

Farebné zmeny a výučba chémie

DANICA MELICHERČIKOVÁ, RENATA BELLOVÁ, PETER TOMČÍK



Abstrakt: Reagovali sme na výzvu OSN, aby rok 2015 bol venovaný svetlu a technológiám založených na svetle. Zostavili sme 8 tém o farebných zmenách látok vyvolaných rôznymi faktormi (zdravotnými, štruktúrou, koncentráciou a vzájomnou reakciou látok, svetlom, teplom, indikátormi). Sledovali sme, aby obsahové zameranie tém podporilo chemické vzdelávanie. Za účelom zvýšenia aktivity žiakov na vzdelávaní sme navrhli témy realizovať prostredníctvom projektov. Zaujímalo nás, či je rozdiel v motivácii žiakov o danú tému, keď sú pri zadaní témy poskytnuté učiteľom informácie o zameraní projektu ústne alebo písomne. Návrhy tém sme inovatívne doplnili abstraktmi. V texte poskytujeme výsledky prieskumu, v ktorom sme zisťovali, či písomná forma abstraktov zvyšuje záujem o riešenie navrhnutých tém. Venujeme priestor aj vyjadreniam študentov učiteľstva chémie o vplyve obsahového zamerania tém a poskytnutia abstraktov na kvalitu všestranného rozvoja chemickej vzdelanosti, prírodovednej gramotnosti. V závere konštatujeme, že pri zadávaní tém riešených projektmi je potrebné predkladať obsahové zameranie (abstrakty) tém písomnou formou v záujme zvýšenia motivácie žiakov na cielené sledovanie poskytovaných informácií v jednotlivých projektoch.

Kľúčová slova: barevné zmeny, experimenty, výuka chémie.

MELICHERČIKOVÁ, D., BELLOVÁ, R., TOMČÍK, P. 2017. Farebné zmeny a výučba chémie. *Arnica* 7, 1–2, 1–10. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň. ISSN 1804-8366.

Rukopis došiel 22.1.2017; byl přijat po recenzii 9.12.2017.

Danica Melicherčíková, Renata Bellová, Peter Tomčík, Katedra chémie a fyziky, Pedagogická fakulta, Katolícka univerzita v Ružomberku, Hrabovská cesta 1, 034 01 Ružomberok, Slovenská republika; e-mail: danica.melichercikova@ku.sk, renata.belova@ku.sk, peter.tomcik@ku.sk

■ Úvod

Súčasný komunikačný prostriedok umožňuje rýchly, rozsiahly a celosvetový prenos informácií. To umožňuje porovnanie úrovne vzdelávania v čitateľskej, prírodovednej, matematickej, štatistickej a finančnej gramotnosti žiakov prostredníctvom projektu PISA. Výsledky posledného (2015) a predchádzajúcich cyklov projektov PISA upozorňujú na nedostatočné vzdelávanie v prírodovednej oblasti nielen v SR, ale aj ďalších krajinách OECD, ktoré nedosahujú ani priemernú úroveň zo zúčastnených 56 krajín sveta. Analýzy príčin daného stavu poukázali na potrebu väčšej zaangažovanosti žiakov pri vzdelávaní. Pozitívnu úlohu pri zvyšovaní prírodovednej gramotnosti zohráva aj projektová metóda. Príprava učiteľa na kvalitné realizovanie projektovej metódy je značne náročná z organizačnej, ako aj obsahovej stránky.

Doterajšie podnety na uplatňovanie projektov vo vzdelávaní sú charakterizované tým, že predkladajú tému, napr. Minerálne vody v mojom okolí (Ganajová *et al.* 2010), Pozor manipulácie (Tomková *et al.* 2009), či Drogy (Siváková *et al.* 2009), pričom predpokladajú rôznu úroveň spracovania podľa vekovej kategórie riešiteľov, dostupnosti informačných zdrojov a časovej dotácie riešenia. Neposkytujú však rôznorodosť podtém, resp. abstrakt k témam či podtémam. Ani neupresňujú rozsah multidisciplinárneho pohľadu na sledovaný problém, ako aj využitie získaných informácií, poznatkov v reálnom živote.

Vzhľadom na to, že medzinárodná organizácia OSN vyhlásila rok 2015 za „Rok svetla a technológií založených na svetle“, oblasťou projektového prírodovedného

vzdelávania sa nám javili zaujímavé farebné zmeny sprevádzajúce chemické a fyzikálne procesy. Prostredníctvom nich sme chceli podporiť prezentovanú informáciu, že život je súbor chemických a fyzikálnych procesov a farebné zmeny umožňujú pochopiť podstatu prírodných dejov.

■ Farebné zmeny v prírodných procesoch

Téma o farebných zmenách je veľmi aktuálna, pretože jednou z prirodzených vlastností človeka je aj farebné vnímanie blízkeho či vzdialeného sveta. Pozorujeme farebné zmeny prírody v jednotlivých ročných obdobiach. Jar je poznačená zelenou farbou rastúcej fluóry, jeseň sprevádza farebnosť opadajúceho lístia stromov a zima dostala prívlastok biela. Aj vlastnosti vesmírnych telies charakterizujeme vyjadrením ich sfarbenia, napr. čierna diera, biely trpaslík, červený obor.

Zmeny farieb nám v živote pomáhajú pri orientácii v prírode, v práci, pri stretnutiach s inými ľuďmi. Zmeny sfarbenia látok, okolitého prostredia sú vo väčšine prípadov sprevádzané emóciami, zážitkami. Zamračená obloha vyvoláva smútok, depresiu, kým jasná modrá obloha prežiarená slnečnými lúčmi podporuje aktivitu ľudí. Zmena sfarbenia kože na tvári človeka nám poskytuje informácie o jeho zdravotnom stave či citovom rozpolžení.

■ Fyzikálna a chemická podstata farebného vnímania

Videnie sa v školských podmienkach neprezentuje ako súbor chemických a fyzikálnych dejov. Uvádza sa iba, že

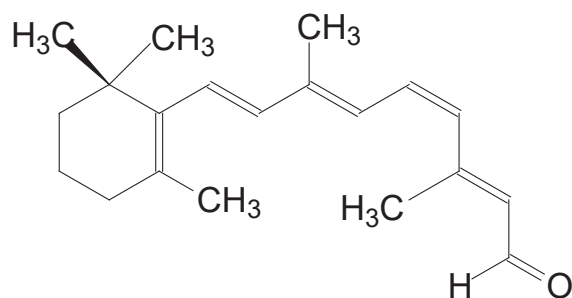
vitamín A, (resp. jeho provitamíny β -karotény) ovplyvňujú čiernobiele videnie.

