

2.2.7 Další vzdělávání pedagogických pracovníků

Další vzdělávání pedagogických pracovníků je v České republice povinnou součástí pedagogické praxe každého pedagogického pracovníka. Jedná se o nástroj rozvoje a celoživotního vzdělávání pedagogů, aby byli schopni přizpůsobovat se vývoji vzdělávací politiky, ale také aktuálním didaktickým trendům. V České republice upravuje povinnost prohlubovat a zvyšovat kvalifikaci učitelů zákon č. 262/2006 Sb., Zákoník práce, paragraf 230 a 231. Rozvoj kvalifikace pedagogů vychází z teze, že učební proces a povinná školní výchova může dosahovat svých cílů pouze v případě, že má vyučující pedagog dostatečné kompetence, a to jak odborné ve vyučované předmětu, ale i obecně pedagogické.[33] Další vzdělávání pedagogických pracovníků tak má sloužit jako nástroj k rozvoji učitelů. Přináší nová témata, metody a formy do výuky a při správném provedení předává pedagogům efektivní systémy, které mohou přenášet do vlastní výuky ve školách.[34] Kurzy dalšího vzdělávání jsou tak ideální příležitostí k transferu nových vědeckých témat a výsledků aktuálního výzkumu a vývoje, které byly zařazeny mezi dynamická místa kurikula. Jedná se většinou o témata, se kterými se učitelé nesetkají v rámci pregraduální přípravy učitelů. Akreditované kurzy dalšího vzdělávání tak mohou nabídnout výuku zprostředkovanou odborníky, zaměřenou na přenos specifických témat do výuky na školách.

2.3 Přehled stávajících vzdělávacích metodických materiálů a zdrojů v ČR

Začleňování nanomateriálových věd do výuky na ZŠ a SŠ je klíčové pro vzdělávání a trénink budoucí generace inženýrů a vědců. Nanomateriálová vědy by měla být vyučována tak, aby výuka mířila jak na vědomosti, tak na kompetence žáků, kteří se jí účastní A to s využitím metod a forem výuky, které budou tato prostředí podněcovat, jak ve školních třídách, tak mimo ně. Zejména v nižších stupních vzdělávání by ve výuce nanotechnologií měl být kladem důraz na aktivity zaměřené na vývoj a principy nanotechnologií na úkor aktivit vyžadujících pochopení specifické operace, či složité výpočty. Interaktivní výuka nanotechnologií je pak klíčem k úspěšnému přenesení tematiky do výuky. Jako každá další přírodní věda má i nanomateriálová věda výhodu možnosti využití žákovských experimentů ve výuce. Při provádění edukačních experimentů totiž díky aktivnímu zapojení žáků dochází k hlubšímu porozumění a rozvoji širokého spektra klíčových schopností.[35] V dalších odstavcích jsou popsány didaktické metody vybrané jako nejvhodnější, pro efektivní výuku nanomateriálových věd. Kromě vyjmenovaných metod pro ucelenější výuku této tematiky je vhodné implementovat zmínky o nanotechnologických postupech a aplikacích do běžné výuky.

2.3.1 Nano v učebnicích chemie

Oblasti nanotechnologie a nanomateriálová chemie momentálně nejsou samostatně zařazeny do RVP[25,26] pro základní ani gymnaziální vzdělávání v České republice. Tudíž se tato kapitola běžně neobjevuje ani ve školních vzdělávacích plánech v předmětech fyzika, chemie či biologie. Oblast je tak momentálně vyučována pouze ve specializovaných chemických a fyzikálních vysokoškolských oborech. Při bližší analýze učebnic přírodních věd pro střední i základní školy v Českém jazyce je však možné nalézt konkrétní zmínky o některých nanostrukturách nebo nanotechnologických aplikacích.

Jako příklad je možné uvést několik příkladů z učebnice ***Hravá chemie 8*** určené pro 8. ročník základních škol (ZŠ) a příslušné ročníky víceletých gymnázií.[36] V kapitole Prvky 14. skupiny jsou u Uhlíku zmíněny i fullereny a uhlíkové nanotrubičky, jako příklady alotropických modifikací uhlíku. Je tam jednoduše popsána jejich struktura, vlastnosti i příklady možných aplikací těchto látek. Další zmínka v učebnici je sice pouze okrajová, ale v kapitole Směsi, je samostatně vymezen pojem koloidy, jakožto specifický typ heterogenní směsi. Tento pojem již v učebnici není dále vysvětlen, ani zmiňován.

Další příklad je možné uvést z jiné, poněkud netradiční, učebnice chemie, a to z ***Chemie pro spolužáky – Anorganická chemie.***[37] V této učebnici určené pro výuku chemie na středních školách je možné najít zmínky o nanotechnologiích na podobných místech jako v předchozím příkladu. Na rozdíl od Hravé chemie 8 je však kapitola o alotropických modifikacích uhlíku rozvinuta o podrobnější popis, a kromě fullerenu a nanotrubiček je zmíněn i grafen a jeho vlastnosti. V této učebnici je více rozvinuto i pojednání o aplikacích. Je zde použit pojem nanoroboti a elektronické aplikace nanotechnologií.

Kromě zmíněných příkladů je možné obdobné zmínky o nanomateriálech nalézt i v dalších běžně používaných českých učebnicích chemie. Z tohoto krátkého nástinu lze usuzovat dva závěry.

Existence nanomateriálů a nanotechnologií je akcentována v aktuálně využívaných učebnicích i přesto, že téma není zaneseno do vzdělávacích plánů. Ačkoliv se jedná jen o pouhé zmínky a doplnění vyučovaných témat, jsou to důležitá místa, která dokazují, že tematika nanomateriálů do výuky přírodních věd ve 21. století patří.

Druhým závěrem může být, že nedochází ke kontextualizaci tematiky. Žáci se dozvídají, že existuje uhlíková nanotrubička, ale nedostávají žádnou další informaci, se kterou by si tento pojem mohli spojit, ani širší kontext, do kterého by si mohli pojem zařadit. Což společně s medializací tematiky nanomateriálů často způsobuje, že žáci znají velké množství pojmů, které však nejsou schopni vzájemně propojit do většího a smysluplného celku.

2.3.2 Metodické materiály v oblasti nanotechnologií

Během posledních 20 let se debata o vzdělávání v oblasti nanotechnologií na nižších stupních vzdělávání postupně rozvíjela na různých úrovních. Od vědeckých center a národních iniciativ odborníků, po samotné pedagogy a zainteresované členy široké veřejnosti. Požadavek na vznik materiálů k výuce postupně rostl společně s rozšiřováním oboru a jeho pronikáním na spotřebitelský trh. Na základě těchto požadavků začaly postupně vznikat edukační aktivity a programy, které sloužily k vzdělávání ve školách i pro širokou veřejnost. Většina těchto programů je zaměřena na mezipředmětové vazby, které se v oblasti nanotechnologií silně projevují.

Množství metodických materiálů a materiálů do výuky v Českém jazyce se postupně rok od roku zvyšuje. Na rozdíl od zahraničí (USA, Španělsko, UK, …) neexistuje momentálně národní platforma věnovaná edukaci o nanotechnologiích. V ČR sice máme ***Asociaci nanotechnologického průmyslu*** (nanoasociace),[38] která se v rámci projektu „Česko je nano“ věnuje edukaci, ta je však zaměřena spíše na obchodní a průmyslové prezentace a odborné konference, než na vzdělávání na úrovních škol. Obecně lze říct, že většina vznikajících edukačních materiálů, které jsou veřejně dostupné jsou výsledky diplomových či jiných akademických prací a odborných článků, určené pedagogům zejména středních škol. Nutné je také neopomenout materiály, které jsou vytvářeny přímo pedagogy pro jejich vlastní potřebu. Tyto materiály, ačkoliv existují, nejsou veřejně dostupné. Seznam volně dostupných materiálů je tak značně omezený, i tak je ale možné v materiálech nalézt mnoho inspirativních úloh, které je možné jednoduše přenést do výuky. Aby byly metodické materiály v praxi opravdu použity, musí splňovat několik základních pravidel. Obsah materiálů musí být snadno přenositelný do školního prostředí. Materiál musí být srozumitelný, a to jak pro učitele, tak pro žáky. Ideální stav je, když k provedení aktivity pedagog nepotřebuje žádné specifické pomůcky, či učební prostředí. Ze všeho nejvíc, však materiál musí být veřejně dostupný. Následující seznam prezentuje některé z těchto materiálů.

Edukační videa a prezentace:

Ve známém projektu Akademie věd ČR „Otevřená věda,“ vznikl neméně známý animovaný pořad ***NEZkreslená věda.***[39] V devíti řadách animovaného seriálu jsou

3 epizody věnované tematice nanosvěta a nanotechnologií. Jedná se o videa s názvy *Kukátko do nanosvěta, Kde je hranice nanosvěta a Chytré materiály*. V několika dalších epizodách jsou zmíněny některé z aplikací nanotechnologií, jako jsou mikročipy, baterie, elektromotory a další. Ke každému videu je na webových stránkách metodický list s kontrolními otázkami z videa a křížovkou, které ověřují vědomosti žáků získané z videa.

Odborné články:

Dalším místem, kde lze najít metodické materiály a návrhy přístupů k výuce nanotechnologií na školách, jsou odborné články a závěrečné práce vznikající na univerzitách. Většina aktivit, které popisují odborné články spočívá ve využití edukačních experimentů. Edukační experiment má ve výuce přírodovědných oborů nepostradatelnou roli. Slouží jako médium zprostředkovávající abstraktnost vědeckých konceptů skrze praktickou ukázku. Zvláště u nanotechnologií je abstraktnost oboru umocněna projevem kvantových jevů, které se v takto malých systémech začínají významně projevovat. Praktická demonstrace pomocí edukačního experimentu však nabízí možnost ukázat projevující se jevy a vlastním pozorováním žáků je popisovat a vysvětlit. Zapojení edukačních experimentů je tak pravděpodobně nejvhodnější výuková metoda pro přenos nanotechnologií a nanomateriálové chemie do výuky. I přes to, že je nanotechnologie technologicky náročným oborem, využívajícím mnoho specializovaných pomůcek a přístrojů, je možné najít experimenty nenáročné na pomůcky či finance. I zjednodušené ukázky využívající obdobné předměty, nebo pouze srovnání, mohou posloužit k hlubšímu porozumění žáků.

Jako příklad lze uvést článek **Praktické úlohy z koloidní chemie**[40], který vyšel již v roce 2005 v chemických listech. V článku je možné najít praktické návody na jednoduché experimenty, pomocí kterých je možné pozorovat principy procesů, které se odehrávají na hranici nanosvěta.

Další z článků, kde je možné nalézt návrh celého učebního procesu dle metody 5E, je článek **Nanotechnologie ve výuce Fyziky na střední škole**[41], který vyšel ve sborníku z konference Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky. V článku jsou navrhnuty dvě ucelené aktivity do výuky, *magnetismus v nanosvětě* a *velikost a měřítko*. Každá aktivita je rozdělena na jednotlivé části dle metody 5E a článek podrobně popisuje, jakou roli má učitel v každé z výukových fází a k jakým poznatkům by žáci měli v jednotlivých fázích dojít.

Odborných článků na téma výuka nanotechnologií vyšlo na ČR již celá řada, a to jak v odborných časopisech, tak i jako výstupy z pedagogických konferencí. Tyto články však často zapadnou mezi dalšími tématy a pro běžnou pedagogickou činnost nejsou snadno přístupné.

Databáze pokusů:

Pro zajištění, co nejvyšší přenositelnosti do školního prostředí vznikla v roce 2022 **databáze pokusů s nanomateriály**[42,49] na veřejné webové platformě Wikiknihy[43]. V databázi jsou nahrány pokusy s tematikou nanomateriálů, které jsou upraveny, pro využití ve výuce. Každý pokus je doplněn o grafické znázornění a metodické poznámky. Jelikož je celá databáze postavená na veřejné platformě Wikipedie, je zdarma přístupná všem a je možné zpětně editovat obsah, přidávat pokusy nebo další materiály a vkládat komentáře s praktickými poznámkami z reálné výuky. Pokusy lze v databázi filtrovat podle několika kritérií (bezpečnost, ročníkové zařazení). Databáze však zatím obsahuje jen omezené množství pokusů a je určitě na místě její rozšíření a doplnění o další materiály. Přímý odkaz na databázi:
https://cs.wikibooks.org/wiki/Chemické_pokusy_s_nanomateriály.

Projektová výuka:

Projektová výuka je jednou z možných didaktických cest, jak předat žákům komplexní ucelené téma, které má zpravidla přesah do více předmětů a výukových celků. Termín projekt je v tomto případě chápán jako komplexní pracovní úkol v rámci, kterého žáci samostatně řeší stanovený problém. Nejvýznamnější charakteristikou projektové výuky je stanovený cíl, který představuje předem stanovený výstup (výrobek, praktické řešení), který žáci plní. Zejména z pohledu interdisciplinarity jsou nanotechnologie ideálním tématem pro projektovou výuku. Jedná se o aktuální a rozvíjející se obor, který využívá poznatků ze všech odvětví přírodních věd. Žáci mají možnost v projektu vytvářet vlastní kreativní řešení na problémy, se kterými se průmysl aktuálně potýká, a nanotechnologické aplikace mohou být jejich odpovědí. Jednoduše se dá využít faktu, že nanotechnologická řešení jsou často inspirována přírodními procesy, nebo strukturami. Projektová výuka tak může být například postavena právě na tomto principu.[44]

Dobrým příkladem projektové výuky je výstup rigorózní práce Mgr. Zdeňky Hájkové z roku 2011.[45] Vzniknul návrh na implementaci tematiky nanotechnologií do výuky pomocí 4 týdenního projektového celku, pro studenty středních škol. V projektovém celku se žáci seznamují se světem pod nanoměřítkem, jakožto redaktoři časopisu, který v rámci výuky vytvářejí. Výukový celek, tak provází žáky od úplného úvodu do nanosvěta, až po praktické aplikace. Žáci ve skupinách připravují vlastní časopis, který následně prezentují a recenzují. Projektový celek efektivně pracuje s rozvojem schopnosti hodnotit vlastní práci, i práci ostatních. Také je zde názorně demonstrováno mezipředmětové propojení mezi Českým jazykem a přírodovědným vzděláváním. Jediným slabým místem z pohledu přírodovědného vzdělávání může být, že žáci v průběhu neabsolvují žádnou praktickou laboratorní práci, při které by sami zkoumali vlastnosti nanomateriálů. To však zajišťuje, že je celek velmi snadno přenositelný do běžné výuky, jelikož nepotřebuje žádné specifické materiály ani výukové prostory.

Exkurze:
Jako edukační médium lze využít i odbornou exkurzi do vybraných nanotechnologických firem a výzkumných center, nebo na chemické a fyzikální katedry některých vysokých škol. Nabídka exkurzí pro školy je poměrně široká, ale vždy stojí na primární iniciativě pedagoga a představuje organizační a často i finanční zátěž pro školní skupinu. Samotné exkurze bývají zpravidla zdarma, ale vždy je nutno zvážit náklady na dopravu na místo. Možnost exkurzí s tematikou nanomateriálů a nanotechnologií pro středoškolské školní skupiny poskytuje například i *katedra fyzikální chemie UPOL*, kde si žáci mohou vyzkoušet i laboratorní práci a přípravu nanomateriálů. Dalšími místy, která pořádají exkurze pro školy je například *výzkumný ústav CATRIN v Olomouci*, *Ústav fyzikální chemie Jaroslava Heyrovského AVČR v Praze*, *Technická univerzita v Liberci*, *Výzkumný ústav Masarykovy univerzity v Brně CEITECH*, společnost *Contipro* a další.

2.4 Výzvy a perspektivy ve výuce nanotechnologií

2.4.1 Konvergence přírodních věd pomocí výuky nanotechnologií

Díky postupnému pronikání nanomateriálových věd do všech oblastí vědeckého výzkumu se z nanotechnologií postupně stalo mezioborově bohaté odvětví, které ve svých mnohých aplikacích využívá fyzikálně-chemické poznatky o materiálech aplikované v inženýrství, lékařských vědách nebo ekologii. Díky tomu, že se nanotechnologie od jiných oborů často odlišuje hledáním zcela nových a netradičních řešení, může do běžné výuky nabídnout i řadu netradičních propojení a problémových úloh. Mezioborové propojení je běžně uplatňovaným principem v nanotechnologicky zaměřených studijních programech na univerzitách po celém světě. Tyto principy je možné ve zjednodušených formách přenášet i do výuky na nižších stupních vzdělání. Nanotechnologická řešení se například často inspirují funkčními systémy, které můžeme pozorovat v přírodě. Na tomto podkladu lze vytvořit vzdělávací úlohu i pro žáky, kteří možná nemají tak komplexní znalosti v přírodních vědách, ale jsou schopni navrhovat vlastní řešení a díky poskytnutým materiálům porozumět i složitému principu, který sami implementují v zadané úloze. Je zde samozřejmě nutný předpoklad, že žáci mají, alespoň základních znalosti v přírodovědných oborech, jako je chemie, fyzika, matematika a biologie.[46] Začlenění oblasti nanomateriálové vědy do vzdělávání tak může přinést nejen specifické znalosti žákům, ale může rozvíjet kompetence potřebné pro život ve 21. století. Protože rostoucí potřeba schopnosti komplexně propojovat znalosti, a aplikovat je na reálné problémy, začíná být stále více podstatnou kompetencí, na kterou by školy měly být schopny své žáky připravovat.[35]

2.4.2 Překážky v implementaci do výuky

Implementace nanotechnologií a nanomateriálových věd do českého vzdělávacího systému čelí významným překážkám, které jsou způsobeny zejména složitostí těchto oblastí a faktem, že se stále jedná o poměrně novou výzkumnou oblast. Principy nanotechnologií stojí na porozumění základů kvantového chování látek v nano rozměrech i rozsáhlým znalostem fyzikální chemie. I přesto že lze téma zjednodušit, jednou z hlavních překážek je absence zařazení těchto témat do pregraduálního vzdělávání

učitelů přírodovědných oborů, což vede k nedostatku kvalifikovaných pedagogů, kteří by byli schopni nanotechnologie efektivně vyučovat. Navíc stávající kurikulární dokumenty v České republice, podobně jako v mnoha dalších státech EU, nepočítají s nanotechnologiemi, což komplikuje jejich začlenění do školních osnov.[4,5]

Další výzvou je omezené veřejné povědomí a porozumění výhodám a aplikacím nanotechnologií, což brzdí akceptaci a podporu jejich integrace do vzdělávacích programů. Navíc interdisciplinární charakter nanotechnologií, které se prolínají s různými vědeckými obory, jako jsou fyzika, chemie a biologie, komplikuje jejich zařazení do tradičních kategorií předmětů ve školách. Tato situace je dále ztížena přetíženými tematickými plány ve školách, které nechávají málo prostoru pro zavedení nových témat, jako jsou nanotechnologie. Učitelé, kteří již mají plné ruce práce s plněním stávajících požadavků kurikula, mohou mít obtíže věnovat čas a zdroje novému a složitému předmětu, který vyžaduje neustálé učení a adaptaci.

