

ZLOŽENIE BIELKOVÍN A ICH SPRÁVANIE VPLYVOM IÓNOV ŤAŽKÝCH KOVOV A ZVÝŠENEJ TEPLoty

EVA ŽATKULÁKOVÁ

ABSTRAKT

Práca podáva návrh ako možno na gymnáziách pri vyučovaní tém z predmetov Chémia 3. ročník – Biológie v živých organizmoch, resp. Biológia 2.ročník – Molekulové základy genetiky implementovať výskumne ladenú koncepciu vyučovania – objavné vyučovanie. Pracovný list: „Z čoho sa skladajú bielkoviny a ako sa správajú vplyvom iónov ťažkých kovov a zvýšenej teploty“ v úvode definuje ciele úloh. Princíp ozrejmjuje teoretickú podstatu, na ktorej sa úlohy zakladajú. Zoznam pomôcok a chemikálií sumarizuje požiadavky na vybavenie. Problém, riešený žiakmi, je formulovaný v podobe výskumnej otázky. Riešenie dáva žiakom priestor na samostatnú prácu a overovanie teoretických predpokladov pri riešení dôkazových reakcií aminokyselín, peptidovej väzby a vplyvu vonkajších faktorov na bielkoviny. V závere je vzorové vypracovanie pracovného listu.

ÚVOD

Chémia, ako prírodná veda, sa nevyhnutne spája s experimentom. O čo je jej vyučovanie na stredných školách náročnejšie na materiálne zabezpečenie (matematike „stačí“ papier a pero, fyzike experiment v jednoduchom fyzikálnom laboratóriu, no chémia potrebuje mať vybavené chemické laboratórium, ktoré zabezpečí bezpečnú prácu žiakov s chemikáliami a je šetrené k životnému prostrediu), o to viac ponúka možnosti vyučovať chémiu objavne.

Podobne ako malé dieťa, ktoré keď je každý deň konfrontované s novými zážitkami a skúsenosťami, kladie otázky a čaká na ne odpovede, vykonávanie experimentu vo vyučovaní chémie má v žiakoch vyvolať potrebu klásť otázky a nachádzať na ne odpoveď. Úlohou učiteľa v objavnom vyučovaní má byť najprv teoreticky pripraviť žiakov na schopnosť základnej orientácie v probléme a potom, v rámci možnosti súčasnej školy, pripraviť experimenty, v ktorých sú žiaci postavení pred otvorené problémy, v ktorých musia sami hľadať súvislosti a nachádzať riešenia.

AKO VIEŠ ŽIAKOV K OBJAVOVANIU, TÉMA: Z ČOHO SA SKLADAJÚ BIELKOVINY A AKO SA SPRÁVAJÚ VPLYVOM IÓNOV ŤAŽKÝCH KOVOV A ZVÝŠENEJ TEPLoty

Práca poukazuje na momentálnu situáciu, aká pretrváva vo vyučovaní prírodovedných predmetov na Slovensku, ktorej charakteristickým znakom je pokles záujmu žiakov o ich štúdium. Zároveň prezentuje jedno z možných riešení, ktorým je implementácia výskumne ladenej koncepcie do vyučovania – objavné vyučovanie. Cieľom je, aby žiaci vnímali vyučovanie prírodovedných predmetov vo výskumnom kontexte. Úloha učiteľa spočíva predovšetkým v kvalitnom výbere problému na riešenie a v primeranom usmerňovaní žiakov pri jeho identifikácii. Pri výbere výskumného problému sa prihliada na to, aby pri jeho riešení mohli žiaci využívať svoje predchádzajúce vedomosti a skúsenosti, aby mohli rozvíjať svoje spôsobilosti a prepojiť ich s nadobúdanými novými zručnosťami (Held, 2011).

Vyučovanie zamerané na dosiahnutie tohto cieľa realizujeme na predmete Seminár z chémie pre 3.ročník na Gymnázium Angely Merici v Trnave. Žiaci tretieho ročníka, ktorí si seminár vybrali s ohľadom na svoju budúcu profesijnú orientáciu, sú už vhodnou cieľovou skupinou pre aplikáciu takéhoto typu úloh. Sú vybavení dostatočnými teoretickými vedomosťami i praktickými zručnosťami. V priebehu riešenia úloh svoje poznatky zdokonaľujú, ujasňujú si svoje predstavy, overujú predpoklady. Dôležitú úlohu v tomto smere zohráva písomný záznam. Využíva sa forma pracovného listu.