Fyzikálnu podstatu a vlastnosti svetla, ako aj princíp ľudského videnia (svetlo sa odráža od predmetu a nie je vysielané z oka) popísal arabský učenec Alhazen (Abu Ali al-Hassan Ibn al-Haytham) (965–1040). Podstatou farebného videnia je vnímanie svetla, t.j. elektromagnetického vlnenia s vymedzenou vlnovou dĺžkou (380–780 nm). Podmienkou farebného vnímania je dostatočná intenzita viditeľného žiarenia. Čierne predmety absorbujú dopadajúce žiarenie a predmety vnímané ako sfarbené na bielo odrážajú dopadajúce žiarenie. Farebné predmety odrážajú žiarenie s vlnovými dĺžkami prislúchajúcimi farbe predmetu a ostatné zložky viditeľného žiarenia absorbujú. Viditeľné svetlo možno rozložiť na spektrum 7 základných farieb: fialovú (380–440 nm), indigomodrú (440–460 nm), modrú (460–490 nm), zelenú (490–575 nm), žltú (575–590 nm), oranžovú (590–620 nm) a červenú (620–780 nm).

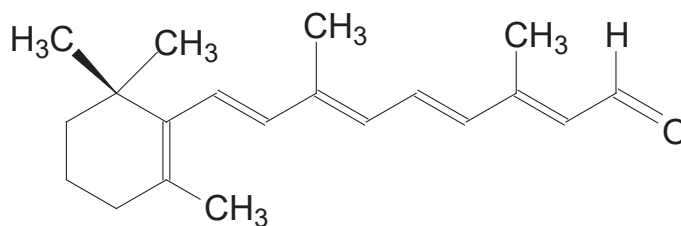
Na fotóny viditeľného svetla na sietnici oka reagujú svetlocitné bunky (tyčinky a čapíky). Na sietnici majú prevahu tyčinky (120–130 miliónov) zodpovedajúce za čiernobiele videnie. Ich priemer je 2 μm . Za farebné vnímanie zodpovedajú čapíky (4–7 miliónov) s priemerom 4 μm , ktoré vyžadujú vyššiu intenzitu žiarenia.

Fotóny po dopade na svetlocitné bunky vyvolávajú elektrické signály, ktoré sa šíria v nervových bunkách smerom do mozgu. Tento proces je chemickým procesom. Tyčinky obsahujú fotosenzitívny pigment rodospin, ktorého najvyššia citlivosť je pri $\lambda = 505$ nm (odtieň zelenej farby). Rodospin tvorí bielkovina opsín a signálna molekula retinal. Fotóny po dopade na rodospin vyvolávajú v priebehu niekoľkých milisekúnd konformačnú zmenu cis- izomeru retinalu (charakteristického pre tmu) na trans- izomér (charakteristického pre svetlo). Izomerizáciou retinalu vplyvom fotónov prebiehajúcej na dvojitej väzbe C-11 a C-12 sa vytvárajú podmienky pre ďalšie reakcie, ktoré nepriamo vyvolávajú elektrickú aktivitu, nervové signály (Del Valle et al. 2003).

Molekula opsínu sa odlúči od retinalu, čo má za následok, že medzi intenzitou svetla a obsahom rodospínu v sietnici oka je nepriama úmernosť. V ďalšom priebehu



Obr. 1. 11-cis-retinal



Obr. 2. a11-trans-retinal

sa časť retinalu regeneruje na rodospin a časť sa redukuje dehydrogenázou za prítomnosti NADH na a11-trans-retinol (vitamín A) a následnou oxidáciou na 11-cis-retinal, ktorý reaguje s opsínom na rodospin.

V čapíkoch sú 3 ďalšie pigmenty s absorpčnými maximami 440, 540 a 570 nm líšiace sa od rodospínu rýchlejšou kinetikou reakcií na svetle a rýchlejšou regeneráciou.

■ Návrhy tém na projekty a ich abstrakty

Reagovali sme na výzvu OSN prezentovať v roku 2015 informácie o svetle a technológiách založených na svetle aj v školských podmienkach, predovšetkým na vyučovacích hodinách chémie. Navrhli sme 8 tém z oblasti farebných zmien, ktoré sme rozdelili do dvoch kategórií:

■ 1. Význam farebných zmien v živote človeka

- a) farebné zmeny na koži
- b) farebné zmeny rúk

■ 2. Význam farebných zmien vo vede

- c) farebné zmeny látok spôsobené štruktúrou
- d) farebné zmeny látok spôsobené koncentráciou
- e) farebné zmeny látok spôsobené svetlom
- f) farebné zmeny spôsobené tepelným zdrojom
- g) farebné zmeny vyvolané indikátormi
- h) farebné zmeny pri vzájomnej reakcii látok

Pri voľbe tém sme prihliadali na to, aby projekty súviseli aj s mimoškolskou skúsenosťou žiakov, vychádzali zo zážitkov žiakov, aby neboli iba realitou predpísaného učiva.

■ Abstrakty k navrhovaným témam

■ a) Farebné zmeny na koži

Vonkajší vzhľad kože je odrazom nášho vnútorného stavu. Už sme poukázali na všeobecne známy fakt, že náhle sčervenanie tváre signalizuje zmeny vyvolané teplom, zvýšenou teplotou tela, stresom, šokom. Sčervenanie krku, tváre, trupu s ďalšími príznakmi sú aj pri problémoch s dýchaním, pri astme, tráviacich ťažkostiach. Tmavé sfarbenie očných viečok signalizuje poruchy pečene. Žlté sfarbenie pokožky môže spôsobiť nadmerná konzumácia mrkvy (β -karotén), ale môže signalizovať aj hepatitídu typu A, B a C v akútnom štádiu. V tomto prípade je sfarbenie spôsobené zvýšenou koncentráciou bilirubínu v krvi.

Sivé sfarbenie tváre sa objaví pri niektorých ochoreniach srdca, obličiek, či dlhšie trvajúcich onkologických ochoreniach.

Tmavé, hnedé sfarbenie, hyperpigmentácia osvetlených častí kože a slizníc, sa neobjavuje len v dôsledku pôsobenia UV žiarenia (opálením), ale je typické aj pre nadmerné vstrebávanie železa do krvi, prípadne pri Addisonovej chorobe, vyvolanej nedostatočnou činnosťou kôry nadobličiek (Kadlec *et al.* 1993).

Biela pokožka signalizuje určité štádium anémie. Krátkodobé zblednutie môžu spôsobiť bolesti brucha, nevoľnosti, ale aj závažnejšie stavy, ako je akútny infarkt myokardu, prípadne šok (nedostatočný prísun krvi cievny systémom).

b) Farebné zmeny rúk (dlane, nechtov)

Sčervenanie dlaní je klasickým znakom cirhózy pečene. Tmavočervené sfarbenie dlane môže byť spôsobené vysokým krvným tlakom alebo extrémne rozšírenými cievami (teplo, alkohol).

Čierne škvrny svedčia o akútnych otravách, najmä ťažkými kovmi (Pb, Hg). Biela dlaň sa prejaví pri nízkom krvnom tlaku a pri zúžení periférnych ciev. Záchvatová belosť prstov a rúk (nedokrvenosť) spôsobuje Raynaudova choroba, prejavujúca sa rýchlym zúžením periférnych ciev pôsobením chladu, polohami rúk (vzpaženie) a pod.