3 Praktická část

Jako cíl praktické části této diplomové práce bylo stanoveno vytvoření dvou metodických sad materiálů, které budou sloužit k začleňování tématiky nanotechnologií a nanomateriálů do výuky v nižších stupních vzdělávání a budou kapitolu nanomateriálové chemie a nanotechnologií smysluplně propojovat s ohledem na aktuální vzdělávací systémy v České republice. Prvním cílem bylo vytvoření vzdělávacího programu pro žáky druhých stupňů ZŠ a žáky SŠ. Vzdělávací program měl být vytvořen tak, aby odpovídal schopnostem cílové skupiny a představil komplexní téma nanotechnologií a nanomateriálů jeho absolventům. Program by měl obsahovat aktivizační didaktické metody, které podpoří motivaci žáků vzdělávat se dále ve zvolené oblasti. Mezi tyto metody patří i edukační experiment, který by ve vytvořeném programu měl hrát klíčovou roli. Druhým ze stanovených cílů, bylo vytvoření podpůrných materiálů k vzdělávacímu kurzu pro pedagogické pracovníky – primárně učitele chemie. Tyto materiály by neměly učitele pouze seznamovat s nanotechnologiemi a prohlubovat jejich znalosti v oblasti, ale měly by poukazovat na možnosti zařazení tematiky do výuky. Jelikož se v oboru nanotechnologií efektivně prolínají všechny z odděleně vyučovaných přírodovědných předmětů, nabízí toto téma mnoho možností na mezipředmětová propojení a přirozené začlenění tématu do mnoha z běžně vyučovaných oblastí.

3.1 Metodologie

Na základě literární rešerše dostupných metodických i odborných materiálů byla navrhnuta a vytvořena sbírka metodických materiálů, které se vztahují k tematice propojení nanomateriálové chemie a nanotechnologií v kontextu výuky chemie na druhém stupni základních škol a na středních školách v ČR. Cílem celé praktické části bylo navrhnout model implementace tematiky nanotechnologií do běžné výuky na školách. Vytvořený model se opírá o hlavní směry aktuální revize RVP[28] a vychází zejména z konceptu propojování formálního a neformálního vzdělávání. Toto propojení, jak naznačuje dosavadní praxe, přináší možnosti atraktivního vzdělávání jak žáků, tak i pedagogických pracovníků. Proto byl i model implementace navrhován ve dvou úrovních. Úrovni žákovské, kde byl zpracován vzdělávací program, ve kterém se žáci seznamují s tematikou nanotechnologií a nanomateriálové chemie, jakožto odděleným a komplexním celkem. Druhá zpracovávaná úroveň bylo další vzdělávání pedagogických pracovníků, kde byl zvolen odlišný přístup k transferu tématu, a to skrze návaznost na již probírané oblasti RVP a postupné navázání na aktuální vědecká témata v předmětech chemie, fyzika, biologie a další.

3.2 Vývoj výukového programu

3.2.1 Předpoklady a vstupy pro vývoj vzdělávacího programu

Prvotním vstupem pro vznik edukačního programu byla již dříve zpracovaná bakalářská práce Wikipokusy a nanomateriály[42], v rámci které bylo provedeno jednoduché pilotní testování vybraných experimentů z databáze s žáky ZŠ v Hranicích na Moravě. Testování experimentů provedené v rámci bakalářské práce bylo jen velmi povrchní, ale výsledky z evaluačních dotazníků, které žáci po absolvování vyplňovali, byly základem pro vznik výukového celku věnovaného nanomateriálům a nanotechnologiím. Právě z tohoto testování totiž vyplynulo, že tematika nanotechnologií není žákům v základním stupni vzdělávání zcela vzdálena. Žáci se přirozeně na internetu setkávají s populárními články, či medializovanými kauzami okolo nanotechnologií a jejich aplikací. Znají tak spoustu pojmů, které do tématu spadají a mají vytvořenou vlastní představu, co obor obsahuje. Tato představa je ale velmi vzdálena od reálného oboru. I s miskonceptem se však dá v didaktice velmi efektivně pracovat a budovat tak základ informovanosti v oboru, který je běžně ve školách zcela vynecháván.

Pozitivní reakce žáků i pedagogů v testování pokusů z bakalářské práce tak bylo impulzem pro zpracování komplexního programu pro žáky, ale i dalšího vzdělávání pro pedagogy.

3.2.2 Charakteristika výukového programu

Prvním výstupem této diplomové práce je vytvoření vzdělávacího programu ***VŠUDE SAMÉ NANO***, cíleného na žáky 2. stupně ZŠ a všech ročníků SŠ.

- Vzdělávací program byl vytvářen primárně pro využití v rámci neformálního vzdělávání v *Centru popularizace Přírodovědecké fakulty UP, Pevnosti poznání*. Původním stanoveným cílem, bylo vytvoření mezipředmětového vzdělávacího celku, který bude účastníky komplexně seznamovat s tematikou nanotechnologií a nanomateriálů. (Specifika prostoru, odborných učeben, lektorů i pomůckového zabezpečení jsou designována specificky na potřeby Pevnosti poznání.)
- Časová dotace na vzdělávací program je 4 hodiny (program splňuje požadavky indikátoru Projektový den mimo školu v projektu Šablony II a III – tyto projekty MŠMT jsou jedním z nejčastějších dotačních zdrojů škol v ČR, ze kterých mohou být financovány náklady na vzdělávací programy v rámci neformálního vzdělávání.) Běžná cena programu se stejným časovým rozsahem je v Pevnosti poznání nastavena na 200 Kč na žáka.
- Vzdělávací program byl navrhnut pro třídu o maximální velikosti 32 žáků.
- Interdisciplinarita programu – Program podporuje mezipředmětové vztahy v přírodovědných předmětech.
- Rozvoj klíčových kompetencí – Program cílí na podporu rozvoje klíčových kompetencí účastníků. Během programu jsou využívány výukové metody, které podporují rozvoj kompetencí žáků.

<u>Stanovené výukové cíle vzdělávacího programu:</u>

Vzdělávací cíle programu byly stanoveny na základě prekonceptů získaných při realizaci vybraných pokusů z mé bakalářské práce na základních a středních školách. Dále na

základě obecných předpokladů a znalostí z běžně vyučovaných přírodovědných předmětů, se kterými žáci cílové skupiny na program přicházejí. Výukové cíle programu byly nataveny v souladu s Bloomovou taxonomií kognitivních vzdělávacích cílů,[47] dle které by měl být výukový cíl jasný, specifický, realizovatelný a hodnotitelný. Na základě těchto atributů byly pro výukový program vytyčeny následující výukové cíle:

- Žák vlastními slovy formuluje definici pojmů: nanomateriál a nanotechnologie. Vlastními slovy popíše jejich charakteristické vlastnosti, výskyt, metody přípravy a konkrétními aplikace.
- Žák porozumí hlavním příčinám rozdílných vlastností nanomateriálů oproti objemovému materiálu, na základě práce s poskytnutými didaktickými pomůckami, tyto příčiny je schopen vlastními slovy popsat.
- Žák propojuje základní znalost charakteristického chování nanomateriálů s konkrétními nanotechnologickými aplikacemi na základě provedených demonstrací těchto vlastností.
- Žák provede syntézu disperze anizotropních nanočástic stříbra dle předem stanovaného postupu práce v chemické laboratoři.
- Žák samostatně pracuje se specializovanými chemickými pomůckami jako je automatická pipeta a magnetická míchačka.
- Žák provede jednoduchou analýzu připraveného vzorku s pomocí poskytnutých didaktických pomůcek.

3.2.3 Harmonogram vytvořeného programu

<table>
<tr><th></th><th>Počet žáků</th><th>9:00 – 9:30</th><th>9:30 – 10:15</th><th>10:30 – 11:15</th><th>11:30 – 12:15</th><th>12:30 – 13:00</th></tr>
<tr><td>Skupina A</td><td>16</td><td rowspan="2">Úvod + výzkum prekonceptů</td><td rowspan="2">Teoretický základ programu</td><td>Syntéza nanočástic stříbra (laboratoř)</td><td>Vlastnosti a aplikace nanomateriálů</td><td rowspan="2">Závěrečná reflexe + evaluace</td></tr>
<tr><td>Skupina B</td><td>16</td><td>Vlastnosti a aplikace nanomateriálů</td><td>Syntéza nanočástic stříbra (laboratoř)</td></tr>
</table>

Obrázek č. 8: *Modelový harmonogram výukového programu pro skupinu o max. 32 účastnících.*

V následujících odstavcích je rozepsán bodový harmonogram celého programu. Každá aktivita je doplněna podrobným popisem a časovou dotací. Celý program byl koncipován tak, aby byl zařazen co nejvyšší počet aktivizačních metod výuky a účastníci byly po celou dobu programu aktivně zapojeni do dění. V průběhu programu se střídá i několik organizačních forem výuky a účastníci se v průběhu přestávek mezi jednotlivými aktivitami přesouvají mezi 3 specializovanými prostory – Přednáškový sál, Chemická laboratoř, Přírodovědná učebna. Program je však, až na chemickou laboratoř, možno realizovat téměř v jakémkoli jiném prostoru, který disponuje projektorem a možností připojení k internetu.

3.2.3.1 Úvod programu + výzkum prekonceptů: 30 min

Úvodní část programu byla koncipována zejména k získání představy o prekonceptech, se kterými žáci do programu již přicházejí. Pomocí dotazníků a pojmové mapy byl

zjišťován informační základ, který žáci z oblastí nano mají, ale i jejich osobní postoje vůči tomuto technologickému odvětví.

Dotazníkové šetření: 10 min

První část programu sestává z dotazníkového šetření, které účastníci programu vyplňují na svých mobilních zařízeních, ještě před zapojením odborných lektorů. Účastnický dotazník je koncipován tak, aby obsahoval jak uzavřené vědomostní otázky, tak otevřené otázky, zachycující postoje, se kterými žáci do programu přicházejí.

Pojmová mapa: 15 min

Po vyplnění dotazníků se do programu zapojí lektoři a společně s účastníky vytvoří pojmovou mapu. Účastníci jsou vyzváni, aby řekli pojmy, které se jim vybaví, když se řekne nanotechnologie/nanomateriály. Lektor pojmy zapisuje na tabuli a rozřazuje je do 4 skupin (definice, vlastnosti, aplikace, rizika). Lektor podporuje diskusi mezi účastníky, sám do ní, ale fakticky nevstupuje. Cílem celého úvodního bloku je získat vstupy od účastníku a minimalizovat ovlivnění názorů účastníků za strany odborného lektora. Pojmová mapa a rozdělení pojmů do skupin, není vyhodnocováno ihned, ale až na konci programu, kdy mají účastníci možnost pojmy zrevidovat, doplnit a nalézt spojitosti mezi jednotlivými pojmy a skupinami. Všechny pojmy z tabule jsou zaznamenány pro pozdější využití a skupina přejde k další aktivitě.

Obrázek č. 9: *Ukázka z tvorby pojmové mapy. Účastníci diktují pojmy – lektor zapisuje na tabuli. [Fotografie z pilotní realizace výukového programu.]*

3.2.3.2 Teoretický základ programu: **45 min**

Následujících 45 minut programu je věnováno teoretickému výkladu tematiky doplněného o evokační aktivity, díky kterým se žáci aktivně zapojí do teoretického

výkladu. Podpůrným materiálem k teoretickému výkladu je PowerPointová prezentace, přiložená, kvůli jejímu rozsahu, v přílohách této práce. Následující tabulka nastiňuje strukturu prezentace.

Obsah	Snímky
Úvod programu	1-5
Definice nanotechnologie a nanomateriály	5-9
Skenovací elektronový mikroskop + SEM simulátor	10-13
Vlastnosti nanomateriálů	14-20
Aplikace nanotechnologií	21-22
Rizika a etika nanotechnologií	23
Vyhodnocení programu	24-26

Evokační aktivita: Představa vs. Realita nanotechnologie: 7 min

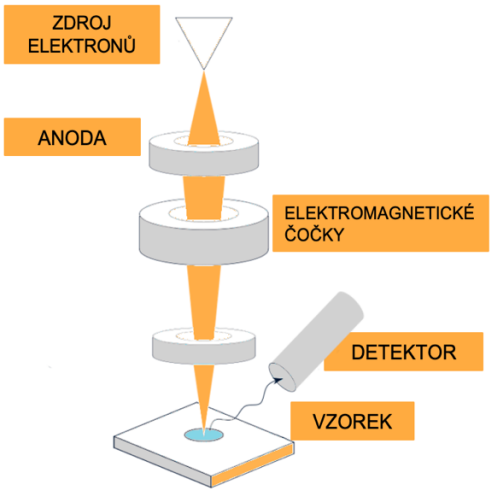
V úvodu teoretického bloku se žákům spustí sestřih dvou videí. Nejprve se spustí jedna z vystřižených scén z filmu Iron man, kde jsou využívány nanotechnologie. V kontrastu k tomu se potom spustí video *A Boy and His Atom: The World's Smallest Movie*. V obou scénách figurují nanotechnologie. Po shlédnutí obou videí jsou žáci vyzváni, aby zhodnotili, které z videí se více rovná jejich představě o nanotechnologiích, jakou roli nanotechnologie ve snímcích hrají a jaký je účel těchto snímků. Pomocí vzájemného srovnání lektor představí definice nanotechnologií a nanomateriálů, které vystupují v našem nesci-fi světě.

Porovnání velikostí: 10 min

Po vysvětlení definic rozdá lektor účastníkům karty s ikonami různých předmětů. Vyzve účastníky, aby předměty seřadili podle velikosti. Poté, co je účastníci seřadí na velikostní škále, vyzve lektor účastníky, kteří mají na kartě nějaký nanomateriál nebo nanotechnologickou aplikaci (Nanočástice, grafen, mikročip). Tito účastníci vystoupí z řady a řeknou, jaký předmět je na jejich kartě. Popíší dva předměty, mezi které se zařadili. Následně lektor zhodnotí jejich zařazení a doplní kontext k dané kartě (přesná velikost, srovnání s jinými předměty). A znovu upřesní velikostní měřítko, do kterého se nanostruktury zařazují (1-100 nm).

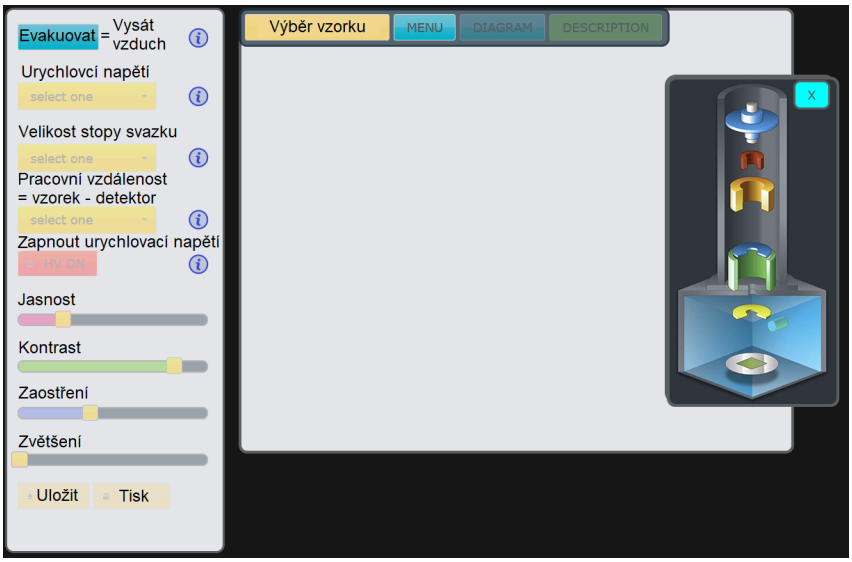
Simulátor elektronového mikroskopu: 15 min

Další aktivita, která v prezentaci navazuje, je elektronová mikroskopie. Účastníkům je představen zjednodušený princip fungování elektronového mikroskopu. Za využití schématického znázornění a didaktických pomůcek vytištěných na 3D tiskárně, si účastníci sestaví vlastní schéma skenovacího elektronového mikroskopu.



Obrázek č. 10: *Ukázka zjednodušeného schématického znázornění skenovacího elektronového mikroskopu, na kterém se účastníci programu učí princip fungování tohoto přístroje. [Vlastní ilustrace]*

Následně si účastníci vyzkouší práci simulátoru elektronového mikroskopu. Pomocí virtuální aplikace **Virtual SEM explore** si účastníci prakticky vyzkouší princip fungování skenovacího elektronového mikroskopu, kterým je možné zobrazovat nanostruktury. Lektor účastníkům rozdá do skupin tablety s otevřenou aplikací na následujícím webovém odkazu (https://myscope-explore.org/virtualSEM_explore.html). Aplikace je dostupná zcela zdarma a simuluje celý princip fungování SE mikroskopu. Účastníkům je tak pomocí aplikace vysvětlena povinnost měření ve vakuu, princip pozorování pomocí elektronů i ostření obrazu a nastavování vzdálenosti vzorku. V aplikaci jsou nahrány desítky vzorků, ze kterých si účastníci volí, jaký předmět budou pozorovat. Jedná se především o biologické vzorky a předměty z každodenního života, v aplikaci nejsou snímky synteticky připravených nanostruktur. Pro vysvětlení principu fungování SEM je však aplikace zcela vyhovující.



Obrázek č. 11: *Ukázka rozhraní aplikace Virtual SEM explore s překladem jednotlivých popisků.*

Obrázek č. 12: *Ukázka práce se SEM simulátorem, v zadní části fotky je možné vidět skládačku SE mikroskopu z 3D tisku. [Fotografie z pilotní realizace výukového programu.]*

Po práci se simulátorem následuje krátká 15ti minutová pauza, během které se účastníci rozdělí do dvou skupin po maximálně 16 osobách. Obě skupiny pak paralelně absolvují laboratorní aktivity ve dvou časových blocích. Následně se skupiny vymění, aby každý účastník absolvoval všechny aktivity. K dělení dochází zejména kvůli kapacitě specializovaných výukových prostorů, ale i proto, aby byl zajištěn více individuální přístup lektorů. Při realizaci programu ve školním prostředí, je možné dělení na dvě skupiny vynechat a pokračovat dále podle harmonogramu pro skupinu A. Pro tuto skupinu bude i dále podrobně rozepsán postup aktivit.

3.2.3.3 Laboratorní práce – Příprava nanočástic stříbra: 45 min

Účastníci se společně s lektorem přesunou do laboratoře, kde jsou jednoduše seznámeni s bezpečností práce a pedagogický doprovod skupiny je vyzván k podpisu bezpečnostního protokolu o seznámení s BOZP v laboratoři. Skupina se přesune k samotné syntéze anizotropních nanočástic stříbra ze stříbrné soli. Účastníci pracují ve dvojicích u pracovního stolu. Lektor nejprve syntézu slovně okomentuje a provede účastníky principem prováděného pokusu. Pomocí předem připravené škály disperzí nanočástic demonstruje účastníkům, jaké barvy disperzí mohou vznikat.