Pracovné listy môžu mať rôzne podoby a rôzne ciele použitia. Navrhnutý pracovný list je zameraný na prezentáciu postupu žiaka pri realizácii demonštrácie javu, situácie s pozorovaním. Zároveň má uľahčiť žiakovi osvojiť si povinné položky výskumného protokolu. Inštruuje žiaka v tom, čo má byť obsahom jednotlivých položiek. Častým používaním tohto typu pracovného listu si žiak osvojí obsah výskumného protokolu, pričom samo vypracovávanie ho aj vedie vo výskumnom procese (Held, 2011). V úvode pracovného listu sú definované ciele úloh. Zaradenie do vyučovania informuje učiteľa, v ktorej tematickej časti je vhodné pracovný list v rámci vyučovania využiť. Princíp ozrejmúje teoretickú podstatu, na ktorej sa úlohy zakladajú. Zoznam pomôcok a chemikálií uľahčí vyučujúcemu technickú prípravu na vyučovanie. Potom nasleduje problém formulovaný v podobe výskumnej otázky, ktorá má u žiakov vzbudiť záujem a zvedavosť. Úlohy sú postavené tak, aby dávali žiakom priestor na samostatnú prácu i overovanie teoretických predpokladov. Keďže sa jedná o dôkazové reakcie aminokyselín, dôkaz peptidovej väzby a vplyv vonkajších faktorov na bielkoviny, žiaci postupujú podľa učiteľom navrhnutých krokov. Za úlohami nasledujú pozorovania a závery v podobe otázok, ktoré nadväzujú na problematiku rozoberanú v jednotlivých úlohách a slúžia na sumarizovanie zistených poznatkov. Vzorové vypracovanie pracovného listu je najmä pre začínajúceho učiteľa vhodnou navigáciou na riešenie.

TEORETICKÝ ÚVOD

Peptidy a bielkoviny (proteíny) sú polyméry aminokyselín, v ktorých sú jednotlivé aminokyseliny, označované ako aminokyselinové zvyšky, navzájom spojené peptidovými (amidovými) väzbami. Aminoskupina jednej aminokyseliny je amidovo viazaná na karboxylovú skupinu druhej

aminokyseliny, aminoskupina druhej je viazaná na karboxylovú skupinu tretej aminokyseliny atď. (John McMurry, 2004).

Základom štruktúry bielkovín je polypeptidový reťazec, ktorý je tvorený zvyškami aminokyselín. Striedaním α -uhlíka a peptidových väzieb v polypeptidovom reťazci vzniká tzv. „polypeptidová kostra“, na ktorú sú viazané bočné reťazce aminokyselinových zvyškov (Kmeťová, 2011). Podľa konvencie sa peptidy píše N-koncovou aminokyselinou vždy vľavo (to je tá, ktorá má voľnú $-NH_2$ skupinu) a C-koncovou aminokyselinou vpravo (má voľnú $-COOH$ skupinu) (John McMurry, 2004).

Na syntézu bielkovín je nevyhnutných 20 α -aminokyselín, ale ľudský organizmus dokáže syntetizovať len 10 z nich. Zvyšných 10 aminokyselín musí získať z potravy – tie sa označujú ako esenciálne aminokyseliny. Nedostatočný prísun týchto esenciálnych aminokyselín vedie až k príznakom podvýživy.

Z hľadiska vlastností bielkoviny je dôležité nielen to, aké aminokyselinové zvyšky polypeptidový reťazec obsahuje, ale aj poradie týchto aminokyselín v reťazci – tým je daná primárna štruktúra bielkoviny, ktorá podmieňuje aj ostatné typy štruktúr a biologickú funkciu proteínu.

Sekundárna štruktúra bielkovín udáva usporiadanie polypeptidovej kostry v priestore. Najbežnejšie formy sekundárnej štruktúry bielkovín sú pravotočivá závitnica - α -helix a štruktúra tzv. skladaného listu (β -štruktúra). Stabilizácia oboch štruktúr v priestore je zabezpečená vodíkovými väzbami.