K zmene sfarbenia nechtov môže dôjsť z rôznych príčin vnútorných (zmeny funkčnosti vnútorných orgánov, užívanie liekov) či vplyvom vonkajšieho prostredia (napr. roztokom KMnO_4 , prenikanie pigmentov z nekvalitných lakov na nechty).

Malé biele bodky na nechtovej platničke, ktoré sa bežne nazývajú „kvitnutie nechtov“ a laicky sa spájajú s nedostatkom vitamínov a vápnika, sú spôsobené drobnými poraneniami počas rastu nechtov. Časti nechtov sfarbené do modra môžu byť príznakom cirhózy pečene, signalizujú problémy s pľúcami a so srdcom.

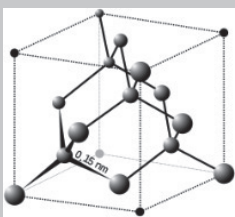
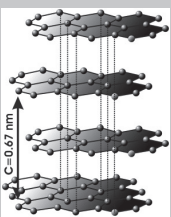
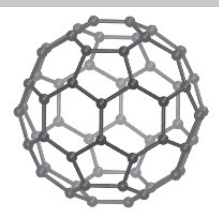
Zelenočierne až hnedočierne sfarbenie môže signalizovať prítomnosť plesní v nechte. Zhrubnuté, vypuklé, slabo rastúce nechty sfarbené do žltozelena signalizujú ochorenia pľúc a sú pozorované aj u HIV pozitívnych osôb. Hnedé škvrny alebo pásy, dlhodobo tmavnuce, ktoré nedorastajú spolu s nechtom, signalizujú výskyt kožného melanómu pod nechtom.

Farebné zmeny na nechtoch môže vyvolávať aj užívanie liekov. Tetracyklíny a 8-metoxipsoralén spôsobujú žlté až hnedé zafarbenie. Chemoterapeutiká sfarbia nechty na bielo, žltu, hnedo až čierne. Pozdĺžne pigmentové pásy môže spôsobiť azidotymidín.

c) Farebné zmeny spôsobené štruktúrou

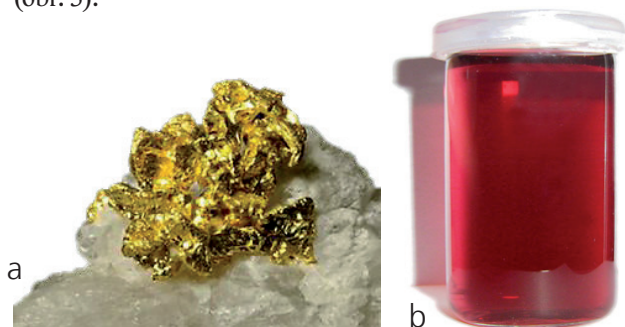
Atómy v molekulách pospájané väzbami sú v neustálom pohybe. Atómy kmitajú okolo svojich rovnovážnych polôh, môžu rotovať, vytáčať sa do strán a pod. Výsledný pohyb molekúl je zložitý, lebo je súčtom pohybov všetkých atómov tvoriacich molekulu. Významný je však poznatok, že molekula dokáže pohltiť elektromagnetické vlnenie s takou frekvenciou s akou sama kmitá. Vibračné spektrá spadajú do infračervenej oblasti, kde vlnová dĺžka žiarenia je väčšia ako vo viditeľnej oblasti žiarenia (nad 780 nm).

Ako príklad farebných zmien spôsobených štruktúrou, rôznym priestorovým rozmiestnením atómov sú látky grafit a diamant či fullerén. Diamantový kryštál prepúšťa svetlo, je priehľadný, má extrémne vysoký index lomu 2,5, kým štruktúra grafitu svetlo absorbuje a preto má tmavé sfarbenie. V diamante je atóm uhlíka viazaný rovnocennými väzbami s ďalšími 4 atómami uhlíka. V grafitu je jedna väzba energeticky odlišná, a rozloženie atómov uhlíka nie je v priestore rovnomerné ako v diamante. Celkom iné je usporiadanie atómov uhlíka vo fullerénoch, ktoré majú guľovitý tvar tvorený päť a šesť členými cyklami. Najmenší počet atómov uhlíka vo fulleréne je 20 a vždy obsahujú párny počet atómov.

Vlastnosť	Diamant	Grafit	Fullerén C_{60}
štruktúra			
sfarbenie	bezfarebný	šedočierny	hnedočierny
optické vlastnosti	priehľadný, index lomu 2,5	nepriehľadný, lesklý	
tvrdosť	veľmi tvrdý	mäkký	mäkký
štiepatelnosť	zlá	dobrá	dobrá
hustota ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	3,51	2,26	1,65
rozpusťnosť vo vode	nerozpusťný	nerozpusťný	nerozpusťný
elektrická vodivosť	nevodič	vodič	polovodič

Tab 1. Porovnanie niektorých vlastností modifikácií uhlíka

Ďalším príkladom odlišného sfarbenia danej látky môže poslúžiť zlato. Kúsky zlata majú žlté sfarbenie. Nanoštruktúrne zlato však zmení sfarbenie, už nie je žlté sfarbené, ale jeho farba závisí od hrúbky, napr. do červena (obr. 3).



Obr. 3. Sfarbenie kúsku zlata (a) a roztoku nanočastíc zlata (b)

S vplyvom štruktúry na sfarbenie látok sa stretávame aj pri molekulách, ktoré sú tvorené rôznymi atómami. Ako príklad možno uviesť už vyššie spomínaný retinol. Retinol a jeho deriváty izomerizujú na zmes produktov, kde prevládajú 13-cis- a 9-cis-stereoizomery. Tieto izoméry retinolu majú všeobecne slabšiu intenzitu sfarbenia ako a11-trans-izomery.

d) Farebné zmeny spôsobené zmenou koncentrácie

Zmeny sfarbenia spôsobené odlišnou koncentráciou sú v prírode časté a dobre pozorovateľné. Zvyšovanie koncentrácie chlorofylu (zeleného farbiva) v listoch rastlín v jarnom období a jeho úbytok v jesennom období sa opakuje každoročne. Zníženie koncentrácie zeleného farbiva umožňuje vyniknutiu ostatných farbív v liste, ktoré boli prekryté chlorofylom. Zelená farba chlorofylu je daná tým, že molekula absorbuje modrú ($\lambda = 430\text{--}460\text{ nm}$) a červenú časť ($\lambda = 640\text{--}700\text{ nm}$) svetelného spektra a v odrazennej časti sveta dominuje zelená farba ($\lambda = 490\text{--}575\text{ nm}$). S podobným javom sa stretávame aj u rias. Červené a hnedé riasy získali svoj názov podľa prevažujúcich farbív (vyššej koncentrácie), ktoré pokrývajú zelený chlorofyl. Aj v živočíšnej ríši sa stretávame s tým, že živočích prispôbuje sfarbenie tela okolitému prostrediu a to zmenou koncentrácie látky v koži. Touto vlastnosťou je známy chameleón. Látka, ktorá je u chameleóna zodpovedná za zmeny sfarbenia, je pigment melanín, vznikajúci pri metabolizme aminokyselín tyrosínu či tryptofanu. Pocit nebezpečenstva vyvoláva tvorbu melanínu. Z melanínu vzniká veľa farieb od žltej až po čiernu. Niektorí chameleóny sú schopní meniť sfarbenie až na modrú či bledo červenú. Rozkladom melanínu sa chameleónovi vráti jeho pôvodné zelené sfarbenie.