Obrázek č. 13: *Ukázka barevného spektra připravených disperzí nanočástic stříbra v závislosti na množství přídavku citranu (zleva 0,25 ml; 0,75 ml; 1 ml; 1,5 ml; 2,5 ml; 3 ml; 3,5 ml; 5 ml). Pro lepší rozpoznání barev jsou disperze 10x zředěny. [Upraveno z vlastních fotografií]*

<u>Příprava anizotropních nanočástic stříbra:</u> 25 min

Princip této syntézy spočívá ve dvoustupňové redukci iontů stříbra z amoniakálního komplexu stříbra. V prvním stupni dochází k redukci pomocí silného redukčního činidla – tetrahydridoboritanu sodného. V tomto kroku dochází ke vzniku velmi malých kulovitých nanočástic stříbra. Ve druhém stupni syntézy následuje redukce slabším redukčním činidlem – hydrazinem. Tím je docíleno vzniku anizotropních nanočástic o různých velikostech. Vznikající tvary nanočástic mohou diferovat od počátečních kulovitých částic přes tyčinky a destičky, až po trojúhelníky a nanohvězdice. Takto připravené disperze nanočástic mají v závislosti na tvaru nanočástic odlišné fyzikální, chemické a elektrochemické vlastnosti.[48] Pro účely edukačního experimentu je nejpodstatnější, že připravené disperze mají odlišné optické vlastnosti v závislosti na množství přidaného citranu trisodného. Tuto vlastnost totiž mohou účastníci programu ihned po přípravě jednoduše pozorovat bez nutnosti využití dalšího instrumentálního vybavení.

<u>Pomůcky k provedení experimentu se skupinou:</u>

odměrná baňka (4x 250 ml; 1x 100 ml), kádinka (20x na zásobní roztoky; 8 x 100 ml); automatická pipeta + plastové špičky (4x 1-10 ml; 4x 100-1000 µl; 4x 10-100 µl), magnetická míchačka (8x), vzorkovnice (8x), didaktické karty k charakterizaci částic, lihový fix, předpřipravená barevná škála AgNPs

Chemikálie k provedení experimentu se skupinou:

Dusičnan stříbrný, $AgNO_3$ (Carl Roth p.a.); amoniak, NH_3, 28% vodný roztok, NH_4OH, (Sigma-aldrich, p.a.); dihydrogencitran draselný dihydrát, $KC_6H_7O_7 \cdot 2\,H_2O$ (Sigma-aldrich, p.a.); tetrahydridoboritan sodný, $NaBH_4$ (Sigma-aldrich, p.a.), hydrazin monohydrát, N_2H_4, 50% vodný roztok, $N_2H_4 \cdot H_2O$, (Sigma-aldrich), destilovaná voda

Pracovní postup:

Před programem:

1) Připravíme si zásobní odměrné roztoky chemikálií k přípravě anizotropických nanočástic: $AgNO_3$ ($c = 5 \cdot 10^{-3}$ mol/l) → 0,21234 g na 250 ml roztoku
   NH_3 ($c = 0{,}1$ mol/l) → 1,689 ml 28% NH_4OH na 250 ml roztoku
   $KC_6H_7O_7$ → 2,500 g na 250 ml roztoku
   $NaBH_4$ ($c = 1 \cdot 10^{-3}$ mol/l) → $3{,}783 \cdot 10^{-3}$ g na 100 ml roztoku
   N_2H_4 ($c = 5 \cdot 10^{-2}$ mol/l) → 0,7787 ml 50% hydrazinu na 250 ml roztoku
2) Na každé pracovní místo připravíme magnetickou míchačku, kádinku s míchadlem na vzorek a vzorkovnici na připravenou disperzi.
3) Mezi každá dvě pracovní místa připravíme série zásobních roztoků, automatické pipety, špičky k nim a střičky s destilovanou vodou.

Žákovský experiment:

1) Nejprve se účastníci naučí práci s automatickou pipetou (s destilovanou vodou).
2) Do kádinky odměříme 5 ml připraveného roztoku dusičnanu stříbrného.
3) Za stálého míchání přidáváme do kádinky další reagencie v pořadí a množstvích uvedených v následující tabulce. (Každá dvojice připravuje odlišný vzorek. Postup zůstává pro celou skupinu stejný, mění se pouze množství přidávaných chemikálií.)

Číslo vzorku	$AgNO_3$	NH_3	$KC_6H_7O_7 \cdot 2H_2O$	H_20	$NaBH_4$	N_2H_4
1.	5 ml	1,25 ml	1 ml	13,67 ml	75 µl	4 ml
2.	5 ml	1,25 ml	0,75 ml	13,92 ml	75 µl	4 ml
3.	5 ml	1,25 ml	0,5 ml	14,17 ml	75 µl	4 ml
4.	5 ml	1,25 ml	0,25 ml	14,42 ml	75 µl	4 ml

4) Po přidání všech výchozích látek necháme vzniklou disperzi ještě 1 minutu míchat.
5) Z připravené disperze odebereme 1 ml do skleněné vzorkovnice a zředíme vodou 1:10.

Charakterizace anizotropních nanočástic stříbra: 10 min

Připravený vzorek účastníci následně charakterizují za pomoci vytvořených didaktických karet. Každá dvojice má k dispozici sadu didaktických karet, na kterých se nacházejí snímky anizotropních nanočástic stříbra připravených identickou syntézou (snímky převzaty z[48]). Na základě barvy vlastního připraveného vzorku volí účastníci kartu, která barevně nejvíce odpovídá barvě jejich zředěné disperze. Z poskytnutých snímků účastníci analyzují tvary nanočástic, které se v jejich disperzi nacházejí. Tvary zakreslují

do volného místa na kartě lihovým fixem. Na zadní straně karty se nachází vykreslené UV/Vis spektrum měřené na ukázkové řadě vzorků, která byla využita v počáteční demonstraci. Na UV/VIS spektru jsou vyznačena absorpční maxima, která lze vykreslením linky vedoucí z maxima dolů přes kartu spojit se spektrem viditelného světla a jeho obrácenou verzí. Prokreslením linky se účastníci seznamují s barvou spektra viditelného světla, která je nejvíce pohlcována a odrážena disperzí připravených nanočástic. Lektor v průběhu aktivity seznámí účastníky s metodou UV/VIS spektrometrie a vysvětlí účastníkům, proč si instrumentální měření nemohou sami vyzkoušet (cena přístroje).

Obrázek č. 14: *Ukázka didaktických pomůcek k charakterizaci připravených nanočástic účastníky výukového programu. V přední části fotky účastnický vzorek nanočástic. [Fotografie z pilotní realizace výukového programu.]*

Reflexe laboratorní úlohy: 10 min

Po charakterizaci vzorků vyzve lektor účastníky, aby poklidili své pracovní místo a se svým vzorkem se přesunuli k reflexi laboratorní úlohy. Každá dvojice představí vzorek, který připravila. Představí výsledky své analýzy – Jaké tvary částic se v jejich vzorku nacházejí? Co odpovídá za výslednou barvu vzorku? V závěrečné reflexi také lektor zhodnotí práci účastníků a shrne nejpodstatnější závěry programové sekce.

Mezi další programovou sekcí následuje druhá 15 minutová pauza pro účastníky, během které se skupiny vystřídají u aktivit.

3.2.3.4 Vlastnosti a aplikace nanomateriálů: 45 min

V dalším bloku jsou účastníci seznamováni s vlastnostmi a specifickými aplikacemi nanomateriálů. Účastníci absolvují řadu aktivit, které je systematicky seznamují se zajímavými vlastnostmi nanomateriálů, které je odlišují od běžných makro materiálů. V rámci aktivit se účastníci vždy seznamují s jednou z vybraných vlastností nanomateriálů. Konkrétní vlastnost, je vždy demonstrována na konkrétním příkladu některé z nanotechnologických aplikací, aby účastníci opravdu porozuměli principům uplatňovaným v nanotechnologiích a propojili si je s tematikou nanomateriálů.

Specifická plocha povrchu: 15 min

Pomocí papírových krychlí je žákům představen princip zvětšování plochy povrchu spojené se zmenšováním rozměru částic. Účastníci nejprve dostanou papírové krychle naplněné menšími krychlemi. Do každé z krychlí je možné vložit 8 menších krychlí. Každý z účastníků dostane za úkol změřit a spočítat velikost povrchu některé z krychlí. Poté co účastníci vypočítají číselné hodnoty, lektor jim rozdá papírové modely povrchu nejmenších dostupných krychlí (o délce hrany 16 cm). Tyto modely účastníci rozkládají na zem tak, aby zcela zaplnili plochu. Poté co je na ploše vyskládáno všech 64 krychlí (které by se vešly do největšího modelu o velikosti strany 8 cm), přinese lektor model povrchu největší krychle (o délce hrany 4 cm). Ve chvíli, kdy účastníci přiloží největší model na původní vyskládanou plochu, je jasně vizuálně demonstrováno zvětšení plochy povrchu, které doprovází zmenšování velikosti částic.

Obrázek č. 15: *Ukázka práce s didaktickými pomůckami simulujícími změnu ve velikosti plochy povrchu při zmenšování částic. [Fotografie z pilotní realizace výukového programu.]*

Hydrofobita – Efekt lotosového květu: 20 min

V této aktivitě jsou účastníci seznámeni s principem fungování nanoimpergnačních sprejů. Nanotechnologické impregnační spreje jsou v principu inspirovány hydrofobními listy některých rostlin, jako je lotos, zelí či kapusta. Listy hydrofobních rostlin jsou pokryty nanokrystaly vosku, které vytváří specifickou strukturu povrchu listu. Právě tato struktura zajišťuje, že se na povrchu listu nezadržuje voda a kapky vody povrch nesmáčí. Tento princip přejímají impregnační přípravky, kterými lze tuto vrstvu nanokrystalů vosku nanést na téměř jakýkoliv (i běžně smáčitelný) materiál.

V laboratorní úloze si účastníci nejprve vyzkouší princip na přírodní předloze pro impergnaci, a to na listech kapusty. Využít lze i listy červeného zelí. Účastníci střičkou nanášejí vodu na list a pozorují, že voda vytváří kulovité kapky, které při naklonění listu stékají pryč z jeho povrchu. Pozorovanou skutečnost s lektorem pojmenují a pokusí se najít vysvětlení pomocí SEM snímků lotosového listu, který vygenerují na SEM simulátoru, se kterým se účastníci seznámili v teoretické části programu. Po prohlédnutí snímků žáci navrhují své hypotézy, proč se kapka na listu nerozteče, ale zůstává v kulovitém tvaru. Lektor žáky navádí a ukazuje jim snímky papíru, nebo látky, pro porovnání struktury se smáčivými materiály. Pozorováním odlišných struktur, účastníci programu pojmenují, že princip spočívá ve členitosti struktury listu rostliny. Lektor následně shrne princip hydrofobity a potvrdí, či vyvrátí hypotézy účastníků. V druhé části úlohy si účastníci vyzkouší nanoimpergnační sprej a pozorují jeho účinky na různých površích.

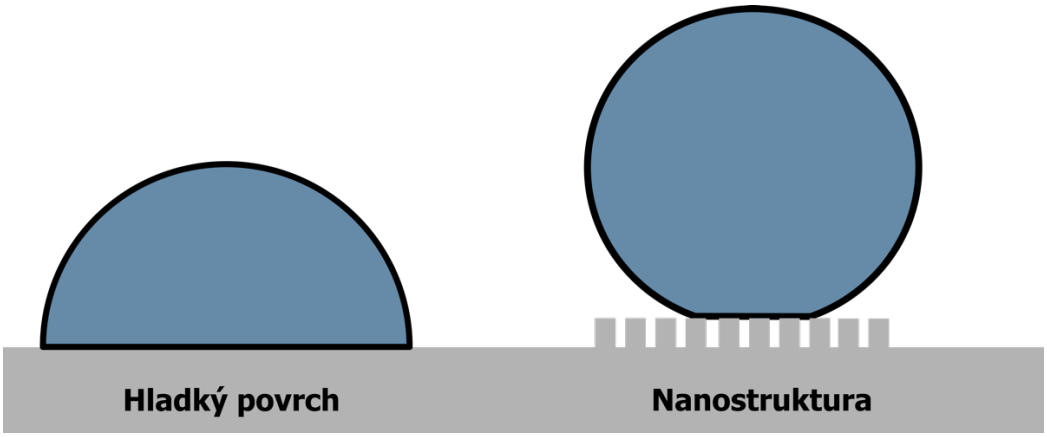
Obrázek č. 16: *Ukázka z badatelské práce účastníku v úloze s hydrofobitou. Na obrazovce tabletu jde vidět struktura lotosového listu, kterou si účastníci vygenerují pomocí SEM simulátoru. [Fotografie z pilotního testování výukového programu.]*

Pomůcky k provedení experimentu se skupinou:

Střička s vodou (8x), list kapusty/červeného zelí (8x), tablet s webovou aplikací SEM Simulator (8x), karton od vajíček, polystyrenová koule, polovina polystyrenové koule, nanoimpergnační sprej (značka Shoeboy's – Nanoprotect), podložní sklíčka (32 ks), vzorky látek (bavlna, směs materiálů) (24 ks)

Pracovní postup:

1) Účastníkům se do dvojic rozdá jedna střička s vodou a list kapusty.
2) Účastníci střičkou nanesou vodu na list a pozorují chování kapek vody.
3) Lektor vyzve účastníky, aby popsali svá pozorování a zapíše je na tabuli. Poté jsou účastníkům rozdány tablety.
4) Účastníci ve webové aplikaci SEM Simulator vygenerují snímek lotosového listu. Lektor doplní, že výstupky na povrchu listu jsou nanokrystaly vosku. Lektor je znovu vyzve, aby popsali, co pozorují a pokusili se formulovat hypotézu, proč list odpuzuje vodu. Hypotézy jsou opět zapsány na tabuli.
5) Po stanovení hypotéz lektor vysvětlí princip smáčivosti povrchů pomocí kartonu od vajíček a polystyrenových koulí.
6) Vysvětlenou teorii účastníci vyzkouší na podložních sklíčkách (1. čisté odmaštěné sklo, 2. sklo s vrstvou vosku ze svíčky, 3. sklo naimpregnované nanoimpregnací). Účastníci střičkou nanesou kapku vody na každé ze sklíček a pozorují, jak bude kapka vypadat.
7) Lektor opět vyzve účastníky ať zkusí popsat, jak vypadá kapka vody na každém ze sklíček. Pozorování zakreslí lektor na tabuli.



Obrázek č. 17: *Nákres tvarů kapky kapaliny na smáčivém povrchu a na povrchu materiálu, který vykazuje lotosový efekt. [Vlastní ilustrace.]*

8) V tuto chvíli jsou již účastníci schopní rozlišit mezi smáčivými povrchy a nesmáčivými povrchy. Jsou také schopni pojmenovat vlastnosti nanoimpregnačního spreje a zjednodušeně vysvětlit princip impregnace.
9) V poslední části účastníci vyzkouší funkci impregnace na různých typech látek. Vždy mají jeden vzorek látky jako srovnávací, na druhý se nanese vrstva impregnace.
10) Na konci laboratorní úlohy jsou žáci schopni popsat výhody nanoimpregnace a popsat princip, na kterém tato nanotechnologická aplikace stojí.

Obrázek č. 18: *Ukázka žákovského laborování při aktivitě demonstrující hydrofobitu materiálů a lotosový efekt povrchů. [Fotografie z pilotní realizace výukového programu.]*

Optické vlastnosti kvantových teček: 10 min

V poslední aktivitě tohoto bloku jsou účastníci seznámeni s kvantovými tečkami a jejich neobvyklými optickými vlastnostmi. Optické vlastnosti kvantových teček jsou výrazně závislé na velikosti kvantové tečky. Protože u takto malých částic (typicky 1-10 nm) se již poměrně výrazně projevují kvantové jevy. Díky tomu kvantové tečky vyzařují vždy jednu specifickou vlnovou délku záření, která je daná energetickým rozdílem mezi valenčním a vodivostním pásem v elektronové struktuře materiálu. Toho se využívá při konstrukci displejů s takzvanými „true color“. Tyto displeje mají jasnější barvy obrazu zcela nezávisle na úhlu pozorování.

Lektor účastníkům představí princip fungování displejů využívajících kvantové tečky a jednoduchou demonstrací luminiscence vzorku kvantových teček ukáže účastníkům, jak vyzařování světla kvantovými tečkami vypadá.

3.2.3.5 Závěrečná reflexe a evaluace: 30 min

V poslední části programu se lektor s účastníky vrátí k pojmové mapě, která byla vytvořena na počátku programu a účastníci vyplní evaluační dotazníky, které budou využity pro vyhodnocení této diplomové práce. Dotazníky obsahují identické teoretické i názorové otázky jako vstupní dotazníky, aby bylo možné vyhodnocovat rozdíl v odpovědích účastníků.

Reflexe pojmové mapy: 15 min

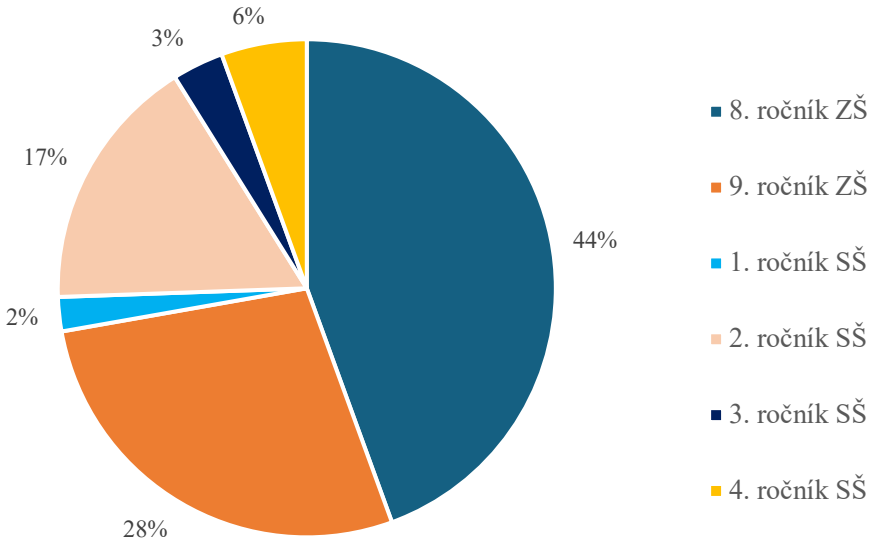
Lektor vyzve účastníky, zda chtějí k pojmům ještě něco přidat, nebo naopak některé pojmy odstranit, protože se nanotechnologií a nanomateriálů ve skutečnosti netýkají. Účastníci doplní další pojmy, které se v průběhu programu dozvěděli a lektor je znovu doplní na tabuli. Účastníkům jsou následně rozdány papíry s tabulkou pojmové mapy, která je rozdělena do 4 dílů (definice, názvy, vlastnosti, a aplikace). Do této tabulky účastníci roztřídí pojmy, které se nacházejí na tabuli. Stejné rozdělení provede i lektor na tabuli. Rozdělení pojmů do tabulky následně účastníci s lektorem vzájemně porovnají a vysvětlí si případně nesrovnalosti a dotazy.

Závěrečné výzkumné dotazníky: 15 min

Poslední aktivitou výukového programu jsou evaluační dotazníky, které účastníci vyplní. Dotazníky obsahují otázky na účastnické hodnocení programu, ale i teoretické otázky a otázky na názorové rozpoložení respondenta vůči tématice nanotechnologií a nanomateriálů. Teoretické a názorové dotazy jsou zcela shodné s otázkami ve vstupních dotaznících, které účastníci vyplňovali v první části programu. Otázky byly voleny tak, aby bylo možné vyhodnocovat posuny ve vědomostech a názorech účastníků po absolvování výukového programu.