Terciárna štruktúra bielkovín vyjadruje vzájomné usporiadanie všetkých atómov molekuly v priestore. Dáva molekule definitívny priestorový tvar, ktorý môže byť fibrilárny (vláknitý) alebo globulárny (tvar klobka). Pri vzniku terciárnej štruktúry sa uplatňujú rôzne typy nekovalentných interakcií (vodíkové väzby, iónové väzby, hydrofóbne interakcie) a kovalentné väzby (disulfidové).

Niektoré bielkoviny sú tvorené viacerými polypeptidovými reťazcami – podjednotkami. Vzájomný priestorový vzťah medzi nimi vyjadruje kvartérna štruktúra.

Len v určitom priestore usporiadaní môže bielkovina vykonávať svoju biologickú funkciu v organizme – natívna štruktúra bielkoviny. Natívne usporiadanie bielkoviny (jej sekundárna a terciárna štruktúra) sa môže vplyvom vonkajších podmienok meniť. Keď sa poruší pôvodné priestorové usporiadanie bielkoviny vplyvom tepla, zmenou pH (účinkom silných kyselín a zásad), pôsobením ťažkých kovov a podobne, hovoríme o denaturácii. Denaturácia má veľký praktický význam napríklad pri uchovávaní a spracovávaní potravín. Varom denaturované bielkoviny sú ľahšie stráviteľné, pričom ich výživová hodnota ostáva zachovaná (Kmeťová, 2011).

Zaradenie do vyučovania v štátnom vzdelávacom programe ISCED 3A

Predmet

Chémia 3.ročník
Biológia 2.ročník

Téma

Biolátky v živých organizmoch
Molekulové základy genetiky

Pomôcky

Na realizáciu úloh bude postačujúce základné vybavenie chemického laboratória. Budeme potrebovať sadu skúmaviek, kahan, stojan s príslušenstvom, sieťku, teplomer, vodný kúpeľ, filtračný papier, indikátorové pH papieriky.

Chemikálie

Pre vykonanie experimentu budeme potrebovať nasledovné chemikálie:

- vodný roztok vaječného bielka (bielok zmiešať s destilovanou vodou v pomere 1 : 10, po rozmiešaní prefiltrovať cez filtračný papier),
- kyselina dusičná, W=45 %,
- vodný roztok amoniaku, W=10 %,
- vodný roztok hydroxidu sodného, W=10 %,
- alkoholický roztok 1-naftolu, W=1 %,
- bromnan sodný (brómová voda + roztok NaOH),
- kyselina octová, W=40 %,
- kyselina sírová, W=40 %,
- vodný roztok octanu olovnatého, W=0,5 %
- vodný roztok síranu meďnatého, W=1 %
- vodný roztok dusičnanu strieborného, W=3 %
- močovina, kryštalická

Realizácia experimentu

Chemické zloženie a štruktúra bielkovín

Problém 1

Riešenie problému 1 má viesť k odpovediam na otázky:

- Čo je bielkovina?
- Z čoho sa skladá?
- Dajú sa jej základné stavebné (jednotky) zložky nejakým spôsobom dokázať?
- Dá sa nejakým spôsobom dokázať charakteristická väzba v bielkovine?

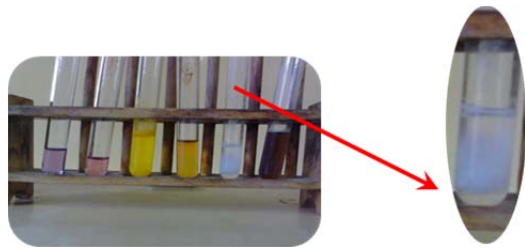
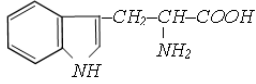
Úloha 1