Intenzita sfarbenia roztoku danej látky závisí od jej koncentrácie. Čím je vyššia koncentrácia látky farebného

roztoku, tým je intenzívnejšie sfarbenie roztoku. Preto koncentráciu látky v zriedených farebných roztokoch možno stanoviť absorpčnou spektrofotometrickou metódou. Vzťah medzi absorpciou žiarenia, hrúbkou absorbujúceho prostredia (I) a koncentráciou absorbujúcich častíc (c) vyjadruje Lambertov-Beerov zákon. Lineárnou funkciou koncentrácie c je veličina nazývaná absorbanca A . $A = \epsilon c l$, pričom ϵ je mólový absorpčný koeficient charakteristický pre absorbujúcu látku a absorbované žiarenie.

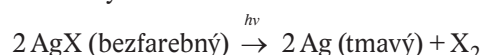
e) Farebné zmeny spôsobené svetlom

Interakciu elektromagnetického žiarenia s látkou nasávajú viaceré fyzikálne a chemické procesy. Žiarenie sa môže čiastočne absorbovať či odrážať, vyvolávať elektrónové prechody, polarizovať a pod.

Fotochromizmus je premena látky vyvolaná v jednom alebo oboch smeroch absorpciou elektromagnetického žiarenia medzi dvoma formami A a B, ktoré majú odlišné absorpčné spektrá, t.j. majú odlišnú farbu.



Fotochromizmus bol pozorovaný v mnohých organických aj anorganických systémoch v roztokoch aj v tuhej fáze. S praktickým využitím fotochromizmu sa stretávame v heliomatických sklách okuliarov, ktoré sú bezfarebné v tme aj v prítomnosti viditeľného svetla, tmavnú však vplyvom ultrafialového žiarenia. Z anorganických látok majú takúto vlastnosť bezfarebné strieborné zlúčeniny (AgCl ; AgBr), ktorých obsah v skle okuliarov je $\sim 10^{15}$ častíc v 1 cm^3 . Rozmery častíc sú v priemere μm a sú od seba vzdialené asi $6\text{ }\mu\text{m}$. Po absorbovaní ultrafialového žiarenia dochádza k rozkladu halogenidov striebra za vzniku tmavých častíc striebra.



Halogénové molekuly reagujú späť so striebrom. Bežné fotochromické sklá sa skladajú z viac ako 10 oxidov, pričom najvyššie zastúpenie (viac ako 65 %) je dané súčtom obsahov SiO_2 , B_2O_3 , Al_2O_3 . Sfarbenie skiel sa zabezpečuje zlúčeninami kovových prvkov, napr. modrozelená farba pridaním Cu(II) .

Najrozšírenejšie organické fotochromické systémy majú monomolekulové reakcie, pričom forma A býva bezfarebná alebo slabo žltá sfarbená a forma B je farebná.

Množstvo prechádzajúceho svetla sa reguluje stmavnutím skla, ktoré závisí od intenzity svetla. Zmeny intenzity svetla vyvolávajú vo fotochromických molekulách zmeny v chemických väzbách či v štruktúre, čo ovplyvní ich účinnosť absorbovať elektromagnetické žiarenie.

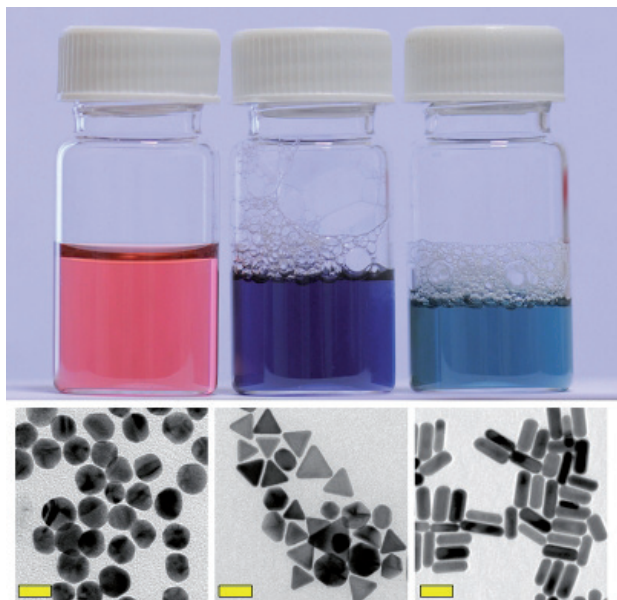
Zmeny sfarbenia materiálu z pohľadu smerovania svetla sú zaujímavé tzv. Lykurgove poháre, pochádzajúce zo 4. stor. Pri ich osvetlení z vonku sú zelené a pri osvetlení zvnútra sú červené. Analýza poukazuje na bežné

zložky zloženia skla (73 % SiO_2 ; 14 % Na_2O ; 7 % CaO). Uvedený farebný efekt spôsobujú monokryštály zliatiny zlata a striebra veľkosti asi 70 nm (v pomere 3 : 7). Je zaujímavé, že samotná technika výroby týchto skiel nie je dodnes objasnená.



Obr. 4. Lykurgove poháre (zo zbierok anglického múzea v Londýne). Podľa <https://www.prirodovedci.cz/storage/images/300x230/249.jpg>

Pozornosť ľudí pútajú aj vitrážové okná v mnohých európskych chrámoch nielen svojimi výjavmi z dejín kresťanstva, ale aj svojím sfarbením. Pri reakcii slnečného žiarenia s nanočasticami zlata a striebra sa získavajú rôzne sfarbenia v závislosti od veľkosti a tvaru nanočastíc.