3.3 Pilotní testování a evaluace výukového programu Všude samé nano

V průběhu období květen 2023 až březen 2024 absolvovalo vytvořený 4hodinový výukový program 90 žáků ZŠ a SŠ v Olomouckém kraji. Výukový celek byl realizován především v prostorách laboratoře Pevnosti poznání, science centra Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Došlo však ke zkušební realizaci i mimo tyto prostory přímo v jedné ze škol, a to na Základní a mateřské škole J. Schortha v Lipové-lázni. Jelikož byla cílová skupina programu nastavená na poslední dva ročníky druhého stupně základních škol a všechny ročníky škol středních, prošel pilotním testování heterogenní vzorek žáků tak, aby byla zastoupena celá cílová skupina.



Obrázek č. 19: *Grafické znázornění ročníkového rozpětí účastníků, kteří se zúčastnili pilotního testování výukového programu.*

Největší počet účastníků programu tvořili žáci 8. a 9. tříd základních škol (65 účastníků), což koreluje se statistickými údaji o školních skupinách, které navštěvují vzdělávací programy v Pevnosti Poznání. Propojení formálního a neformálního vzdělávání na základních školách je v České republice výrazně více rozšířené, než na středních školách. A to jak z finančního, tak časového hlediska. Z hlediska financí je možné vzdělávací programy a aktivity tříd základních škol financovat z projektů ministerstva školství OP JAK, což značně zvyšuje počet školních skupin ze základních škol.

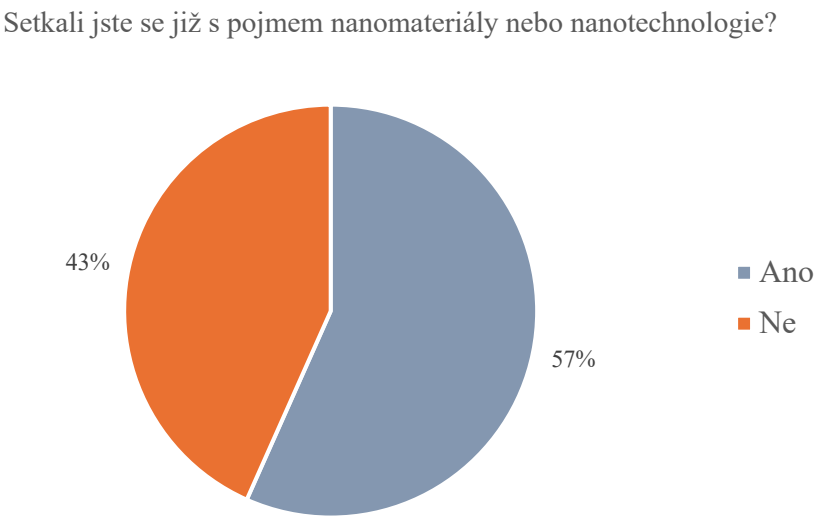
3.3.1 Výzkumné dotazníky

Při každé realizaci byl žákům na počátku programu předán výzkumný dotazník (vloženy v příloze práce), který zahrnoval jak teoretické vědomostní otázky, tak i otázky na pohledy a prekoncepty žáků na tematiku nanotechnologií. Tyto dotazníky byly realizovány před započetím programu, aby nedocházelo k ovlivnění žáků ze strany lektorů programu. V závěru každé realizace byl s žáky vyplněn další výzkumný dotazník, který byl opět sestaven ze dvou částí: vědomostní otázky a osobní evaluace, a názorové nastavení k problematice. Teoretické otázky byly v obou dotaznících identické, aby mohl být objektivně hodnocen i posun vědomostí žáků a hodnocení programu nespočívalo pouze v pocitové sebeevaluaci žáků. V rámci závěrečného dotazníku byla zahrnuta i evaluace programu jako celku. Dotazníky žáci vyplňovali elektronicky na vlastních telefonech. Dotazníky obsahovaly, jak uzavřené otázky s volbou odpovědi, tak otázky otevřené, kde účastníci sami formulovali odpověď. Přesto, že byl na vyplnění dotazníku vyhrazený přesný čas, byla ze strany lektorů vždy provedena kontrola, že všichni žáci již formulář stihli vyplnit a případně byl čas na vyplnění dotazníku prodloužen.

Vyhodnocení výzkumných dotazníků bylo provedeno v několika blocích. První blok obsahuje otázky zaměřené na obecné obeznámení účastníků s tématikou a prekoncepty, se kterými na program přicházejí. V tomto bloku se vyhodnocují otázky ze vstupního dotazníku, který účastníci vyplňovali před započetím vstupů odborných lektorů, tudíž bylo zajištěno minimální ovlivnění účastníků. Druhý blok vyhodnocení se věnuje teoretickým otázkám, které byly zařazeny ve vstupním i závěrečném dotazníku. Otázky byly v obou formulářích identicky formulovány se stejnými možnostmi odpovědí, aby bylo možné vyhodnotit změnu ve vědomostech účastníků po absolvování výukového programu. Třetí blok je věnován vyhodnocení otázek věnovaných názorům a postojům respondentů vůči nanotechnologiím a jejich užívání. Poslední blok je věnován účastnickému hodnocení výukového programu jako celku.

3.3.2 Obeznámení respondentů s tematikou

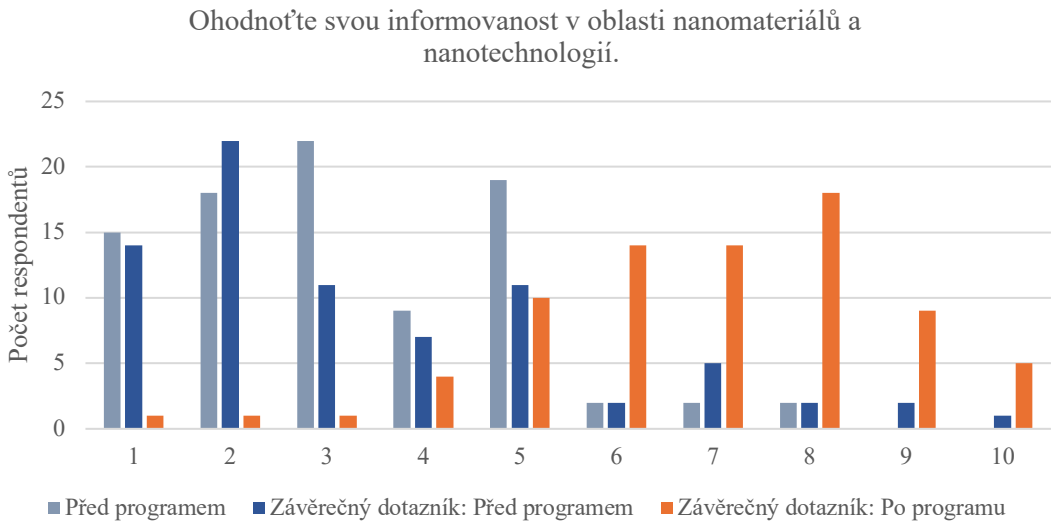
Jako první bylo v dotazníku mapováno, zda se účastníci již s tematikou setkali. Na uzavřenou otázku Ano/Ne navazovala otevřená otázky, kde měli účastníci uvést, kde se s tímto pojmem setkali. **51 z 90 účastníků uvedlo, že se s pojmem již setkalo.** To ukazuje na pozitivní trend rozšiřování nanomateriálů a zejména nanotechnologických aplikací mezi běžné spotřebitele a širokou veřejnost. Z odpovědí na otázku, kde se s tématikou setkali, je možné vyvodit tři hlavní odpovědi: Ve škole (tuto odpověď uvedlo 37 % respondentů); Z jiného zdroje, jako je internet, odborné a semiodborné články, rodič (tuto odpověď uvedlo 27 % respondentů); Díky konkrétní nanotechnologické aplikaci (respirátory, vojenské aplikace, funkcionalizované sportovní oblečení) (tuto odpověď uvedlo 18 % respondentů). Tento výsledek je téměř shodný s mezinárodním srovnáváním, které probíhalo v průběhu roku 2018 v evropských zemích.[1] Z tohoto měření vyplynulo, že zhruba 30 % respondentů z řad široké veřejnosti se s nanotechnologiemi nikdy nesetkalo a 60 % respondentů uvedlo, že jsou jen velmi málo informováni.



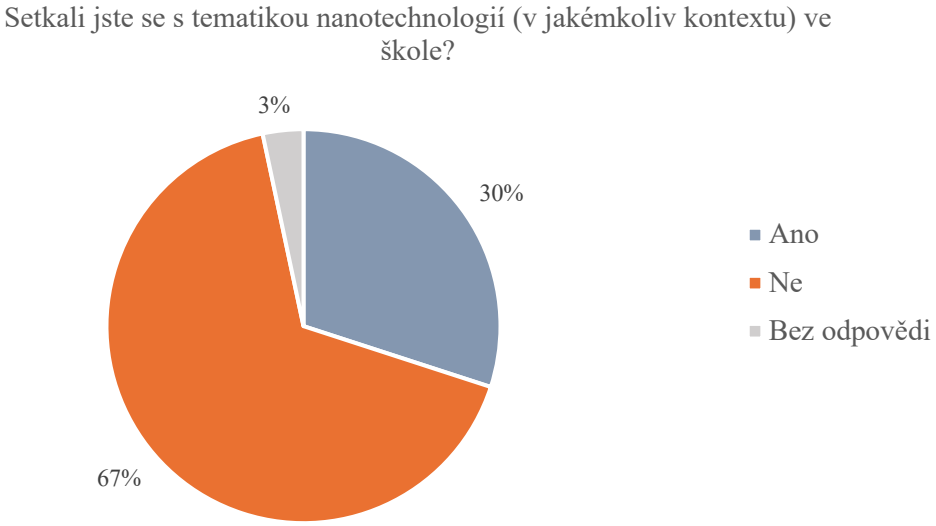
Obrázek č. 20: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku „Setkali jste se již někdy s pojmeme nanomateriály nebo nanotechnologie?“*

V další otázce byly respondenti žádáni, aby zhodnotili svou celkovou informovanost v oblasti nanomateriálové chemie a nanotechnologií, jelikož se jednalo pouze o autoevaluaci, byla otázka položena před průběhem programu a následně znovu i po realizaci programu. Nejprve respondenti hodnotili své znalosti v problematice, v závěrečném dotazníku vyhodnocovali posun ve své informovanosti způsobený programem. **Z vyhodnocení vyplývá, že dle vlastního hodnocení respondentů, u 58 % z nich došlo k posunu na škále informovanosti o 3 body a více. Nejvyšší počet respondentů (43 %) uvádí, že se změna pohybovala v rozmezí 3 až 5 bodů na škále (1-10)**. (Příklad: Z původní hodnoty informovanosti 2 se po programu respondent na škále zařadil na hodnotu 6.)

U těchto výsledků je nutné upozornit na subjektivní zkreslení dat a nepřesné hodnocení způsobené autoevaluací a faktem, že program, který účastníci absolvovali, ani zdaleka nepostihuje celou problematiku nanotechnologií a nanomateriálové chemie. Což mimo jiné potvrzuje i posun v hodnotách u otázky směřované na informovanost před programem. V úvodním dotazníku vychází průměrná hodnota informovanosti na 3.26, v závěrečném dotazníku je již hodnota u identické otázky posunuta na 3,44. Jedná se, ale o důkaz, že i sami respondenti si uvědomují, že získali nové vědomosti v tématu a také, že jsou schopni reflektovat, že jejich informovanost byla v dané oblasti před absolvování programu převážně velmi nízká.

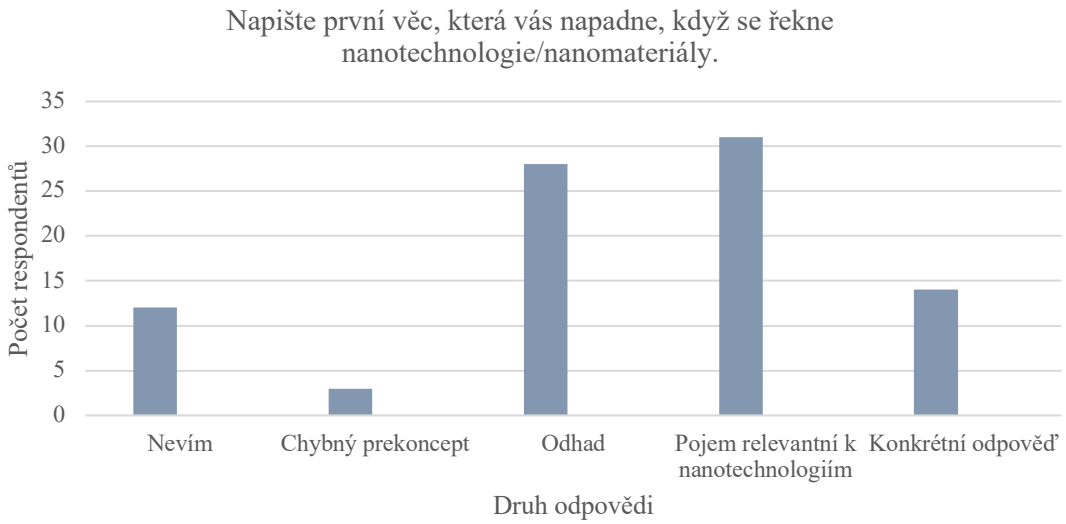


Obrázek č. 21: *Grafické znázornění žákovského zhodnocení vlastní informovanosti v oblasti nanotechnologií a nanomateriálů. [1 = Nikdy jsem se s tematikou nesetkal/a; 10 = Myslím, že jsem plně informován/a]. Respondenti zhodnocení informovanosti provedli v úvodním dotazníku a pak komparativně i v závěrečném dotazníku, kde hodnotili své znalosti před absolvováním programu a po realizaci.*



Obrázek č. 22: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku „Setkali jste se s tematikou nanotechnologií (v jakémkoliv kontextu) ve škole?“*

Výsledky vycházející z otázky referující na tematiku nanotechnologií ve školním prostředí nejsou zcela překvapující, když není tato problematika zařazena do vzdělávacích plánů. Otázka, zda bude tato problematika vyučována, tak spočívá čistě na možnostech učitele, zda je schopen a ochoten téma do výuky zařadit. K těmto výsledkům je nutné upozornit na to, že se jedná čistě o žákovský pohled a respondenti jsou z velmi široké cílové skupiny. To může znamenat, že si na učivo sami nepamatují, nebo možná ještě nejsou v ročníku, kdy učitel tematiku zařazuje. Pro relevantnější srovnání by zde bylo nutné provést srovnání s respondenty z řad pedagogů.



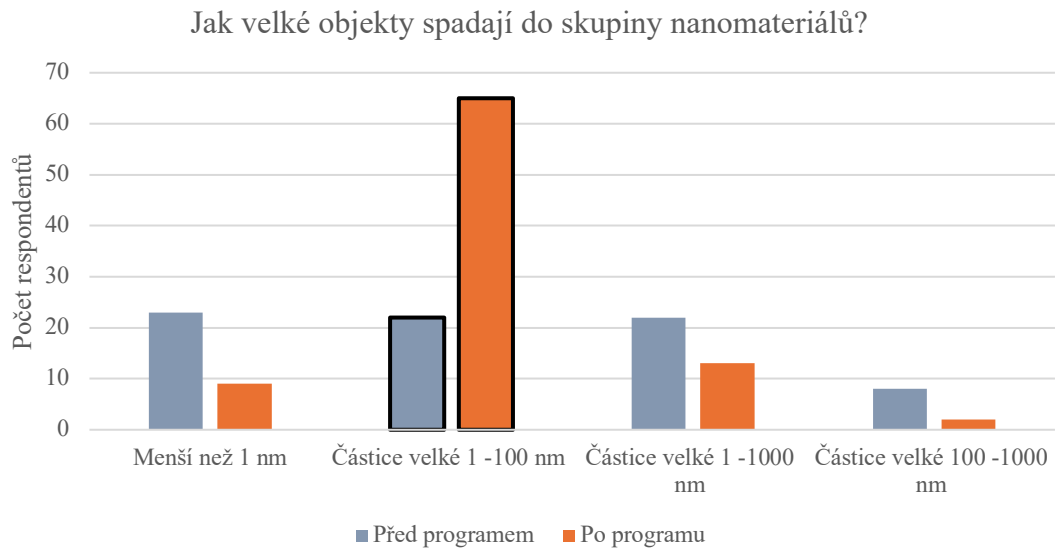
Obrázek č. 23: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku „Napište první věc, která vás napadne, když se řekne nanotechnologie/nanomateriály?“*

Další otázka již byla cílena přímo na prekoncepty, se kterými účastníci na program přicházejí. Jaká je jejich představa o nanomateriálech a nanotechnologiích. Tato otázka byla otevřená a respondenti vpisovali vlastní odpověď. Odpovědi byly následně rozděleny do několika skupin podle relevance k problematice. 12 respondentů na otázku neodpovědělo, nebo odpověděli, že neví. Pouze 3 respondenti uvedli odpověď, která byla vyhodnocena, jako zcela chybný prekoncept. V těchto případech se většinou jednalo o nějakou filmovou, či sci-fi referenci. 31 % respondentů uvedlo odpověď, která nevycházela z předchozí znalosti nanomateriálů, ale jednalo se zřejmě o odhad provedený na základě informací ze zadání otázky. Tento fakt odkazuje na přírodovědnou gramotnost účastníků programu, kterou získali v rámci svého vzdělávání. Také tato skutečnost poukazuje na velmi pozitivní faktor, a to, že téměř polovina účastníků, ačkoliv neznali odpověď, nevzdali otázku prostou odpovědí nevím, ale zamysleli se, a byli schopni přijít s relevantní odpovědí. Téměř polovina respondentů poskytnula odpověď, která vyplývala z předchozí povrchové znalosti problematiky. **34 % respondentů uvedlo některý z pojmů používaných v nanotechnologii. Mezi odpověďmi se nejvíce objevovaly pojmy jako nanočástice, nanovlákna, nanometr, či mikroprocesory**. Tyto pojmy, jak účastníci sami zmiňovali, většinou znali z nějakého specifického článku nebo videa, ke kterému se účastníci samostatně dostali. 15 % respondentů dokonce uvedlo odpověď, která kromě pojmu obsahovala i jeho bližší určení, či zařazení do kontextu (jako například, velikost nanočástic, nebo fakt, že nanoobjekty není možné pozorovat lidským okem).

3.3.3 Teoretické otázky

Aby bylo možné srovnávat přímé dopady absolvování výukového programu u účastníků, byly do vstupního i závěrečného dotazníku zařazeny čistě teoretické otázky, ze kterých lze vyhodnocovat vědomostní posun u účastníků po absolvování programu. Teoretické otázky v dotaznících byly voleny tak, aby adresovaly základní znalosti z oblasti nanotechnologií a nanomateriálů, jako je jejich velikostní zařazení, či definice. K vyhodnocení je třeba uvést, že závěrečný dotazník byl vyplňován ihned po skončení programu. Pro zpřesnění výsledků o získaných vědomostech z programu, by bylo vhodné provést další šetření mezi účastníky programu po delší době od realizace programu. Toto měření v této diplomové práci provedeno nebylo, a jedná se o jednu z možných cest dalšího výzkumu v této oblasti. I tak je, ale možné na výsledcích z dotazníků vidět posun v získaných vědomostech účastníků.