Odpovedaj na otázky

Zadanie	Vzorové vypracovanie
Charakterizuj proteinogénne aminokyseliny z hľadiska polohy aminoskupiny, konfigurácie a z hľadiska významu pre výživu človeka.	<ul style="list-style-type: none"> ○ sú to α-aminokyseliny (ich aminoskupina je naviazaná vždy v polohe a t.j. na atóme uhlíka č.2), ○ všetky sú chirálne (okrem Gly), s chirálnym centrom na α-uhlíku, pričom majú L-konfiguráciu, ○ z hľadiska významu pre výživu človeka: <ul style="list-style-type: none"> - esenciálne - organizmus si ich nedokáže syntetizovať, preto ich musí prijímať v potrave - neesenciálne - organizmus si ich dokáže syntetizovať z iných látok

Zadanie	Vzorové vypracovanie
3. Charakterizuj aminokyselinu Arg z hľadiska polarity, acidobázických vlastností a významu pre výživu človeka.	Arg patrí medzi polárne, zásadité (viac amino ako karboxylových skupín) a esenciálne aminokyseliny, hoci ľudský organizmus ho dokáže syntetizovať. Jeho prevažná časť je spotrebovaná v metabolickej dráhe, ktorá je súčasťou rozkladu aminokyselín, preto musí byť v dostatočnom množstve prítomný v potrave.

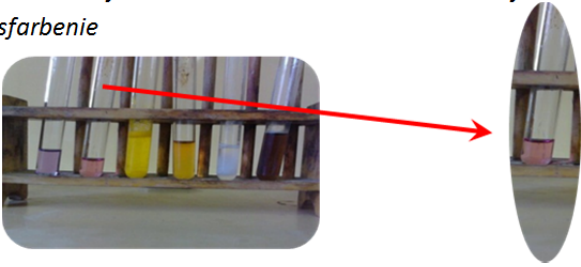
b)

Zadanie	Vzorové vypracovanie
1. Popíš pozorovanie pri dôkaze Trp	Po podvrstvení 40 % roztokom kyseliny sírovej sa na rozhraní kvapalín utvoril biely prstenec, ktorý je dôkazom prítomnosti aminokyseliny tryptofán. 
2. Uved' vzorec Trp	
3. Charakterizuj aminokyselinu Trp z hľadiska polarity, acidobázických vlastností a významu pre výživu človeka.	Trp patrí medzi nepolárne, neutrálne (jedna aminoskupina a jedna karboxylová skupina) a esenciálne aminokyseliny.

c)

Zadanie	Vzorové vypracovanie
1. Popíš pozorovanie a doplň rovnice reakcií, prebiehajúcich pri dôkaze aminokyselín obsahujúcich síru. $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb} + \text{NaOH} \rightarrow \dots \downarrow + \dots$ $\dots \downarrow + \text{NaOH} \rightarrow \dots$ $\text{Pb}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \dots \downarrow$	$(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Pb}(\text{OH})_2 \text{ biela} \downarrow + 2\text{CH}_3\text{COONa}$ $\text{Pb}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2[\text{Pb}(\text{OH})_4]$ $\text{Pb}^{2+} + \text{S}^{2-} \rightarrow \text{PbS} \text{ čierna} \downarrow$ <p>V prvom kroku, po prídavku roztoku hydroxidu sodného do roztoku octanu olovnatého, sme pozorovali vznik bielej zrazeniny hydroxidu olovnatého, ktorá sa v nadbytku hydroxidu sodného rozpustila za vzniku tetrahydroxo-olovnatanu disodného. Po pridaní vodného roztoku vajcového bielka a zahriatí sa katióny Pb^{2+} vyžrážali aniónmi S^{2-} za vzniku čiernej zrazeniny sulfidu olovnatého, ktorá je dôkazom aminokyselín obsahujúcich síru (Met, Cys).</p>

b)

Zadanie	Vzorové vypracovanie
1. Napiš rovnicu reakcie prebiehajúcej pri zahrievaní močoviny, pomenuj vzniknutý produkt a unikajúci plyn.	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}_2 \\ \text{močovina} \end{array} + \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{N}-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}_2 \\ \\ \text{H} \\ \text{amoniak} \end{array} \xrightarrow{-\text{NH}_3} \begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}_2 \\ \text{biuret} \end{array}$
2. Popíš pozorovanie biuretovej reakcie so zahrievanou močovinou.	<p><i>Keďže biuret obsahuje tiež peptidovú väzbu, reaguje v alkalickom prostredí s medou rovnako ako vodný roztok vajcového bielka. Vzniká ružové až fialové sfarbenie</i></p> 

Problém 2


Riešenie problému má viesť k odpovediam na otázky:

- Ako vplýva na bielkoviny vo vodnom roztoku vajcového bielka zvýšená teplota, silne kyslé prípadne zásadité prostredie, ióny ťažkých kovov?
- Aké zmeny v ňom vyvolávajú?
- Dajú sa tieto zmeny pozorovať aj voľným okom?