Obr. 5. Sfarbenie zlata v závislosti od tvaru nanočastíc. (Roztoky obsahujú 0,05 mg zlata/ml) Podľa <http://www.tecnicall.cz/clanek/img/2012-01-zlato/01.jpg>

Pri interakcii svetla s látkou môžu valenčné elektróny od fotónov získať energiu, čím sa látka dostane do excitovaného stavu. Množstvo vymenenej energie medzi

fotónom a časticou je kvantované. Pri návrate z excitovaného stavu do energeticky nižších stavov možno pozorovať emisné žiarenie, ktoré spadá do oblasti infračerveného (IČ), viditeľného (VIS), ultrafialového (UV), resp. röntgenového (RTG) žiarenia. Ak častica z excitovaného stavu prejde do základného stavu, hovoríme o fotoluminiscencii. Emitované žiarenie v oblasti viditeľného spektra spôsobené zmenami elektrónového stavu nazývame luminiscencia. Pojem luminiscencia zaviedol v r. 1888 nemecký fyzik E. Wiedermann (1852–1928). Luminiscencia sa delí na:

i) fluorescenciu (krátkodobú, $< 10^{-8}$ s) – nedochádza k zmene spinovej multiplicity, emitované elektromagnetické žiarenie má vlnovú dĺžku λ porovnateľnú s absorbovaným žiarením. Látky s týmito vlastnosťami sa nazývajú fluorofory. Fluorescenciu možno pozorovať v plynoch a kvapalinách a niektorých nerastoch (fluorit CaF_2 , kalcit CaCO_3). Ultrafialové žiarenie vyvoláva intenzívnu fluorescenciu CaF_2 . Fluorofora sa využívajú na štúdium buniek a tkanív (imunohistochemia). Ich žiarenie sa pozoruje pomocou fluorescenčného mikroskopu. Tieto vlastnosti využívajú aj reflexné prvky používané v cestnej doprave, na pracovných oblekoch a pod.

ii) fosforescenciu – dochádza k zmene spinového stavu zvyčajne jedného elektrónu, vlnová dĺžka emitovaného žiarenia je dlhšia ako absorbovaného žiarenia. Doba trvania excitovaného stavu je často relatívne dlhá (zvyčajne 10^{-2} s až niekoľko dní), pretože prebieha cez spinovo zakázané prechody (prechod zo singletového stavu do tripletového stavu). Intenzita emitovaného žiarenia je veľmi malá. Na tomto princípe je založená analytická metóda. Vzorka musí byť rozpustná v organickom rozpúšťadle, ktoré je pri tejto teplote v sklovitom stave a je priesvitné. Dôležitá je energia, resp. vlnová dĺžka λ budiaceho žiarenia. Názov bol odvodený od fosforu, ktorý vo vlhkom vzduchu podlieha chemiluminiscenčnej oxidácii, emituje žiarenie zelenej farby.

S luminiscenciou sa stretávame aj pri komplexných zlúčeninách d prvkov. Po prvýkrát bola pozorovaná pri komplexných zlúčeninách chrómu s oxidačným číslom +III. Ako príklad možno uviesť komplex $[\text{Cr}(\text{CO}(\text{NH}_2)_2)_6]^{3+}$ pri ktorom možno v emisnom spektre pozorovať fluorescenciu a fosforescenciu. Rozdiel energie medzi absorpciou a emisiou žiarenia, prejavujúci sa zmenou vlnovej dĺžky žiarenia, sa využil pri fotochemickej reakcii. Červené sfarbenie rubínových kryštálov používaných v laseroch je spôsobené tým, že rubín tvorený oxidom hlinitým Al_2O_3 obsahuje aj malé množstvo chromitých iónov Cr^{3+} .

f) Farebné zmeny spôsobené tepelným zdrojom

Najstaršie pozorovania zmeny sfarbenia látky teplotou možno datovať do obdobia začiatku spracovania železa. Farba železa sa zahrievaním mení zo sivej cez červenú až po bielu. Kovári podľa sfarbenie vedia kedy možno železo opracovávať, kuť, tvarovať.

V polovici 17. stor. objavil Johan Glauber (1604–1670), že soli niektorých kovov farbía nesvietivú časť plynového kahana. Od tých čias sa farebné plameňové skúšky využívajú v kvalitatívnej analýze. Atómy kovu prijímajú v plameni infračervené žiarenie, pri následnom uvoľňovaní získanej energie sa pozorujeme žiarenie o určitej vlnovej dĺžke z viditeľnej oblasti, čo spôsobuje zmenu sfarbenia plameňa. Pozorovaním sfarbeného plameňa pomocou spektroskopu sa získali čiarové spektrá niektorých chemických prvkov, čo bol základ zrodu spektrálnej analýzy. Spektrálna analýza pomohla objaviť nové prvky: rubídium (1861), indium (1804), cézium (1860) a gálium (1895).

Absorbovanie tepla (infračerveného žiarenia) látkou sa prejaví zvýšením jej vnútornej energie, čo spôsobí zvýšenie jej teploty. Zvýšenie teploty pri niektorých látkach môže dosiahnuť teplotu fázovej premeny. Pri fázovom prechode z tuhého do kvapalného skupenstva možno pozorovať aj farebné zmeny. Prejavuje sa to predovšetkým pri organických zlúčeninách.

Pri topení kryštalických látok sa prechod medzi tuhým a kvapalným stavom sleduje nielen vizuálne, ale aj zmenami rôznych vlastností. Látky v tuhom skupenstve s kryštalickou štruktúrou sa vyznačujú **anizotropiou**. Anizotropné prostredie je charakteristické tým, že v rôznych smeroch má rôzne vlastnosti. Častice v kvapalnom stave nie sú usporiadané ako častice v kryštálovej mriežke, ale sú rovnako zastúpené v celom objeme kvapaliny. Z uvedeného dôvodu majú kvapaliny v rôznych smeroch rovnaké vlastnosti, vyznačujú sa **izotropiou**. Hranica medzi anizotropným a izotropným stavom by sa mohla považovať za rozhranie medzi tuhým a kvapalným skupenstvom, keby neexistovali určité výnimky. Pri štúdiu stavových zmien boli pozorované kvapaliny, ktoré v blízkosti teploty tuhnutia vykazovali anizotropný charakter. Látka z pohľadu viskozity je kvapalinou, ale zároveň sa vyznačuje určitou usporiadanosťou základných častíc látky (molekúl). Takýmto látkam hovoríme **kvapalné kryštály**, resp. **kryštalické kvapaliny**. Tento popísaný stav sa nazýva **mezomorfia**. Mezomorfný stav vysvetľuje zoskupovaním molekúl do vrstiev alebo zhlukov („rojov“). Predpokladom vzniku kvapalných kryštálov je predovšetkým tyčinkovitý tvar molekúl a prítomnosť skupín v molekulách s príťažlivým pôsobením.

Kvapalné kryštály sa využívajú aj v displejoch, ktoré môžu byť reflexné alebo transmisívne.

Reflexné displeje sa využívajú v kalkulačkách. Polari-zované svetlo tekutými kryštálmi prejde za displej, kde sa

odrazí naspäť. Po zapnutí kalkulačky a stlačení tlačítka s číslou, vzniknuté elektrické pole zmení polohu niekoľkých molekúl (určených stlačeným číslom) a týmito miestami svetlo neprechádza a tak môžeme vnímať čierny obraz čísla.

Transmisívny displej nevyužíva odrazené svetlo a preto treba obrazovku podsvietiť zdrojom svetla. Princíp stáčania molekúl elektrickým poľom je rovnaký ako pri reflexných displejoch. Výhodou týchto displejov je ich malá hrúbka, čo sa uplatňuje pri LCD displejoch.