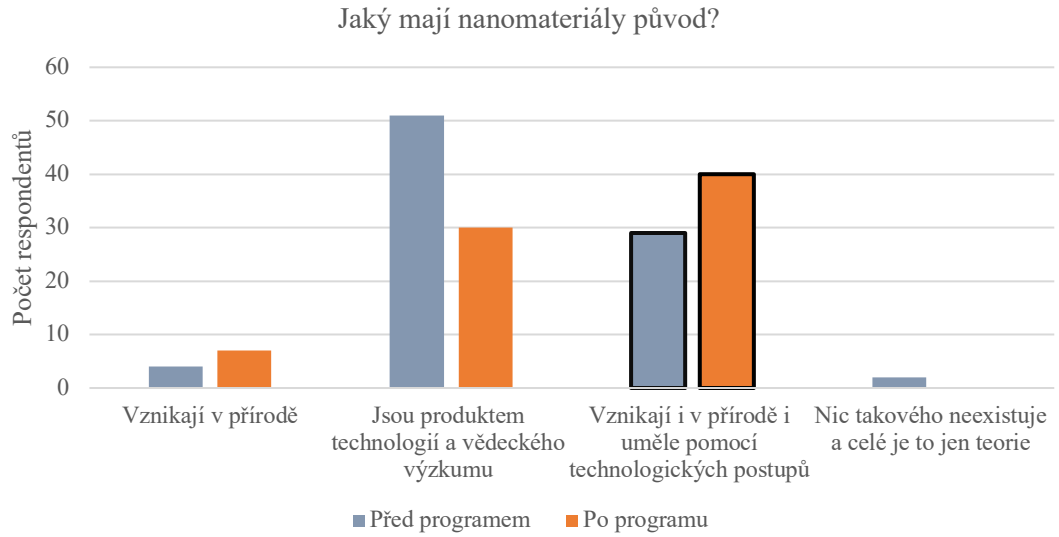
V následujících grafech jsou modrou barvou znázorněny odpovědi účastníků před programem, oranžovou potom odpovědi účastníků po realizaci programu. Správná odpověď, pokud otázka měla definovanou správnou odpověď, je v grafu vyznačena černým ohraničením dané oblasti grafu.



Obrázek č. 24: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: „Jak velké objekty spadají do skupiny nanomateriálů?“ [Správná odpověď: Částice velké 1-100 nm]*

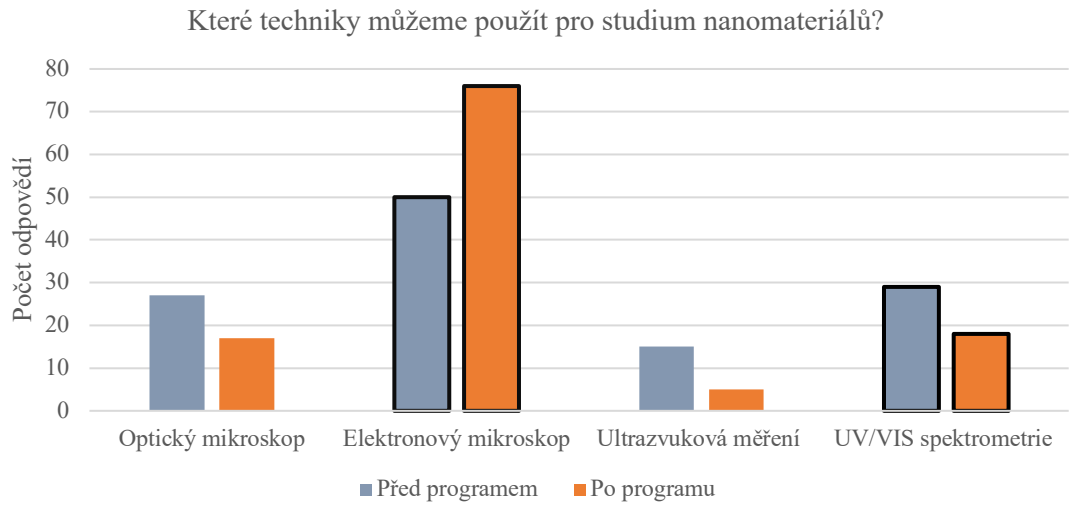
V první teoretické otázce určovali respondenti velikostní zařazení nanomateriálů. Jednalo se o uzavřenou otázku s volbou odpovědí. Z této otázky ukázkově vyplývá, že se účastníci před realizací programu s tématikou dříve nesetkali, nebo setkali pouze velmi okrajově. Protože ačkoliv je velikostní určení stěžejním faktorem pro nanomateriály, jsou odpovědi respondentů před programem téměř rovnoměrně rozmístěny mezi všechny čtyři možné odpovědi. V odpovědích po programu vidíme jasný posun a převážnou většinu správných odpovědí, kdy respondenti zařadili nanomateriály do velikostního měřítka 1 - 100 nm.

Další teoretická otázka byla: „Jaký původ mají nanomateriály?“ Opět se jednalo o uzavřenou otázku s volbou jedné ze 4 odpovědí. Správnou odpovědí na tuto otázku byla: „Vznikají i v přírodě i uměle pomocí technologických postupů.“ V odpovědích respondentů na tuto otázku lze opět vidět změnu ve většinové odpovědi z nesprávné možnosti na odpověď správnou. Správná odpověď po programu však již nemá takovou převahu, jako u první otázky. Tuto skutečnost je možné přisoudit faktu, že účastníci se v průběhu programu sice seznamují s přírodními nanomateriály, ale většina samostatných úloh, ve kterých jsou účastníci aktivní se týká uměle vytvořených nanomateriálů. Praktická zkušenost tak mírně převažuje teoreticky předaný fakt a účastníci mají tendenci uvažovat nad nanomateriály, pouze jako nad technologicky vytvořenými strukturami.



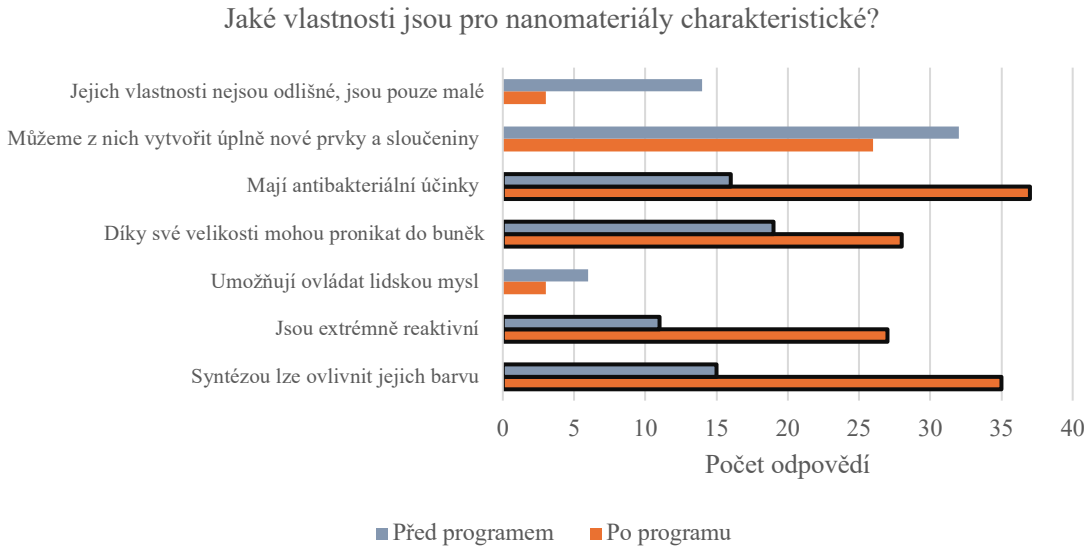
Obrázek č. 25: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: „Jaký mají nanomateriály původ?“ [Správná odpověď: Vznikají i v přírodě i uměle pomocí technologických postupů.]*

Další z teoretických otázek adresovala možnosti pozorování a studium nanomateriálů. Otázka byla formulována jako uzavřená otázka s volbou z odpovědí. Kromě optického mikroskopu se účastníci s žádnou z těchto fyzikálně – chemických metod studia materiálů nesetkali. Což znovu potvrzuje i téměř rovnoměrné rozvrstvení odpovědí v dotaznících před programem. Zajímavou skutečností je, že ve vstupním dotazníku uvedlo více respondentů správnou odpověď, vyskytoval se však i vyšší počet odpovědí chybných, které u závěrečného dotazníku značně klesly. Největší počet respondentů uvedl ve výstupním dotazníku jako metodu studia pouze elektronový mikroskop, a ne obě správné odpovědi na otázku „elektronový mikroskop a UV/VIS spektroskopii.“ To bylo zapříčiněno pravděpodobně znovu stejným faktorem, jako u otázky na původ nanomateriálů. Účastníci programu aktivně pracovali se simulátorem elektronového mikroskopu, zatímco o UV/VIS spektroskopii byla pouze zmínka v praktické části programu, kdy účastníci prováděli analýzu připravených vzorků. I přes to, že byly účastníci s metodou seznámeni, byl zážitek z aktivní práce se simulátorem silnější a převážil teoreticky získanou informaci.



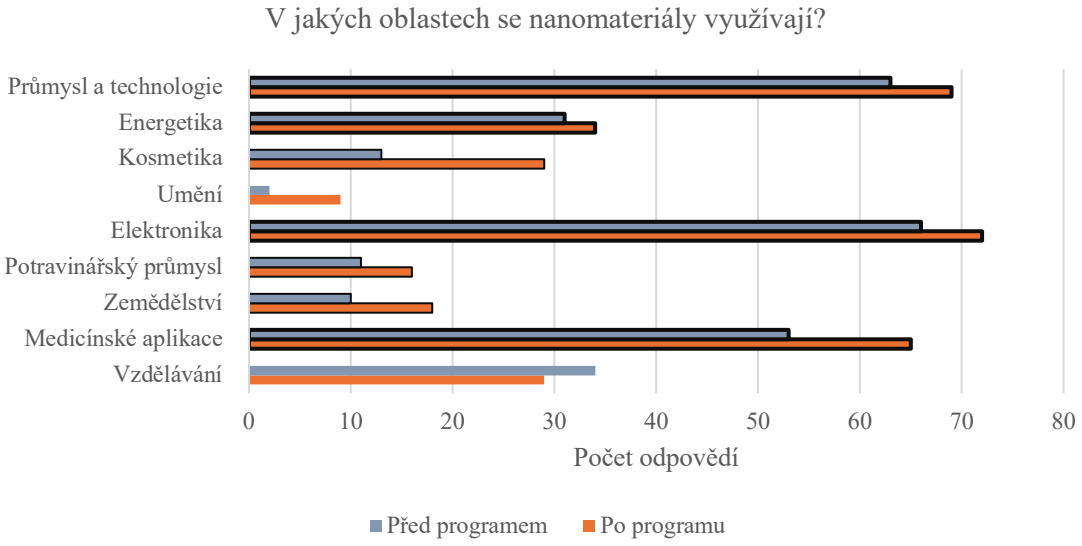
Obrázek č. 26: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: „Které techniky můžeme použít pro studium nanomateriálů?“ [Správná odpověď: Elektronový mikroskop; UV/VIS spektrometrie.]*

Čtvrtá teoretická otázka se týkala charakteristických vlastností nanomateriálů. U této otázky je nutno poznamenat, že se jednalo o zobecnění vlastností pro celou skupinu nanomateriálů, a konkrétní vlastnosti byly zaměřeny na příklady, se kterými se účastníci mohli v průběhu programu setkat. Každý nanomateriál má své specifické vlastnosti, které závisí na řadě faktorů, a ne všechny z uvedených správných odpovědí platí pro všechny nanomateriály. Jedná se však o zjednodušení přizpůsobené úrovni znalostí požadované po žácích základních a středních škol. I tak je ale na vyhodnocení odpovědí respondentů možné sledovat rozdíl u odpovědí před a po programu. U správných odpovědí je možné sledovat nárust po realizaci programu a u nesprávných odpovědí je naopak značný pokles.



Obrázek č. 27: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: „Jaké vlastnosti jsou pro nanomateriály charakteristické?“ [Správná odpověď: Mají antibakteriální účinky; Díky své velikosti mohou pronikat do buněk; Jsou extrémně reaktivní; Syntézou lze ovlivnit jejich barvu.]*

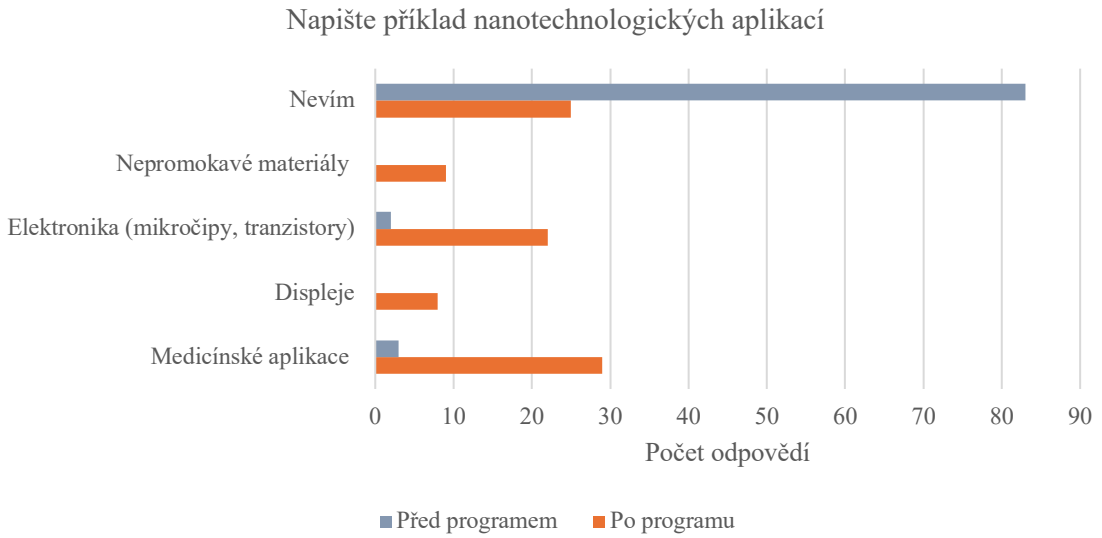
Poslední část teoretických otázek se věnovala nanotechnologickým aplikacím a odvětvím, ve kterých se nanotechnologie uplatňují. Tato oblast se skládala ze dvou otázek. Jedné uzavřené a volbou více možných správných odpovědí a otevřenou otázkou, do které účastníci zapisovali vlastní odpověď. V první uzavřené otázce respondenti vybírali z možných odpovědí odvětví, ve kterých se nanotechnologie využívají. Jelikož se nanotechnologie, jako perspektivní obor, postupně rozšiřují do stále většího počtu oborů, není zcela jednoduché určit správné a špatné odpovědi na tuto otázku. Odpovědi tedy byly rozděleny do dvou kategorií. Primární správné odpovědi, ve kterých jsou obsaženy hlavní směry rozvoje nanotechnologií (v grafu vyznačeny tučných černým ohraničením). Do této skupiny patří průmyslové elektronické a energetické aplikace. Dále byly vyčleněny sekundární správné odpovědi, do kterých jsou zařazeny obory, kam se nanotechnologie postupně propisují, ale nejedná se o typické příklady nanotechnologických oborů. Tyto obory jsou v grafickém znázornění zvýrazněny tenkým černým ohraničením. Z odpovědí respondentů je patrné, že po realizaci programu opět stoupá počet odpovědí u správných možností. Znovu se zde však projevuje i faktor základního prekonceptu, jelikož v odpovědích ze vstupního dotazníku jsou 4 primární oblasti využití nanotechnologií vybrány většinou respondentů a téměř 2/3 respondentů, jsou tyto oblasti schopny určit i bez předchozí znalosti oboru. Po realizaci vidíme nárůst i u sekundárních možností, se kterými se účastníci v průběhu programu seznámili.



Obrázek č. 28: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: „V jakých oblastech se nanomateriály využívají?“ [Správná odpověď: (primárně) Průmysl a technologie; Energetika; Elektronika; Medicínské aplikace; (sekundárně) Kosmetika; Potravinářský průmysl; Zemědělství.]*

Druhou částí byla otevřená otázka: „Napište příklad nanotechnologických aplikací.“ Tato otázka více odkrývá opravdovou informovanost účastníků v oblasti nanotechnologií, jelikož již nemohou volit z předepsaných možností a odpověď nemohou pouze odhadnout. Zde byl nejprve velký pokles v počtu správných odpovědí, protože z 90 respondentů, zde správně (nebo alespoň relevantně) odpovídá pouze 6.

4 z 6 respondentů, kteří odpověděli správně byli studenti 3. nebo 4. ročníku střední školy, a i u dalších odpovědí v dotazníku odpovídali tak, že se dá předpokládat jejich předchozí znalost problematiky. Zbytek respondentů neuvedl odpověď žádnou, nebo uvedl odpověď „Nevím.“ Po realizaci programu se počet správných odpovědí zvýšil na 68. Mezi správnými odpověďmi se, jak se dá předpokládat, objevovali hlavně aplikace, jejichž princip si účastníci programu mohli v rámci aktivit vyzkoušet. Nejčastěji se tedy objevovali odpovědi jako displeje a monitory, medicínské aplikace (roušky, obvazy), nepromokavé látky a postřiky, mikročipy a další.