Úloha 1

Xantoproteínovou reakciou dokáž vplyv silne kyslého a zásaditého prostredia na bielkovinu. V skúmavke zohrievaj 2 cm³ roztoku vajcového bielka s 1 cm³ 45 % koncentrovanej kyseliny dusičnej. Pozoruj. Do reakčnej zmesi opatrne pridaj asi 2 cm³ 10 % roztoku amoniaku – reakcia musí byť alkalická, skontroluj pH papierikom. Ako sa zmení sfarbenie reakčnej zmesi?

Pozorovanie 1

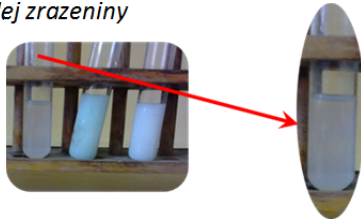

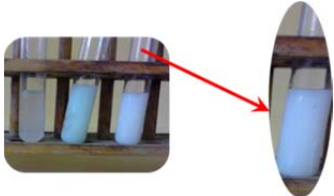
Zadanie	Vzorové vypracovanie
1. Čo si pozoroval po pridaní silnej kyseliny dusičnej do roztoku vajcového bielka?	<p><i>Po pridaní 45 % silnej kyseliny dusičnej do vodného roztoku vajcového bielka a zahriatí som pozoroval vznik bledožltej zrazeniny.</i></p> 
2. Ako sa zmenilo sfarbenie reakčnej zmesi pri zvýšení pH?	<p><i>Bledožltá zrazenina sa zmenila na tmavožltú až oranžovú.</i></p>

Zadanie	Vzorové vypracovanie
3. Akú štruktúru majú aminokyseliny, ktoré sa na tejto reakcii zúčastňujú?	Aminokyseliny majú aromatické jadro (tyrosín, tryptofán, fenylalanín), ktoré sa pôsobením kyseliny dusičnej nitruje za vzniku žltých zlúčenín.

Úloha 2

Do troch skúmaviek daj po 2 cm³ roztoku vajcového bielka. Do prvej skúmavky pridávaj po kvapkách 0,5 cm³ 0,5 % roztok octanu olovnatého, do druhej skúmavky pridávaj po kvapkách 0,5 cm³ 1 % roztok síranu meďnatého a do tretej skúmavky pridávaj po kvapkách asi 0,5 cm³ 3 % roztoku dusičnanu strieborného. Pozoruj.

Pozorovanie 2


Zadanie	Vzorové vypracovanie
1. Skúmavka: roztok octanu olovnatý + roztok vajcového bielka	Vznik bielej zrazeniny 
2. Skúmavka: roztok síranu meďnatého + roztok vajcového bielka	Vznik bledomodrej zrazeniny. 
3. Skúmavka: roztok dusičnanu strieborného + roztok vajcového bielka	Vznik bielej zrazeniny. 

Úloha 3

Skúmavku s 3 cm³ roztoku vajcového bielka a s vloženým teplomerom zahrievaj vo vodnom kúpeli a pozoruj pri akej teplote sa roztok zakalí

Pozorovanie 3

Zadanie	Vzorové vypracovanie
1. Pri akej teplote sa roztok vajcového bielka zakalil?	Vodný roztok vaječného bielka sa začal zakalovať pri teplote 62 °C. Pri ďalšom zvyšovaní teploty bola zrazenina hustejšia.