Farebné zmeny vyvolané teplom môžu byť založené aj na rozklade látky spôsobenej teplom. Napríklad teplom sa sacharidy menia na karamel, ktorý má hnedé sfarbenie. Na tomto princípe sú založené niektoré tajné písma. Ak sladkou šťavou z ovocia napíšeme text na papier, po vyschnutí na ňom nevidno zmeny. Po zahriatí sa však objaví trvale hnedé sfarbenie textu. Ďalším tajným atramentom môže byť roztok chloridu kobaltnatého, ktorý v bezvodom stave poskytuje modré sfarbenie. Modrý text napísaný CoCl_2 po určitom čase zmizne v dôsledku získania vlhkosti z prostredia. Po ďalšom zahrievaní sa však text znovu objaví.

g) Farebné zmeny vyvolané indikátormi

Farebné zmeny činidiel, indikátorov pH prostredia v roztokoch patria nesporne medzi najznámejšie, s ktorými sa stretávame nielen v školskom prostredí pri výučbe chémie, biológie či ekológie, ale často sú využívané aj v praxi, napr. v odohospodármi, ochrancami prírody a s veľkou obľubou ich využívajú aj kúzelníci.

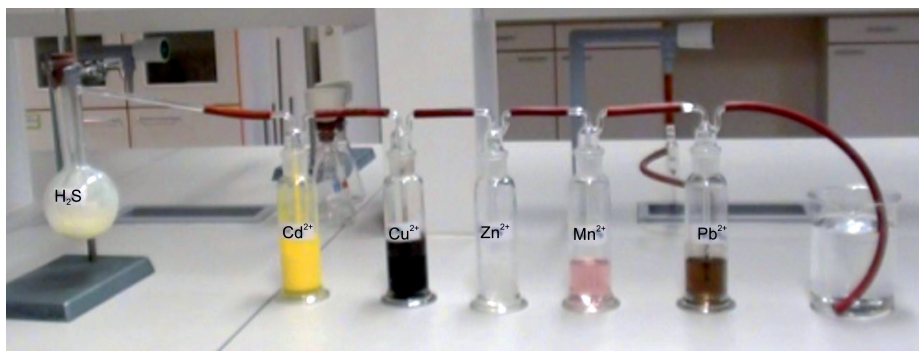
Acidobázické indikátory sú organické farbivá, zvyčajne slabé Brønstedove kyseliny alebo zásady, ktoré v závislosti od pH prostredia menia svoje sfarbenie. Farebne odlišné formy indikátora predstavujú jeho neionizovanú a ionizovanú formu v protolytickej reakcii, kde rozpúšťadlom je voda. Farebný prechod pri rôznych acidobázických indikátoroch nie je vždy pri $\text{pH} = 7,0$. V školskom prostredí sa využíva najčastejšie univerzálny indikátorový papierik, ktorý farebne rozlíši takmer celú škálu pH vodných roztokov ($\text{pH} 0\text{--}12$). Okrem toho sa využíva roztok fenolftaleínu s farebným prechodom $\text{pH} 8,0\text{--}9,8$. Bezfarebný kyslý roztok sa v zásaditom prostredí sfarbí do červena. Známy je aj lakmus, s farebným prechodom $\text{pH} 5,0\text{--}8,0$ a zmena farby je z červenej na modrú.

Ako indikátor možno v prípade tajného písma využiť koreninu kurkumu. Ak napíšeme text zásaditým vodným roztokom, napr. roztokom sódy bikarbóny NaHCO_3 , text nebude viditeľný, pretože jedlá sóda je bezfarebná. Ak papier potrieme roztokom kurkumu, biely papier zožltne, kým zásaditý povrch písmen zhnedne. Farbivo kurkumín v zásaditom prostredí hnedne, takže funguje ako indikátor.

Okrem acidobázických indikátorov sa v praxi využívajú aj indikátory fluorescenčné, absorpčné, komplexotvorné či oxidačno-redukčné, luminiscenčné.

h) Farebné zmeny pri vzájomnej reakcii látok

Farebné zmeny prebiehajúce pri reakciách látok sú často veľmi známe a využívajú sa v analytickej chémii. Napríklad pri skupinovej analýze sulfánom sa dá identifikovať prítomnosť niektorých kationov kovov. Sulfán s Cd^{2+} iónmi tvorí nerozpustný žltý sfarbený CdS , s Cu^{2+} iónmi čierno sfarbený CuS , s Mn^{2+} iónmi ružovo sfarbený MnS , so Zn^{2+} iónmi biely ZnS a s Pb^{2+} iónmi čierny PbS . Analýza kovov sulfánom sa realizujú v prostredí s rôznou hodnotou pH. Aby mohli byť farebné zmeny rôznych kovov pozorované v jednom pokuse, museli sme na stanovenie Mn^{2+} zabezpečiť alkalické prostredie, stanovenie Zn^{2+} si vyžiadalo neutrálne prostredie. Prostredie sme ovplyvnili pridaním $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.



Obr. 6. Analýza niektorých kationov kovov (ióny v premývačkách: Cd^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+}) sulfánom.

Farebné zmeny sa využívajú aj v daktyloskopii na zviditeľňovanie odtlačkov prstov pri určovaní páchatelov zločinov. Tvar rýh a hrán na prstoch človeka sa nemení počas života. Zmenu môže vyvolať len závažné poškodenie zárodočnej vrstvy kože. V daktyloskopii sa využívajú rôzne činidlá (roztoky), ktoré reagujú s výlučkami kožných žliaz zanechaných na neviditeľných odtlačkoch prstov. Činidlá reagujú s aminokyselinami alebo lipidmi prítomnými vo vzorke odtlačkov prstov. Zloženia aminokyselín v ľudskom tele závisia od jednotlivca, jeho zdravia, pohlavia, veku. Farebné zmeny, zmeny v spektrálnych charakteristikách sú v dôsledku kovalentných a nekovalentných interakcií medzi molekulami látok v odtlačku a detekčným činidlom (Friesen 2015). Na nekovalentných interakciách sa podieľajú vodíkové väzby, najmä pre ich smerové vlastnosti, špecifitu a relatívne vysokú stabilitu.

Jedným z činidiel je ninhydrín (Indán-1,2,3-trión), ktorý s aminokyselinami poskytuje fialové sfarbenie odtlačkov prstov. Ninhydrín sa v daktyloskopii začal používať v roku 1954 (Hansen & Joullié 2005). V súčasnosti sa používajú aj analógy ninhydrínu, ktoré majú lepšie vizualizačné schopnosti a neustále sa hľadajú nové detekčné činidlá, ktoré by sa vyznačovali výrazným a trvalým sfarbením odtlačkov s jednoduchou aplikovateľnosťou.

Na zviditeľňovanie odtlačkov prstov sa okrem chemických metód používajú aj fyzikálne metódy, pri ktorých sa

využíva koloidné striebro, zabezpečujúce čierne sfarbenie rýh odtlačku prstov. Nevýhodou tejto metódy je zlá reprodukovateľnosť. Na zlepšenie metódy sa využívajú viaceré kovy. Využívajú sa aj nanotechnológie. Najprv dochádza k zviditeľneniu pomocou zlatých nanočastíc a následne zintenzívnenie odtlačku pomocou striebra (Schnetz & Margot 2001).