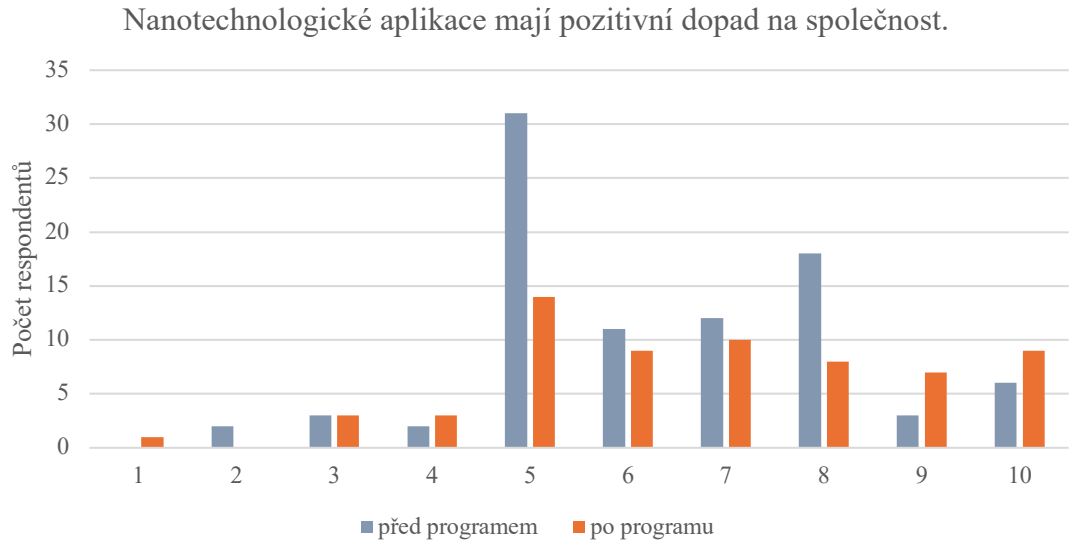


Obrázek č. 29: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: „Napište příklad nanotechnologických aplikací.“*

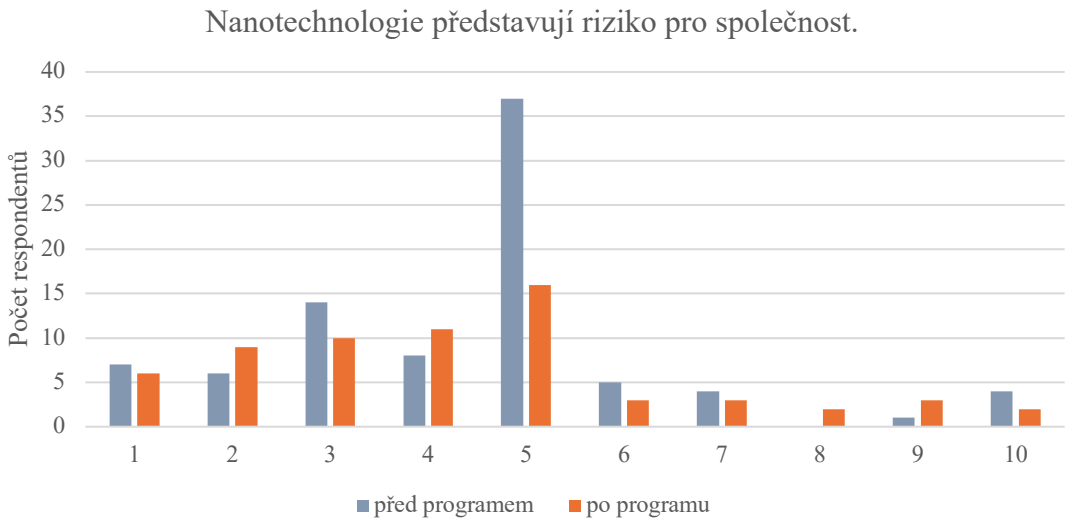
Z celé kapitoly teoretických otázek je možné vyvozovat několik závěrů. Před realizací programu jsou účastníci jen velmi málo informovaní o nanomateriálech a nanotechnologiích, ale jsou schopni vyvozovat a odhadovat velké množství správných odpovědí na základě předchozích obecných znalostí přírodních věd. Největší dopad na teoretické poznatky respondentů měly aktivity, ve kterých si mohli sami respondenti prakticky vyzkoušet princip, nebo demonstraci popisované reality. Posledním závěrem je, že realizace programu prokazatelně zvýšila znalosti respondentů v oblasti nanotechnologií a nanomateriálů. V další části budou vyhodnoceny otázky zaměřené na osobní postoje respondentů, na základě, kterých bude možné hodnotit, zda byl cíl edukačního programu naplněn. Jelikož cílem programu nebylo pouze zvýšit množství informací, které účastníci programu mají, ale také posunout jejich osobní postoje pozitivním směrem k předkládané problematice.

3.3.4 Postoje respondentů vůči nanotechnologiím

Kromě vědomostí byli účastníci dotazováni i na otázky, které zohledňovali jejich osobní postoje a názory vůči tematice nanotechnologií a využívaní nanotechnologických aplikací. Jak je známo, pozitivní přístup k nově učenému tématu hraje zásadní roli v otázce úspěchu učebního procesu. U nových vědeckých témat se však poměrně často setkáváme s neutrálními, či dokonce negativními přístupy ze strany veřejnosti. Neznámá oblast výzkumu, které není jednoduché porozumět vyvolává, společně s nedostatečnou komunikací vědy směrem k veřejnosti, strach a odmítavý přístup ze strany veřejnosti. Mladá generace je většinou novým tématům více otevřena. Což potvrzují i výsledky ze vstupních dotazníků, které vyplňovali účastníci pilotních výukových programů. Většina účastníků zaujímá k novému a neznámému tématu neutrální, spíše pozitivní postoj. V odpovědích na otázky, jaké dopady má využívání nanotechnologií nebo jaká rizika nanotechnologie představují zaujímají respondenti před realizací programu převážně neutrální postoj. Po realizaci programu, jak z odpovědí respondentů vyplývá, dochází k náklonu odpovědí směrem k pozitivnímu trendu. Tato skutečnost v podstatě koreluje s obecným poznatkem, že se zvyšováním informovanosti o vědeckých tématech roste i důvěra vůči produktu vědy a výzkumu. Ačkoliv se zvolené hodnoty u odpovědí posouvají, je z odpovědí stále možno vidět kritičnost respondentů vůči tématu. Což může být zapříčiněno dvěma faktory. Účastníci programu za 4 hodiny nemají šanci pojmout celou komplexní problematiku a vzdělávání v této oblasti není otázkou jednoho programu. Druhým faktorem je, že se v rámci programu otevírá i oblast rizik a možných negativních dopadů technologií. Cílem výukového programu není přesvědčit účastníky pouze o výhodách, které nové technologie přináší, ale poukázat i na možná rizika a proces jejich řešení, který by k vědě a výzkumu měl neodmyslitelně patřit.

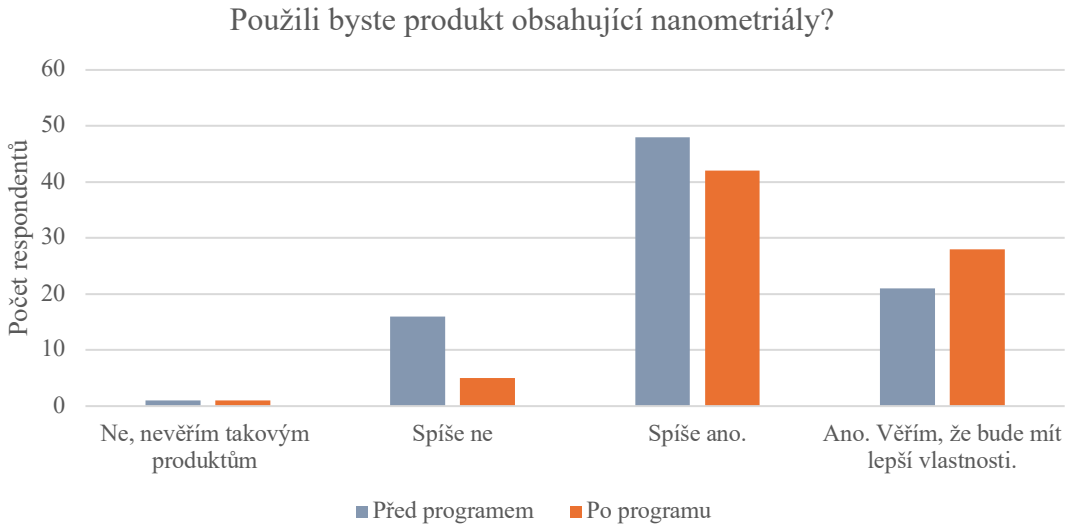


Obrázek č. 30: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: Souhlasíte s následujícím tvrzením? „Nanotechnologické aplikace mají pozitivní dopad na společnost.“ [1 = zcela nesouhlasím; 10 = zcela souhlasím]*



Obrázek č. 31: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: Souhlasíte s následujícím tvrzením? „Nanotechnologie představují riziko pro společnost.“ [1 = zcela nesouhlasím; 10 = zcela souhlasím]*

Další z otázek zachycující postoje respondentů byla otázka zaměřená na spotřebitelské chování a zda by respondenti zakoupili, nebo použili produkt, který obsahuje nanomateriály. Znovu se zde projevuje spíše pozitivní postoj k takovým produktům již před realizací programu. Po realizaci je opět viditelný vzrůst na pozitivní straně škály možných odpovědí. Také je možné pozorovat výrazné snížení u možnosti, že by respondenti produkt nevyužili. V části edukačního programu věnované vlastnostem a aplikací, bylo účastníkům ukázáno několik konkrétních produktů, ve kterých se nanomateriály nacházejí. Úbytek záporných odpovědí, lze tedy přisoudit i tomu, že si respondenti byli schopni otázku propojit s konkrétními produkty, jejichž vlastnosti měli možnost ozkoušet v rámci programu.



Obrázek č. 32: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: „Použili byste produkt obsahující nanomateriály?“*

Obecně lze blok postojů respondentů uzavřít s pozitivními závěry. Nejen, že většina účastníků do programu již vstupovala s velmi otevřeným postojem vůči tématice, ale dokonce se v průběhu programu podařilo u většiny dotazovaných docílit pozitivního posunu jejich osobních postojů k této problematice. Tento výsledek lze považovat za didaktický úspěch, protože jedním z vysoce postavených cílů vzdělávání je motivovat účastníky, a rozvíjet jejich zájem o probíranou tématiku. Jelikož vzdělávání nemá rozvíjet pouze vědomosti, ale proměňovat názor a postoje jedince. Což se dle výsledků ve výstupních dotaznících podařilo.

3.3.5 Celkové zhodnocení vzdělávacího programu

Celkové hodnocení výukového celku lze uzavřít s pozitivními závěry. Účastníci programu se vždy téměř všichni aktivně zapojovali do všech prováděných aktivit a sami program hodnotili velmi pozitivně. (Některé z pozitivních zpětných vazeb: „*Zábavné, srozumitelné s hezkými ukázkami a prací v laboratoři“; „Bylo to dost zajímavé, nejvíc mě zaujaly ty pokusy“; „Výukový program byl zajímavý, naučný a zábavný“; „10/10 - bavilo mě stříkání vody po listech*“) Ve zpětných vazbách se obecně nejvíce opakovala hodnocení, že program byl zajímavý, naučný a zábavný. Někteří účastníci uvedli i negativa, která v programu spatřují. Tato výtka se převážně týkala časové dotace, protože zejména mladší žáci vyhodnocovali program jako poměrně dlouhý, což způsobovalo, že ke konci již ztráceli pozornost. Celkově však bylo hodnocení pozitivní, a to i ze strany pedagogů, kteří program se třídami absolvovali. Ti většinou program oceňovali jako propracovaný a vždy byly velmi spokojení s prací lektorů, jak po odborné, tak po pedagogické stránce.

Jelikož se ve vyhodnocení programu, zejména u žáků ZŠ objevovala výtka, že program je pro ně dlouhý a je pro ně náročné se po celou dobu soustředit, rozhodla jsem se ze všech získaných dat, vyzkoušených experimentů a metod vytvořit ještě jednu kratší verzi programu, která bude zcela přizpůsobena systému výukových programů v Pevnosti poznání (metodický list programu je vložen v příloze práce). Zkrácený program je určen primárně žákům posledních dvou ročníků ZŠ a časová dotace programu je 45 minut pro 16 žáků. Třída je tedy rozdělena na dvě skupiny, které se po 45 minutách vystřídají. Program je od prosince 2023 nabízen v programové nabídce Pevnosti poznání pod názvem „Průvodce nanosvětem“ a dle aktuálních objednávek jej od konce června 2024 navštíví dalších 298 žáků. Na těchto programech plánuji provádět další evaluaci tématu, nad rámec této diplomové práce.

3.4 Vývoj DVPP kurzu pro pedagogy

3.4.1 Předpoklady a vstupy pro vývoj kurzu pro pedagogy

Pro úspěšné zvýšení obecné informovanosti veřejnosti o nanomateriálových vědách je klíčový přenos tematiky do školního prostředí a zařazení příkladů a principů z této oblasti do běžné výuky přírodních věd. S tímto předpokladem byl vytvořen kurz pro pedagogické pracovníky (zejména učitele chemie a dalších přírodovědných předmětů) věnovaný novým vědeckým tématům ve výuce se zaměřením na nanotechnologie a nanomateriálovou vědu. Z jednoduchého dotazníku položeného skupině učitelů chemie, provedeného jako pretest pro získání orientačních dat pro přípravu kurzu, vyplynulo, že výuce nanotechnologií na školách se věnuje téměř polovina dotazovaných učitelů. Skupina respondentů však byla skupina aktivních učitelů, kteří aktivně usilují o transformaci přírodovědné výuky a je tedy více než pravděpodobné, že v běžném vzorku učitelů by byla hodnota nižší. Z odpovědí ale také vyplynulo, že učitelé, kteří se věnují výuce nanotechnologií se ZŠ nebo SŠ volí nejčastěji jednu z těchto metod: Projektová výuka, Zmínka o konkrétním příkladu. Právě na tyto dvě metody jsem se rozhodla navázat při tvorbě kurzu.

Při přípravě kurzu byly stanoveny následující předpoklady:

- Kurz předpokládá, že jeho účastníci nemají žádné, nebo jen velmi malé znalosti v oblasti nanomateriálových věd.
- Kurz předpokládá, že jeho účastníci mají přímou zkušenost s výukou na ZŠ a SŠ.
- Kurz předpokládá, že k jeho realizaci bude možné využít laboratoř, dostačující je však i školní laboratoř vybavená pomůckami pro kurz.
- Řada aktivit realizovaných s pedagogy vychází z aktivit na výukovém programu.

3.4.2 Charakteristiky kurzu pro pedagogy

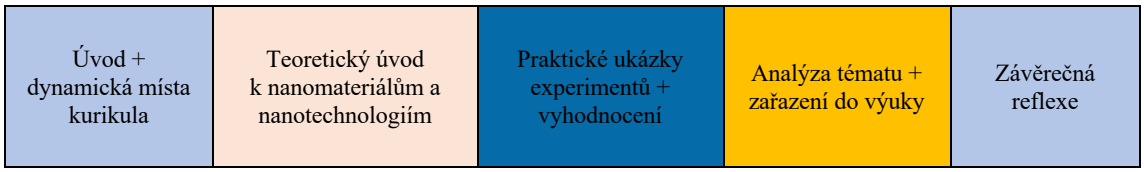
Na základě některých výsledků edukačního programu Všude samé nano, dotazníků pro učitele a praxe v neformálním vzdělávání z Centra popularizace Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého, byl vytvořen 4hodinový kurz pro učitele přírodovědně zaměřených předmětů na ZŠ a SŠ. Tento kurz byl realizován se skupinou pedagogů s cílem jeho evaluace a následného přepracování na akreditovaný kurz pro pedagogy věnovaný výuce nanotechnologií a nanomateriálové chemie.

Pro kurz byly stanoveny následující cíle:

- Kurz nabízí pedagogům informace, nebo informační zdroje potřebné pro efektivní přenos tématiky nanotechnologií do výuky.
- Účastníci kurzu si vyzkouší práci s digitálními nástroji, které mohou využít ve výuce.
- Účastníci kurzu absolvují ukázku vzdělávacího programu s tematikou nanotechnologií a nanomateriálové chemie.
- Účastníci provedou analýzu vzdělávacího programu a jednotlivých didaktických metod v programu využitých.
- Účastníci na základě předložených informací a aktuálního RVP sami navrhnou místa, ve kterých by bylo možné tematiku nanomateriálů a nanotechnologií začlenit do výuky.

3.4.3 Harmonogram vytvořeného programu

9:00 – 9:30	9:30 – 10:15	10:30 – 11:30	11:45 – 12:30	12:45 – 13:00



Obrázek č. 33: *Harmonogram realizovaného programu pro pedagogické pracovníky*

V následujících odstavcích je rozepsán bodový harmonogram celého programu. Každá aktivita je doplněna podrobným popisem a časovou dotací. Jelikož se jednalo o pilotní realizaci byl po každé z aktivit vyhrazen prostor na podrobnější reflexi a dotazy, aby výstupy z programu směřovaly, k co nejefektivnějšímu vzdělávání pedagogických pracovníků metodami, které pro ně budou opravdu přínosem a inspirací, které budou přenášet do své vlastní pedagogické praxe. Aktivity kurzu, které byly identické s aktivitami v edukačním programu, již nejsou znovu podrobně rozepsány, jsou pouze zaznamenány s časovou dotací.

3.4.3.1 Úvod programu 30 min

V úvodní části programu se skupina vzájemně představí a seznámí. Kurz není určen výhradně učitelům chemie, ale naopak díky interdisciplinaritě oboru nanotechnologie je žádoucí, aby se programu účastnili pedagogové, kteří vyučují různé přírodovědné předměty na základních a středních školách. Po seznámení je skupině pomocí výkladu k prezentaci představen konstrukt dynamických míst kurikula, systém výběru a zařazování nových vědeckých témat do výuky.

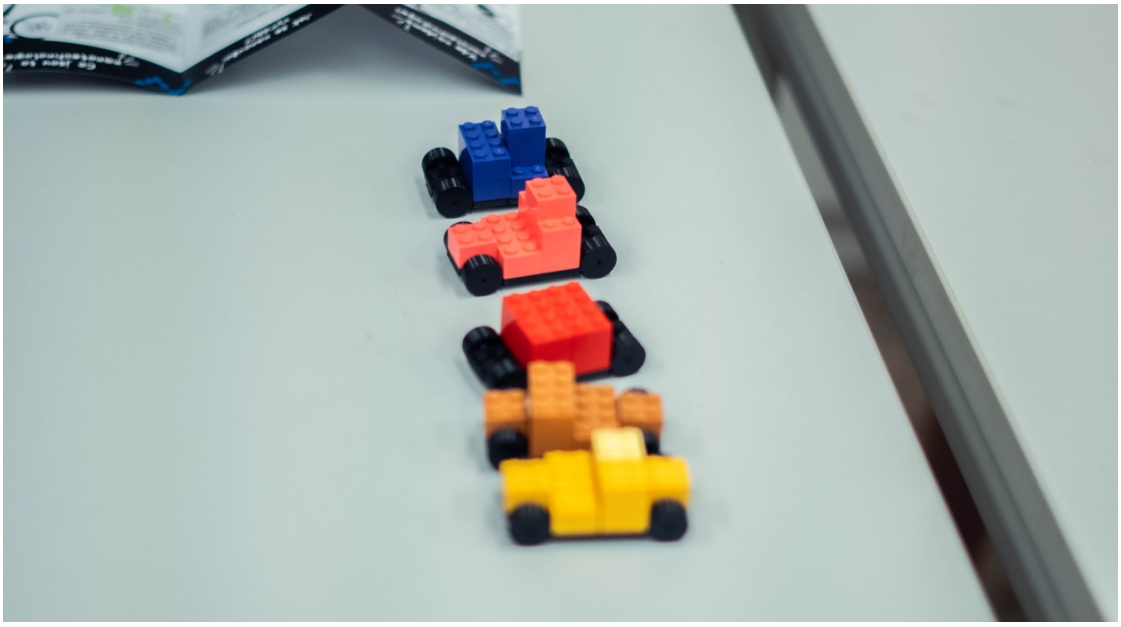
3.4.3.2 Teoretické představení nanotechnologií a nanomateriálů 45 min

Jelikož kurz pracuje s předpokladem, že skupina pedagogů má v oblasti nanomateriálových věd jen velmi malé množství informací, je v další části programu zařazen teoretický výklad. Pomocí prezentace, doplněné o praktické ukázky a další aktivity s didaktickými pomůckami, je skupině přednesen teoretický základ tématu. Zvýšení teoretických znalostí pedagogů je klíčové pro pozdější implementaci tématu do své výuky. Teoretická prezentace a aktivity použité na kurzu pro pedagogy jsou shodné s materiály využívanými v edukačním programu Všude samé nano. Na rozdíl od programu, lektor při výkladu teorie zachází více do fyzikálních a chemických principů a některé části jsou popisovány podrobněji. I se skupinou pedagogů jsou realizovány doprovodné aktivity, jako je velikostní škála k porovnání velikostí, nebo ukázka práce se simulátorem elektronového mikroskopu. Při doprovodných aktivitách jsou pedagogové kromě samotného průběhu aktivit instruováni i kde materiály a podklady k aktivitám najdou.

Stavba nanoautíčka (principy metod nanofabrikace): 10 min

Jedna z aktivit, kterou skupina pedagogů absolvuje, je didaktická aktivita vysvětlující dva základní principy využívané při výrobě nanostruktur. A to Bottom-up metody, kde se postupuje od nejmenších částic, které se postupně skládají do větších struktur a Top-down metody, které spočívají v postupném zmenšováním materiálu. Účastníci ve skupině se rozdělí do dvojic a každá dvojice dostane pytlík s kostkami lega a podvozkem lego auta. Všechny skupiny mají stejný úkol: Postavte auto, které bude

složeno z přesně 8 kostek. Polovina dvojic však dostane prázdný podvozek a samostatné kostky lega, které musí postupně naskládat na podvozek autíčka (metoda Bottom-up). Druhá polovina dvojic dostane podvozek plně zaskládaný kostkami a účastníci musí postupně kostky odebírat, dokud se nedostanou na počet 8 kostek (metoda Top-down). Na konci aktivity, když mají všechny dvojice hotovo, se auta vyskládají do jedné řady. Na první pohled je možné vidět, že ačkoliv měli všichni stejné zadání, nevytvořili stejné auto. Tento princip je v nanomateriálové chemii velmi důležitý. I malá změna způsobí změnu celého systému. Proto pokud se nepostupuje podle detailně popsaného postupu nemohou vzniknou dvě identické struktury. Na závěr jsou účastníci vyzváni, aby určili, kterou z metod při své stavbě využili.



Obrázek č. 34: *Ukázka odlišných struktur lego autíček postavených při demonstraci různých metod přípravy nanomateriálů. [Fotografie z realizace kurzu pro pedagogy]*

Specifická plocha povrchu: 15 min

Simulátor elektronového mikroskopu: 10 min

3.4.3.3 Praktické ukázky experimentů **60 min**

Po teoretické části následovala praktická část v laboratoři, kde byly pedagogům představeny experimenty zaměřené na nanomateriály. Mezi experimenty byla příprava nanočástic stříbra z edukačního programu, nebo ukázka bloku badatelské výuky zaměřené na hydrofobní chování materiálů. Kromě ukázek z edukačního programu a reflexe daných aktivit, byly zařazeny i experimenty, které nevyžadují žádné speciální vybavení a je možné je provádět ve školním prostředí bez materiálového omezení. Pokusy byly čerpány z databáze wikipokusů s nanomateriály.[42]

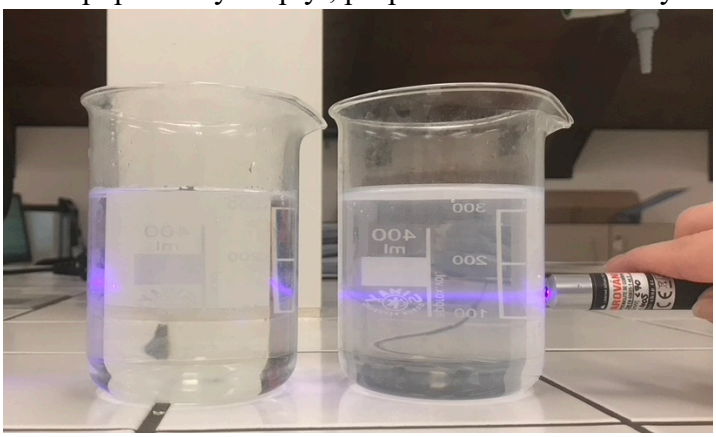
Příprava anizotropních nanočástic stříbra: 30 min

Obrázek č. 35: *Vpravo: Fotografie z ukázek experimentů s nanomateriály do výuky; vlevo: Celým programem pedagogy provázel doprovodný materiál (Průvodce nanosvětem), didakticky zpracovaný text, do kterého zaznamenávali svá pozorování a poznámky k experimentům a aktivitám. [Fotografie z realizace kurzu pro pedagogy]*

Hydrofobita – Efekt lotosového květu: 20 min

Pozorování Tyndallova jevu: 10 min

Jedním ze zařazených pokusů byl jednoduchý důkaz přítomnosti nanočástic v disperzi. Důkaz spočívá v paprsku světla procházejícího skrz nádobu s disperzí. Pokud se v pozorované směsi nacházejí okem neviditelné částice větší než 1 nm dochází na nich k specifickému rozptylu světla, zvanému Tyndallův rozptyl. Při prosvícení pravého roztoku nebo destilované vody není možné pozorovat trasu paprsku uvnitř roztoku. Jelikož u disperzí nanočástic dochází k zmiňovanému Tyndallovu rozptylu, dráhu paprsku je možné sledovat. Jako příklad disperze nanočástic může sloužit kapka mléka zředěného ve 250 ml vody. Rozptýlením kaseinových micel ve vodě vznikne disperze, na které lze pozorovat popisovaný rozptyl, při prosvěcování laserovým ukazovátkem.



Obrázek č. 36: *Ukázka důkazu přítomnosti koloidních částic v disperzi mléka. Kádinka vpravo: destilovaná voda; kádinka vlevo: disperze kapky mléka ve vodě. [Fotografie z realizace kurzu pro pedagogy]*

3.4.3.4 Analýza tématu a jeho zařazení do výuky 45 min

Další blok kurzu byl věnován didaktickému zařazení nanotechnologií a nanomateriálů do aktuálního RVP a do běžných výukových celků, vyučovaných v přírodovědných předmětech na ZŠ a SŠ. Tento blok spočíval ve společném zhodnocení tématu s využitím mnohaleté praxe přítomných pedagogů. Pomocí SWOT analýzy a reflexe získaných znalostí a zkušeností z předchozích bloků kurzu se pedagogové ve skupině pokusili téma zapracovat do vybrané výukové oblasti. Lektor programu postupně zadával různé úhly pohledu (role pedagoga, žáka, využití technologií, využití zastoupení tématu v médiích a další), ze kterých pedagogové vyhodnocovali oblast nanotechnologií.

Obrázek č. 37: *Ukázka tvorby SWOT analýzy tématu. Účastníci vyhodnocení zpracovávali ve dvojicích, své závěry vždy po 10 minutách skupina společně konzultovala a lektor doplňoval další informace a zadání. [Fotografie z realizace kurzu pro pedagogy]*

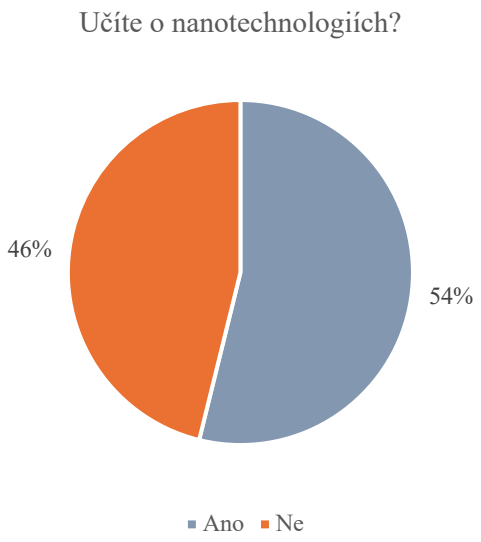
3.4.3.5 Závěrečná evaluace 45 min

Poslední blok kurzu byl věnován vyhodnocení jednotlivých aktivit. Společně se skupinou byla každá aktivita zhodnocena z několika hledisek: přínosnost aktivity, srozumitelnost aktivity a možnost implementace do výuky. Hodnocení probíhalo skupinovou diskuzí s audiozáznamem pro možnost vyhodnocení závěrů diskuze do této práce. Pro hodnocení programu a aktivit byly předem připravené otevřené otázky, které dostali všichni účastníci k dispozici. Lektor se postupně ptal na všechny otázky a zástupci ve skupině odpovídali.

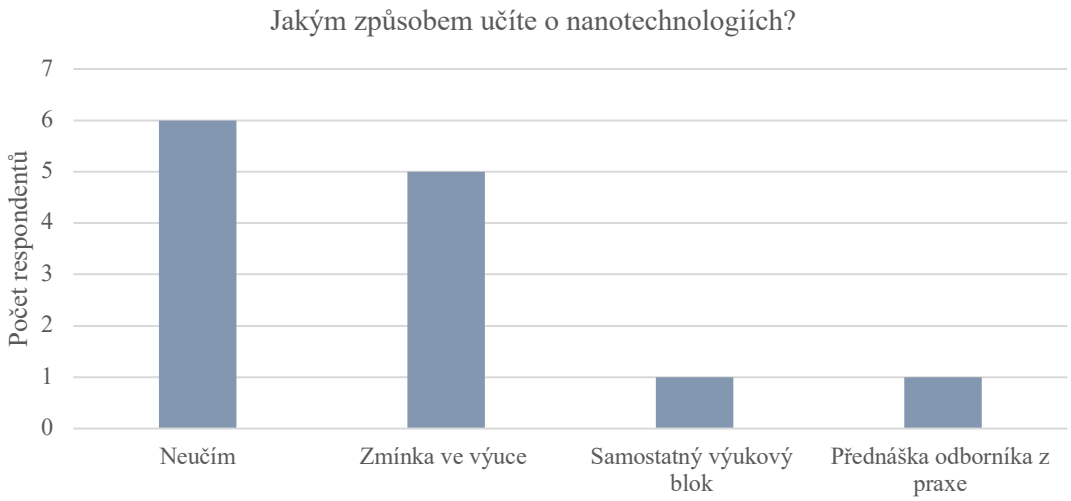
3.5 Pilotní testování a evaluace kurzu pro pedagogy

Připravený kurz pro pedagogy byl realizován 2.4.2024 v budově Centra popularizace Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého; Pevnosti poznání. Kurzu se zúčastnilo 13 pedagogů ze základních škol, gymnázií a Střední školy logistiky a chemie v Olomouci. Všichni pedagogové ve skupině byli učitelé chemie s kombinacemi dalších přírodovědných předmětů (matematika, biologie, přírodopis, geografie). Díky interdisciplinárnímu zaměření kurzu byly další aprobace pedagogů velkým přínosem pro výstupy kurzu. Data jsou vyhodnocována z pořízených audiozáznamů v průběhu kurzu. Všichni učitelé s nahráváním souhlasili a podepsali informovaný souhlas, že data budou použita zcela anonymně pouze pro vyhodnocení požadovaných výstupů diplomové práce.

Na počátku kurzu byla účastníkům položena otázka: „*Vyučujete o nanotechnologiích? Pokud ano, jakým způsobem*?“ Odpovědi na otázku jsou znázorněny v následujících grafech. Z výsledků vyplývá obdobná informace, jako z orientačního předvýzkumu mezi učiteli, ze kterého stejně jako v tomto případě vyplynulo, že téměř polovina učitelů se tématu nanomateriálů ve své výuce věnuje. Z druhého grafu je ale patrné, že prostor věnovaný nanomateriálům je ve většině případů jen velmi malý, a žákům jsou předávány pojmy a části informací bez hlubšího kontextu.



Obrázek č. 38: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: Vyučujete ve své pedagogické praxi o nanotechnologiích?*



Obrázek č. 39: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: Jakým způsobem učíte o nanotechnologiích?*

Většina účastníků kurzu uváděla, že pokud se ve své výuce věnují tématu nanomateriálů, jedná se o zmínky o konkrétních příkladech nanotechnologií, a to v následujících oblastech výuky (kapitoly byly zařazeny dle aktuálních oblastí RVP pro ZV):

- Člověk a příroda – CH – Směsi
  „Při rozdělení směsí na homogenní a heterogenní, přidám koloidní směsi s určením rozměrů částic.“
- Člověk a příroda – CH – Částicové složení látek a chemické prvky – Prvky – Stříbro
  „Já třeba, když probírám stříbro, tak zmíním, že se využívá v nanotechnologiích pro zlepšení vlastností, že se vyrábí ty ponožky nebo trička pro sportovce.“
- Matematika a její aplikace – M – Závislosti, vztahy a práce s daty – Převody jednotek
  „Já občas, když máme v matematice jednotky, tak pokud probíráme na mínus devátou, tak se zmíním, že to je velikost třeba nanomateriálů.“
- Člověk a příroda – CH – Částicové složení látek a chemické prvky – Prvky – Uhlík
  „U uhlíku se zmiňuji o grafenu, fullerenu, ale jen tak jak je to v učebnici, řeknu že to je, a to je vše.“
- Člověk a příroda – Bio – Obecná biologie a genetika– Viry a bakterie – Viry
  „Teď je aktuální navázat na epidemii Covid-19, roušky, testy a tak dále, tam se zmíním, že jsou to nanotechnologie.“
- Člověk a příroda – Bio – Biologie živočichů – Stavba těla, stavba a funkce jednotlivých částí těla – Makromolekulární látky
  „Tady třeba žákům vysvětluji ten hierarchický, postupný systém stavby tkání.“
- Člověk a příroda – CH – Chemie a společnost– Plasty a syntetická vlákna – Plasty
  „S žáky dělám dvouhodinový projekt o plastech. Teď se snažím zařazovat i mikroplasty.“

3.5.1 Zařazení oblasti nanotechnologie a nanomateriály do RVP

V závěrečné části kurzu jsme se s učiteli k tomuto zařazení vrátili a pokusili jsme se pomocí předchozí analýzy témat navrhnout další oblasti výuky, kam by se nanotechnologie a nanomateriály daly zařadit, ať už v rámci zmínek, kde jsme se shodli, že **má smysl zmínky zařazovat, ale je vhodné k nim doplnit alespoň pár vět, které pojem vysvětlí, nebo mu přidají širší kontext**. Níže vypsané jsou další výstupy z kurzu, do kterých oblastí aktuálního RVP je možné tématiku nanotechnologií a nanomateriálů zařadit.

- Člověk a příroda – CH – Směsi
  Zavedení koloidních směsí a nanomateriálů se základní definicí a uvedením intervalu velikosti částic.
- Člověk a příroda – CH – Částicové složení látek a chemické prvky – Prvky – Stříbro
  Popis konkrétní nanotechnologické aplikace, jako jsou antibakteriální ponožky nebo oblečení pro sportovce.
- Člověk a příroda – CH – Částicové složení látek a chemické prvky – Prvky – Uhlík
  Popis alotropických modifikací uhlíku. Zmínka o grafenu a fullerenech s vysvětlením, jak struktura vypadá a jaké má specifické vlastnosti.
- Člověk a příroda – CH – Částicové složení látek a chemické prvky – Prvky – Křemík
  Zmínka o výrobě mikročipů a další elektronických součástek. Jednoduché srovnání mezi velikostí a výkonem telefonu žáků.
- Člověk a příroda – CH – Chemie a společnost – Plasty a syntetická vlákna – Plasty
  Mikroplasty, popis jejich vzniku a rizik, která představují. Možnost zmínit hledání řešení tohoto problému v nanotechnologiích.
- Člověk a příroda – CH – Chemie a společnost – Plasty a syntetická vlákna – Syntetická vlákna
  Nanovlákna – jejich zařazení a možnosti využití. Navázání na roušky a respirátory. Zmínit výrobu nanovláken v Liberci.
- Člověk a příroda – CH – Organické sloučeniny – Paliva – Průmyslově vyráběná paliva
  Aditiva do benzínu a nafty – zlepšení vlastností paliva na základě přídavku nanočástic.
- Člověk a příroda – Bio – Obecná biologie a genetika– Viry a bakterie – Viry
  Viry – velikostní zařazení, podobné velikosti jako nanočástice
- Člověk a příroda – Bio – Obecná biologie a genetika– Viry a bakterie – Bakterie
  Antibiotická rezistence – aktuální důležité téma – nanotechnologie jako jedno z možných řešení
- Člověk a příroda – Bio – Biologie živočichů – Stavba těla, stavba a funkce jednotlivých částí těla – Makromolekulární látky
  Chování makromolekul (bílkoviny, tuky, cukry – přírodní nanomateriály)
  Hierarchická struktura tkání (vlasy, svaly)

- Člověk a příroda – Bio – Základy ekologie – Ochrana přírody a životního prostředí – Globální problémy a jejich řešení
  Zmínka o nanotechnologiích v ekologii (čištění odpadní vod, ekologičtější zdroje energie, fotovoltaika)
- Matematika a její aplikace – M – Závislosti, vztahy a práce s daty – Převody jednotek
  Převody jednotek – zmínka, jaké materiály řádíme do nano

Ve skupině učitelů nebyl zastoupen nikdo, kdo by vyučoval fyziku, proto nejsou oblasti zmíněny, i přesto že by i zde bylo možné najít témata, jako převody jednotek nebo magnetická kapalina. Po dokončení aktivity s analýzou tématu a možností jeho zařazení účastníci kurzu často až udiveně uznávali, že oblastí, kam zařadit nanotechnologie, je již teď v RVP velké množství i přes to, že samotná kapitola v RVP ukotvena není. Účastníci, ale také uváděli, že postupný vývoj vědy přináší témat, která by se měla ve výuce zmiňovat stále více a bohužel nelze zařadit všechny. Kurzem ale učitelé kromě samotných znalostí získali i přístupy k nástrojům, které by jim měly pomoci tato témata úspěšně do výuky implementovat. K některým tématům viděli demonstrující experimenty, či výukové pomůcky, které i komplexní téma nanotechnologií mohou žákům v lavicích přiblížit.

3.5.2 Celkové zhodnocení kurzu pro pedagogy

Realizaci programu pro učitele je dle závěrů z programu možné prohlásit za úspěšnou. Všechny stanovené cíle programu se podařilo naplnit, a sami účastníci hodnotili kurz velmi pozitivně. Ať už jeho interaktivní zpracování, tak i prezentaci části výsledků výzkumu prováděného na žákovském edukačním programu. Právě základna výsledků a ozkoušených aktivit, dovolila vytvořit kurz se správnými předpoklady o informovanosti učitelů, ale i o vhodných formách a metodách předávání nových poznatků. Jelikož všechny výstupy programu tvořili účastníci sami, odcházeli z programu motivováni zapojit své vlastní výsledky do výuky. Někteří komentovali, že vlastně spoustu z těch věcí už znali, jen by je nenapadlo je takto propojit. Právě tento komentář může sloužit, jako důkaz naplnění cílů programu, protože při takovémto uvědomění získává učitel pocit, že vlastně pro zapojení nanomateriálů a nanotechnologií do výuky nemusí udělat spoustu věcí navíc. Proto je právě motivace učitelů, chtít dané téma vyučovat, jedním z nejpodstatnějších bodů, kterých lze programem dosáhnout.

Vyhodnocený program je v plánu po drobných úpravách uvést jako akreditovaný kurz dalšího vzdělávání pedagogických pracovníků pod katedrou fyzikální chemie Univerzity Palackého.

4 Závěr

Diplomová práce se zaměřuje na integraci nanomateriálových věd a nanotechnologií do vzdělávacího systému České republiky. S rostoucím rozvojem tohoto oboru a jeho postupným pronikáním do veřejného prostoru a na spotřebitelský trh narůstá poptávka po edukačních materiálech a zvyšuje se potřeba informovanosti veřejnosti. Avšak, protože téma nanotechnologií často není zahrnuto ani do pregraduálního vzdělávání učitelů přírodovědných oborů, zůstává často vynecháno z výuky na základních a středních školách.