V medicínskej praxi sa stretávame pri rýchlych, orientačných, semikvantitatívnych stanoveniach významných zložiek telových tekutín (najmä moču a krvi) s indikátorovými pásikmi obsahujúcimi určité činidlo. Činidlo selektívne reaguje so sledovanou látkou (glukózou, bielkovinami, bilirubínom, dusitanmi, ketolátkami a pod.) zmenou sfarbenia.

Intenzita sfarbenia závisí od koncentrácie sledovanej látky v telovej tekutine (v moči). Vyhodnotenie je prevažne vizuálne (za pomoci štandardnej farebnej škály) a kolorimetrické.

Metóda na stanovenie bielkovín sa zakladá na zmene sfarbenia tetrabromfenolovej modrej v závislosti od pH moču. Pri pH moču 3,5 je žlté sfarbenie, pri vyšších hodnotách pozorujeme zelené až modré sfarbenie.

Metóda na stanovenie obsahu glukózy sa zakladá na reakcii glukózo oxidázy s glukózou na kyselinu glukónovú, pričom uvoľnený peroxid vodíka H_2O_2 s peroxidázou oxiduje nefarebnú formu o-toluidínu na jeho zelenú oxidovanú formu.

Metódy výskumu, výsledky a diskusia

Z príležitostných diskusií s učiteľmi chémie základných a stredných škôl o uplatňovaní a význame projektovej metódy na zvyšovanie chemickej gramotnosti vyplynulo, že iba stručne slovné špecifikujú obsah témy a len výnimočne poskytnú žiakom literárne zdroje sledovaných informácií. Zaujímalo nás, či poskytnutie stručných písomných informácií o zameraní projektu (abstraktov) bude mať výraznejší motivačný charakter na zvýšenie ich záujmu o danú tému. Či abstrakt majú mať všetci žiaci v triede alebo len tí, ktorí budú na projekte pracovať. Či dané podtémy majú spracovať tí istí žiaci alebo každú podtému iná skupina žiakov. Uvedený zoznam tém podporujúci chemické vzdelávanie prostredníctvom projektov realizovaných žiakmi na stredných školách sme predložili študentom bakalárskeho a magisterského štúdia učiteľstva chémie. Respondentov (53) sme požiadali, aby označili tri témy podľa ich záujmu číslami 1–3 a zdôvodnili svoj výber.

Naším cieľom bolo poukázať na možnosť ako aplikovať projekty, ktoré navrhujú učители a žiaci v spolupráci. Zároveň sme chceli zistiť, ktorá oblasť je pre nich

najzaujímavejšia a či ich voľba tém vychádza z osobného alebo profesionálneho záujmu o rozšírenie informácií, prehĺbenie chemických vedomostí. Na získanie informácií sme využili dotazník a riadený rozhovor.

Keďže respondenti boli budúci učitelia chémie, predpokladali sme, že ich záujem sa sústreďí na informácie o farebných zmenách pri vzájomnej reakcii (h), resp. o farebných zmenách spôsobených štruktúrou látok (c). Informácie získané z uvedených projektov by mohli prispieť k porozumeniu priebehu chemických dejov, čo klasická výučba v mnohých prípadoch nedosiahne na uspokojujúcej úrovni. Keďže chemické vzdelávanie v súčasnosti kladie dôraz aj na poskytovanie informácií uplatniteľných v praxi, predpokladali sme, že témy (a) a (b) nebudú pri výbere chýbať.

Téma	Umiestnenie výberu %		
	1	2	3
a	84,6	7,7	
b		53,8	
c			15,4
d	7,7	15,4	15,4
e		15,4	7,7
f			30,8
g			15,4
h	7,7	7,7	23,0

Tab. 2. Frekvencia výberu tém respondentmi podľa názvu

Z tabuľky 2. jednoznačne vyplýva a slovné zdôvodnenia respondentov to potvrdzujú, že najzaujímavejšie sú témy poskytujúce informácie využiteľné v živote jednotlivca, poukazujúce na zdravotný stav ľudského organizmu. Bez povšimnutia nezostali ani témy zamerané na farebné zmeny spôsobené tepelným zdrojom (f) a vzájomnou reakciou látok (h). Zamyslenie vyvolávajú výsledky poukazujúce, že najmenej atraktívne sú informácie o farebných zmenách spôsobených štruktúrou látok (c), ako aj indikátormi (g). Z odôvodnení výberu sa v prvom prípade nedalo zistiť či ide o osobný alebo profesionálny záujem.

V druhom prípade (g) predpokladáme, že respondenti uvažovali o nízkom

prínose nových informácií. Tejto problematike je venovaná dostatočná pozornosť na hodinách chémie na všetkých úrovniach.

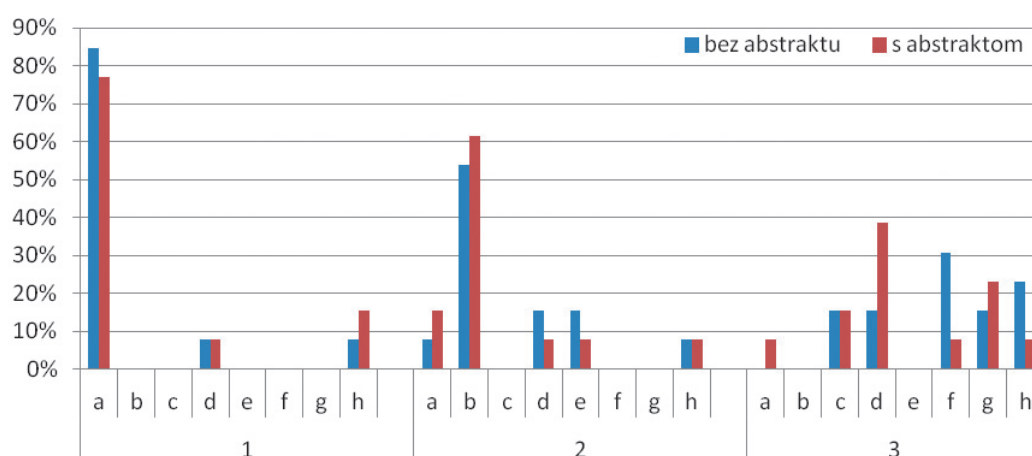
V druhej časti výskumu sme respondentom predložili abstrakty k jednotlivým témam a opätovne sme ich požiadali o výber najzaujímavejších tém na problémové spracovanie v chemickom vzdelávaní.