Tato práce proto předkládá komplexní návrh, jak nanotechnologie a nanomateriálové vědy začlenit do výuky nejen prostřednictvím edukace samotných žáků, ale také pedagogů. Pedagogové tak mohou toto téma integrálně zapojit do své výuky a přirozeně seznámit s ním žáky během celého vzdělávacího procesu. Pro účely výuky byl vytvořen speciální vzdělávací program pro Centrum popularizace Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Pevnost poznání. Program absolvovalo 90 žáků z různých škol v Olomouckém kraji. Během pilotního testování byla zkoumána nejen míra informovanosti účastníků, ale také dopady programu na jejich osobní postoje k nanomateriálům a nanotechnologickým aplikacím. Hlavním zjištěním je pozitivní vliv na zvýšení povědomí a zlepšení postojů jak žáků, tak učitelů. Obzvláště významný byl rozvoj přírodovědné gramotnosti a interdisciplinárních schopností žáků, což ukazuje, že nanotechnologie mohou efektivně obohacovat přírodní vědy o nové kontexty a aplikace. Navržené vzdělávací materiály a metody byly hodnoceny jako účinné, zejména ve světle neformálního vzdělávání, které poskytuje flexibilní a praktický přístup k vědeckým tématům.

Ve spolupráci s učiteli chemie a dalších přírodovědných předmětů, kteří se zúčastnili pilotního testování vzdělávacího kurzu, byl sestaven seznam výukových oblastí. Tyto oblasti umožňují zařazení kapitol nanomateriálové vědy buď jako příklady konkrétních aplikací nebo pro demonstraci principů a interdisciplinárního propojení jednotlivých přírodovědných předmětů. Právě tato mezipředmětová propojení, klíčová pro nanotechnologie, představují zásadní příležitost pro začlenění tématu do výuky. Řešení interdisciplinárních výzev tak nejvíce rozvíjí přírodovědnou gramotnost žáků a buduje klíčové kompetence.

Pro budoucí výzkum a rozvoj vzdělávacích strategií by měl být kladen větší důraz na interdisciplinární spojení s jinými předměty a na zvyšování motivace a zapojení studentů prostřednictvím praktických a aplikovaných aktivit. Práce rovněž upozorňuje na nutnost dalšího rozvoje metodických zdrojů a zdokonalení učitelských schopností pro efektivnější začlenění nanotechnologií do školních osnov. Doporučuje se větší důraz na interdisciplinární propojení, motivaci a praktické zapojení studentů. Zvláštní význam připisuje neformálnímu vzdělávání a celoživotnímu učení jako klíčovým prvkům adaptace vzdělávacího systému na nové vědecké výzvy.

5 Summary

This thesis focuses on the integration of nanomaterial sciences and nanotechnology into the Czech educational system, especially at the elementary and secondary school levels. As the field grows and gradually expands into the public space and consumer market, there is also an increasing demand for educational materials and public awareness. However, since the topic of nanotechnologies is often not included in the pre-graduate education of science teachers, it remains excluded from the curriculum at elementary and secondary schools.

Therefore, this work presents a comprehensive proposal for incorporating nanotechnologies and nanomaterial sciences into education, both through educating students themselves and through teachers who can naturally integrate this topic into their own teaching throughout the educational process. A specialized educational program for students was created at the Centre for Popularization of Science at Palacký University Olomouc, Fortress of Knowledge. Ninety students from various schools in the Olomouc region participated in the program. During the pilot testing of the program, not only the level of participants' awareness was examined but also the impacts of the program on their personal attitudes towards nanomaterials and nanotechnological applications. The main finding is the positive effect on increasing awareness and improving attitudes of both students and teachers. Particularly significant was the development of scientific literacy and interdisciplinary skills among students, indicating that nanotechnologies can effectively enrich natural sciences with new contexts and applications. The proposed educational materials and methods were evaluated as effective, especially in the context of informal education, which provides a flexible and practical approach to scientific topics.

In collaboration with chemistry teachers and other science subject teachers who participated in the pilot testing of the educational course, a list of educational areas was compiled. These areas allow for the inclusion of chapters on nanomaterial science either as examples of specific applications or to demonstrate principles and interdisciplinary connections between various science subjects. The interdisciplinary connections that are key in nanotechnologies represent a crucial opportunity for integrating the topic into teaching. Addressing interdisciplinary challenges significantly develops students' scientific literacy and builds key competences.

Future research and development of educational strategies should place greater emphasis on interdisciplinary connections with other subjects and on increasing student motivation and engagement through practical and applied activities. The work also highlights the need for further development of methodological resources and the improvement of teaching skills for more effective integration of nanotechnologies into school curricula. It recommends a greater focus on interdisciplinary connections, motivation, and practical student engagement. Special importance is given to informal education and lifelong learning as key elements for adapting the educational system to new scientific challenges.

Seznam použitých zdrojů a literatury:

1. Joubert, I. A. *et al.* Public perception and knowledge on nanotechnology: A study based on a citizen science approach. *NanoImpact* **17**, (2020).
2. Nanoyou - Evropská vzdělávací iniciativa v oblasti nanotechnologií. https://nanoyou.eu. [dostupné z 28.4.2024]
3. Mallmann, M. Nanotechnology in school. *Sci. Sch.* **5**, 70–75 (2008).
4. Beneš, P. *et al.* Tradice a současný stav pomůckového zabezpečení edukačního chemického experimentu v České republice. *Chem. List.* **4**, 159–162 (2015).
5. Kuberská, M. *et al.* Dynamická místa kurikula jako most mezi formálním a neformálním vzděláváním. *Pedagogika* **70**, 293–313 (2020).
6. ISO. *ISO/TS 80004-1:2015 Nanotechnologies - Vocabulary*. 3 (2015). https://www.iso.org/standard/68058.html [dostupné 1.5.2024]
7. Evropská komise. *Doporučení komise EU o definici nanomateriálu*. vol. 3 (2011). https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:CS:PDF [dostupné z 1.5. 2024]
8. Shivaji, P. *Progress and Prospects in Nanoscience Today*. Nova Science Publishers, Inc., New York (2020).
9. Hochella, M. F. *et al.* Natural, incidental, and engineered nanomaterials and their impacts on the Earth system. *Science* **363**, *80-90* (2019).
10. Baig, N., *et al.* Nanomaterials: A review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. *Mater. Adv.* **2**, 1821–1871 (2021).
11. Jamkhande, P. G., *et al.* Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications. *J. Drug Deliv. Sci. Technol.* **53**, 101-174 (2019).
12. Abozaid, R. M. *et al.* Optical properties and fluorescence of quantum dots CdSe/ZnS-PMMA composite films with interface modifications. *Opt. Mater. (Amst).* **92**, 405–410 (2019).
13. Lim, S. Y., *et al.* Carbon quantum dots and their applications. *Chem. Soc. Rev.* **44**, 362–381 (2015).
14. Pisanic, T. R., *et al*. Quantum dots in diagnostics and detection: Principles and paradigms. *Analyst* **139**, 2968–2981 (2014).
15. Ghassan, A. A., *et al. Nanorods and Nanocomposites*. *Nanorods and Nanocomposites* IntechOpen (2020).
16. Shnoudeh, A. J. *et al. Synthesis, Characterization, and Applications of Metal Nanoparticles*. *Biomaterials and Bionanotechnology*, Elsevier Inc. (2019).
17. Neto, A. C., *et al.* Drawing conclusions from graphene. *Phys. World* **19**, 33–37 (2006).
18. Saleh, T. A., *et al.* Nanomaterials: Classification, properties, and environmental toxicities. *Environ. Technol. Innov.* **20**, 101-122 (2020).
19. Abid, N., *et al.* Synthesis of nanomaterials using various top-down and bottom-up approaches, influencing factors, advantages, and disadvantages: A review. *Adv. Colloid Interface Sci.* **300**, 102-137 (2022).
20. Vůjtek, M., *et al. Základy nanotechnologií 1*. Univerzita Palackého Olomouc, (2020).
21. Medina-Ramirez, I., *et al.* Green synthesis and characterization of polymer-stabilized silver nanoparticles. *Colloids Surfaces B Biointerfaces* **73**, 185–191 (2009).
22. Roduner, E. Size matters: Why nanomaterials are different. *Chem. Soc. Rev.* **35**,

583–592 (2006).
23. Fryč, J. *et al. Strategie vzdělávání 2030+* MŠMT, Praha *(2020)*
24. Kotásek, J. *et al. Národní program rozvoje vzdělávání v České republice* (Bílá kniha). MŠMT, Praha (2001).
25. Jeřábek, J. *et al. Rámcový vzdělávací program pro gymnázia*. Výzkumný ústav pedagogický v Praze; MŠMT, Praha (2021).
26. Jeřábek, J. *Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání*. MŠMT, (2021).
27. Rychtera, J. *et al.* Která jsou klíčová, kritická a dynamická místa počáteční výuky chemie v České republice? *Arnica* **8**, 35–44 (2018).
28. Bailerová, Š. *et al. Hlavní směry revize Rámcového vzdělávacího programu pro základní vzdělávání* MŠMT (2022).
29. Faltýn, J., *et al. Gramotnosti ve vzdělávání – příručka pro učitele*. Výzkumný ústav pedagogický (2010).
30. ČSI, *PISA 2015 Koncepční rámec hodnocení přírodovědné gramotnosti* ČSI Praha (2017).
31. Janoušková, S., *et al.* The concept of scientific literacy in the Czech Republic: An analysis and comparison | Koncept přírodovědné gramotnosti v české republice: Analýza a porovnání. *Stud. Paedagog.* **24**, 93–109 (2019).
32. Mentlík P., *et al.* Kritická místa kurikula, organizační a klíčové koncepty − konceptuální vymezení a příklady z výuky geověd. *Arnika* **8**, 9–18 (2018).
33. Kohnová, J. Další vzdělávání učitelů a vzdělávací politika. *Pedagogika* **4,** 128-132 (1999)
34. Mrhač, J. Další profesní vzdělávání a některé současné problémy pedagogiky a školy. *Pedagog. orientace* **5**, 75–80 (2005).
35. Srinivas, K. Need of nanotechnology in education. *Sci. J. Educ.* **2**, 58–64 (2014).
36. Budínská, G. *Hravá chemie 8 : učebnice pro 8. ročník ZŠ a víceletá gymnázia*. Taktik, (2022).
37. Halík, T. *Chemie pro spolužáky. Anorganická chemie / Tomáš Halík a kolektiv*. Hradec Králové : ProSpolužáky.cz s.r.o., (2019).
38. Asociace nanotechnologického průmyslu. https://www.nanoasociace.cz. [dostupné z 28.4.2024]
39. Akademie věd ČR. Nezkreslená věda. https://www.otevrenaveda.cz/cs/pro-verejnost/nezkreslena-veda/. [Dostupné z 28.4.2024]
40. Panáček, A., *et al.* Praktické úlohy z koloidní chemie. *Chem. List.* **99**, 606–609 (2005).
41. Kolářová, L. Nanotechnologie ve výuce fyziky na střední škole. in *Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 7 Deset let zkušeností s realizací RVP ve výuce fyzice sborník z konference* 90–97 (Západočeská univerzita v Plzni, 2015).
42. Brabcová, Z. Wikipokusy s nanomateriály. Univerzita Palackého v Olomouci, Bakalářská práce (2022).
43. Wikiknihy. https://cs.wikibooks.org/wiki/Wikiknihy:Hlavní_strana. [dostupné z 28.4.2024]
44. Kratochvílová, J. *Teorie a praxe projektové výuky*. Pedagogogická teorie, (2006).
45. Hájková, Z. Návrh implementace nových poznatků z interdisciplinárního oboru „ nanotechnologie “ do výuky přírodovědných předmětů na SŠ a příspěvek k edukaci studentů učitelství chemie v tomto oboru Nanotechnology : Implementation of contemporary. Univerzita Karlova v Praze, Disertační práce (2011).
46. Bouda, V. Konvergence oborů ve výuce nanotechnologií (Odpovědné vzdělávání v nanotechnologiích). *Nanocon 2009* (2009).
47. Krathwohl, D.T. *et al.* Revision of Bloom's Taxonomy : An Overview, *ReVision*

41, 212–218 (2008).
48. Bubeníčková D. Příprava anizometrických nanočástic stříbra. Univerzita Palackého v Olomouci, Bakalářská práce (2015).
49. Chemické pokusy s nanomateriály. https://cs.wikibooks.org/wiki/Chemické_pokusy_s_nanomateriály [dostupné z 1.5.2024]

Seznam obrázků:

Obrázek č. 1: *Schématické znázornění vztahu mezi pojmy „nanomateriál“, „nanoobjekt“ a „nanostrukturovaný materiál.“*
Obrázek č. 2: *Kvantové tečky tvořené slitinou ZnCdSeS o různých velikostech.*
Obrázek č. 3: *Nákres struktury uhlíkové nanotrubice.*
Obrázek č. 4: *Nákres struktury grafenu (vpravo) a porovnání se strukturou grafitu (vlevo).*
Obrázek č. 5: *Schematické znázornění metod přípravy nanostruktur.*
Obrázek č. 6: *Znázornění principu zvyšování velikosti specifické plochy povrchu se zmenšujícím se rozměrem jednotlivých částic materiálu.*
Obrázek č. 7: *Znázornění principu výběru dynamických míst kurikula a jejich postupné začleňování do kurikulárních dokumentů.*
Obrázek č. 8: *Modelový harmonogram výukového programu pro skupinu o max. 32 účastnících.*
Obrázek č. 9: *Ukázka z tvorby pojmové mapy. Účastníci diktují pojmy – lektor zapisuje na tabuli.*
Obrázek č. 10: *Ukázka zjednodušeného schématického znázornění skenovacího elektronového mikroskopu, na kterém se účastníci programu učí princip fungování tohoto přístroje.*
Obrázek č. 11: *Ukázka rozhraní aplikace Virtual SEM explore s překladem jednotlivých popisků.*
Obrázek č. 12: *Ukázka práce se SEM simulátorem, v zadní části fotky je možné vidět skládačku SE mikroskopu z 3D tisku.*
Obrázek č. 13*: Ukázka barevného spektra připravených disperzí nanočástic stříbra v závislosti na množství přídavku citranu (zleva 0,25 ml; 0,75 ml; 1 ml; 1,5 ml; 2,5 ml; 3 ml; 3,5 ml; 5 ml). Pro lepší rozpoznání barev jsou disperze 10x zředěny.*
Obrázek č. 14: *Ukázka didaktických pomůcek k charakterizaci připravených nanočástic účastníky výukového programu. V přední části fotky účastnický vzorek nanočástic.*
Obrázek č. 15: *Ukázka práce s didaktickými pomůckami simulujícími změnu ve velikosti plochy povrchu při zmenšování částic.*
Obrázek č. 16: *Ukázka z badatelské práce účastníku v úloze s hydrofobitou. Na obrazovce tabletu jde vidět struktura lotosového listu, kterou si účastníci vygenerují pomocí SEM simulátoru.*
Obrázek č. 17: *Nákres tvarů kapky kapaliny na smáčivém povrchu a na povrchu materiálu, který vykazuje lotosový efekt.*
Obrázek č. 18: *Ukázka žákovského laborování při aktivitě demonstrující hydrofobitu materiálů a lotosový efekt povrchů.*
Obrázek č. 19: G*rafické znázornění ročníkového rozpětí účastníků, kteří se zúčastnili pilotního testování výukového programu.*
Obrázek č. 20: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku „Setkali jste se již někdy s pojmeme nanomateriály nebo nanotechnologie?“*

Obrázek č. 21: *Grafické znázornění žákovského zhodnocení vlastní informovanosti v oblasti nanotechnologií a nanomateriálů. [1 = Nikdy jsem se s tematikou nesetkal/a; 10 = Myslím, že jsem plně informován/a]. Respondenti zhodnocení informovanosti provedli v úvodním dotazníku a pak komparativně i v závěrečném dotazníku, kde hodnotili své znalosti před absolvováním programu a po realizaci.*
Obrázek č. 22: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku „Setkali jste se s tematikou nanotechnologií (v jakémkoliv kontextu) ve škole?“*
Obrázek č. 23: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku „Napište první věc, která vás napadne, když se řekne nanotechnologie/nanomateriály?“*
Obrázek č. 24: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: „Jak velké objekty spadají do skupiny nanomateriálů?“ [Správná odpověď: Částice velké 1-100 nm]*
Obrázek č. 25: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: „Jaký mají nanomateriály původ?“ [Správná odpověď: Vznikají i v přírodě i uměle pomocí technologických postupů.]*
Obrázek č. 26: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: „Které techniky můžeme použít pro studium nanomateriálů?“ [Správná odpověď: Elektronový mikroskop; UV/VIS spektrometrie.]*
Obrázek č. 27: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: „Jaké vlastnosti jsou pro nanomateriály charakteristické?“ [Správná odpověď: Mají antibakteriální účinky; Díky své velikosti mohou pronikat do buněk; Jsou extrémně reaktivní; Syntézou lze ovlivnit jejich barvu.]*
Obrázek č. 28: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: „V jakých oblastech se nanomateriály využívají?“ [Správná odpověď: (primárně) Průmysl a technologie; Energetika; Elektronika; Medicínské aplikace; (sekundárně) Kosmetika; Potravinářský průmysl; Zemědělství.]*
Obrázek č. 29: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: „Napište příklad nanotechnologických aplikací.“*
Obrázek č. 30: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: Souhlasíte s následujícím tvrzením? „Nanotechnologické aplikace mají pozitivní dopad na společnost.“ [1 = zcela nesouhlasím; 10 = zcela souhlasím]*
Obrázek č. 31: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: Souhlasíte s následujícím tvrzením? „Nanotechnologie představují riziko pro společnost.“ [1 = zcela nesouhlasím; 10 = zcela souhlasím]*
Obrázek č. 32: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: „Použili byste produkt obsahující nanomateriály?“*
Obrázek č. 33: *Harmonogram realizovaného programu pro pedagogické pracovníky*
Obrázek č. 34: *Ukázka odlišných struktur lego autíček postavených při demonstraci různých metod přípravy nanomateriálů. [Fotografie z realizace kurzu pro pedagogy]*
Obrázek č. 35: *Vpravo: Fotografie z ukázek experimentů s nanomateriály do výuky; vlevo: Celým programem pedagogy provázel doprovodný materiál (Průvodce nanosvětem), didakticky zpracovaný text, do kterého zaznamenávali svá pozorování a poznámky k experimentům a aktivitám. [Fotografie z realizace kurzu pro pedagogy]*
Obrázek č. 36: *Ukázka důkazu přítomnosti koloidních částic v disperzi mléka. Kádinka vpravo: destilovaná voda; kádinka vlevo: disperze kapky mléka ve vodě. [Fotografie z realizace kurzu pro pedagogy]*
Obrázek č. 37: *Ukázka tvorby SWOT analýzy tématu. Účastníci vyhodnocení zpracovávali ve dvojicích, své závěry vždy po 10 minutách skupina společně konzultovala a lektor doplňoval další informace a zadání. [Fotografie z realizace kurzu pro pedagogy*

Obrázek č. 38: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: Vyučujete ve své pedagogické praxi o nanotechnologiích?]*
Obrázek č. 39: *Grafické znázornění účastnických odpovědí na otázku: Jakým způsobem učíte o nanotechnologiích?*

Seznam příloh:

1. Prezentace k programu VŠUDE SAMÉ NANO
2. Vstupní dotazníky pro účastníky výukového programu
3. Závěrečné dotazníky pro účastníky výukového programu
4. Metodický list k výukovému programu – PRŮVODCE NANOSVĚTEM
5. Papírový průvodce k výukovému programu – PRŮVODCE NANOSVĚTEM