Najzaujímavejšími témami aj po preštudovaní abstraktov boli z oblasti farebných zmien pozorovateľných v živote človeka. Významný pokles záujmu sa prejavil pri farebných zmenách vyvolaných teplom, ale aj svetlom. Pri riadenom rozhovore sme dospeli k poznaniu, že táto oblasť bola pre mnohých respondentov obtiažna z dôvodu absencie určitých vedomostí z oblasti fyziky a fyzikálnej chémie. Abstraktom

Téma	Umiestnenie výberu %		
	1	2	3
a	76,9	15,4	7,7
b		61,5	
c			15,4
d	7,7	7,7	38,5
e		7,7	
f			7,7
g			23,0
h	15,4	7,7	7,7

Tab. 3. Frekvencia výberu tém po predložení abstraktov

sa nezmenil záujem o farebné zmeny spôsobené štruktúrou látok (c). Z vyjadrení respondentov sme nepostrehli príčinu uvedeného stavu. Zamýšľali sme sa nad tým, či je dôvodom nezájmu o danú tému jej obtiažnosť z pohľadu respondentov alebo málo pútavý abstrakt, resp. názov témy. Abstrakty zvýšili záujem o farebné zmeny vyvolané indikátormi (g) a spôsobené vzájomnou reakciou (h) (graf 1).



Graf 1. Porovnanie výberu najzaujímavejších tém podľa názvu a po preštudovaní abstraktu (1. až 3. umiestnenie)

Záver

Súbor tém, ktoré sme zostavili na rozvoj chemického vzdelávania svojím obsahom spadajú do výzvy OSN, pre rok 2015, ktorý mal byť venovaný svetlu a technológiám založeným na svetle. Informácie, poznatky, vedomosti získané spracovaním projektov o farebných zmenách vplyvom rôznych faktorov majú uplatnenie nielen v školskom vzdelávaní, ale aj v praktickom živote každého jednotlivca. Respondenti v písomných zdôvodneniach svojho výberu najzaujímavejších tém, ako aj pri rozhovore pozitívne hodnotili možnosť získať prostredníctvom poskytnutého abstraktu prehľad čo môže byť obsahom danej témy. Prejavili spokojnosť, že získali ucelenejší prehľad o farebných zmenách, uvedomili si rôznorodosť faktorov ktoré ich ovplyvňujú. Konštatovali, že hoci každý realizoval inú projektovú tému, abstrakty zvýšili ich motiváciu záujmu aj o iné témy. Uvedená motivácia podnietila sústredenosť na obsah pri prezentácii projektu, čo viedlo ku zvýšenej úrovni poznania, vedomostí.

Písomná forma abstraktu k projektovým témam pred ústnou formou prezentácie má tú výhodu, že je možné ju znovu preštudovať v rôznom čase a to nielen riešiteľmi projektu, ale aj ostatnými členmi kolektívu, spolužiakmi. Predkladané abstrakty nemali rovnaký rozsah. Záujem o tému nekorešpondoval s obšírnosťou abstraktu, ale pozornosť sa sústredila na poskytované informácie, ich prepojenie na nové vedecké poznatky. Pri voľbe najzaujímavejších tém na projektové spracovanie rozhodujúcim faktorom bol individuálny záujem o určitý druh informácií uplatniteľných v životných či školských podmienkach.

Záverom nášho výskumu možno konštatovať, že poskytnutie širšej plejády tém na daný problém doplnený abstraktmi, má vo vzdelávacom procese hutnejší význam ako poskytnutie iba názvov tém. Nami realizované riešenie projektov (téma + abstrakt) svojím objavovaním, analyzovaním, náhľadom do širšej palety problémov pozitívne ovplyvňuje prírodovednú gramotnosť, ktorú je žiaduce intenzívne zvyšovať nielen z dôvodu medzinárodného porovnávania, ale predovšetkým preto, aby pri riešení problémových životných situácií bolo zohľadnených čo najviac ovplyvňujúcich faktorov. Také rozhodnutia budú chrániť život a rovnováhu v prírode, čo je cieľom prírodovedného, resp. chemického vzdelávania, prírodovednej gramotnosti.

Poděkovanie

Príspevok vznikol s podporou projektu KEGA č. 006KU-4/2017.

Literatúra

- DEL VALLE, L. J., RAMON, E., BOSCH, L., MANYOSA, J. & GARRIGA, P. 2003. Specific isomerization of rhodospin-bound 11-cis-retinal to 11-trans-retinal under thermal denaturation. *Cellular and Molecular Life Sciences* 60(11): 2532–2537.
- KADLEC, O. *et al.* 1993. *Encyklopédia medicíny*. 1 diel. Asklepios, Bratislava. 411 pp.
- FRIESEN, J. B. 2015. Fluorescent polyelectrolyte for the visualization of fingerprints. *Journal of Chemical Education* 92(3): 497–504.
- GANAJOVÁ, M., KALAFUTOVÁ, J., MÜLLEROVÁ, V. & SIVÁKOVÁ, M. 2010. *Projektové vyučovanie v chémii*. ŠPÚ, Bratislava. 144 pp.
- HANSEN, D.B. & JOULLIÉ, M.M. 2005. The development of novel ninhydrin analogues. *Chemical Society Reviews* 34: 408–417.
- SCHNETZ, B. & MARGOT, P. 2001. Technical note: latent fingerprints, colloidal gold and multimetall deposition (MMD): Optimisation of the method. *Forensic Science International* 118: 21–28.
- SIVÁKOVÁ, M., KMEŤOVÁ, J. & VICENOVÁ, H. 2009. Štátny vzdelávací program chémie, *príloha ISCED 2*. ŠPÚ, Bratislava. 4 pp.
- TOMKOVÁ, A., KAŠOVÁ, J. & DVOŘÁKOVÁ, M. 2009. *Učíme v projektech*. Portál, Praha. 176 pp.

E English summary

Colour changes and chemical education

Continuously decreasing level of scientific literacy of 15-year-old students in Slovak Republic and in some OECD countries, according to international PISA testing, needs some changes in the education process. A principal change is required to involve students more in education and shift from passive to active education. This strategy is in agreement with our method proposed in this paper.

Topics of the students' projects usually represent additional topics, which extend curriculum. They often include some new or unknown information for those, who solve the projects but also for their teachers. There is also lack of instructions to solve the project.

The main theme of our projects is the light. This theme is consistent with UN call for year 2015 to focus it to the light and light based technologies. We have developed 8 themes based on colour changes induced by different influences (health, structure, concentration and reactions, light, heat, indicators). We have focused on curriculum of this themes to support chemical education, chemical

literacy and allowed global view to colour changes in a life and in the nature.

We focused in our research on attractiveness of topic title to respondents. They should choose three themes by their interest. In next stage they were provided with abstracts for each theme. We were interested if respondents change their attitude after they receive abstracts. In both cases the main interest was focused on the themes about colour changes in a human life (at hands, skin). More significant changes were observed in themes connected to colour changes in science (caused by structure, concentration, light, heat source or mutual reaction). The respondents stated that abstracts increased their interest in chosen themes. We detected also the increase of attention during the presentations of all projects, which leads to better scientific literacy. The main result of our research is that it is useful to provide also the theme abstracts (best as printed) for student projects, which should increase the chemical or even science literacy. The abstracts are then always available for investigator as well as for other students.

Keywords: colour changes, experiments, chemistry teaching.