Zadanie	Vzorové vypracovanie
	

Záver z pozorovaní pri riešení úloh 2. problému

Zadanie	Vzorové vypracovanie
1. Ako sa nazýva pozorovaný jav v 1., 2. a 3. úlohe?	Denaturácia.
2. Vysvetli podstatu tohto javu.	Podstata denaturácie je porušenie slabých interakcií, ktoré udržiavali pôvodnú priestorovú štruktúru molekuly, pričom primárna štruktúra ostáva zachovaná. Polypeptidový reťazec bielkoviny sa čiastočne rozvinie a bielkovina tým stráca svoju biologickú aktivitu.
3. Čím je daná primárna, sekundárna a terciárna štruktúra bielkovín?	Primárna štruktúra je daná poradím aminokyselín v polypeptidovom reťazci. Sekundárna štruktúra znamená geometrické usporiadanie polypeptidového reťazca, ktorý môže mať formu skladaného listu alebo pravotočivej závitnice (α -helix). Terciárna štruktúra dáva molekule bielkoviny definitívny priestorový tvar, ktorý môže byť fibrilárny (vláknitý) alebo globulárny (tvar klobka).
4. Znázorni väzby, ktoré podmieňujú terciárnu štruktúru bielkovín.	<p>nekovalentné (slabé) interakcie</p> <p>vodíkové väzby</p> $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{N} \\ \\ \text{H} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{C} \\ \diagdown \end{array}$ <p>hydrofóbne interakcie (van der Waalsove sily)</p> $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{CH} \\ \\ \text{CH} \\ \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH} \\ \\ \text{CH} \\ \diagdown \end{array}$ <p>iónové väzby</p> $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{CH} \\ \\ \text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \\ \\ \text{CH} \\ \diagdown \end{array}$ <p>kovalentná väzba: disulfidová väzba</p> $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{CH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{S} \\ \\ \text{S} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH} \\ \diagdown \end{array}$

ZÁVER

Našou snahou bolo ukázať žiakom, že chémia nie je len o poučkách, ktoré si vyžadujú vysokú úroveň abstrakcie, ale vie byť aj zaujímavá a pochopiteľná, čo sme chceli dosiahnuť aplikáciou úloh založených na výskumne ladenej koncepcii prírodovedného vzdelávania do vyučovania chémie.

Na vyskúšanie tejto výskumne ladenej koncepcie v procese objavného vyučovania v tematickom celku bielkoviny sme vybrali jednoduché experimenty. Experimenty boli vedené tak, že najprv sa

zadefinoval širší problém. Problém bol rozpracovaný do úloh, na ktoré žiaci odpovedali buď vyplnením otázok pracovného listu podľa teoretických vedomostí alebo zrealizovaním experimentov, v ktorých boli vedení k overeniu získaných znalostí o správaní sa aminokyselín a bielkovín. Na základe deduktívneho myslenia a zovšeobecnenia formulovali vlastné pozorovania z experimentov a vyvodili závery.

Celkovo môžeme zhodnotiť, že žiakom je tento spôsob zdokonaľovania a prehľbovania svojich vedomostí, ujasňovania si svojich predstáv, rozvíjania svojich praktických zručností veľmi blízky. Oceňujú možnosť podieľať sa na vyučovaní formou experimentov, a tak budovať svoje poznatky prostredníctvom vlastnej aktívnej práce. V procese ako viesť žiakov k objavovaniu, ako podporovať žiakov v tom, aby hľadali odpovede na svoje otázky má tvorba výskumného protokolu – pracovného listu svoj špecifický význam. Vedie žiaka k tomu, aby si zapisoval informácie z jednotlivých krokov skúmania, dokumentoval ich s využitím modernej techniky a neustále ho udržiava v riešení daného problému. Napomáha mu lepšie si zapamätať osvojované učivo a môže ho využiť ako podklad napríklad pre maturitnú skúšku z chémie.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

Čársky, J. a kol. 1992. *Chémia pre 3.ročník gymnázia*. Bratislava: Slovenské pedagogické nakladateľstvo., 1992. 242 strán, ISBN 80-08-01412-1

Ganajová, M. 2003. *Ďalšie vzdelávanie učiteľov chémie s využitím dištančnej vzdelávacej technológie*. Dostupné na internete: <http://kekule.science.upjs.sk/chemia/distanc/24.html>, citované dňa 31. 5. 2013

Held, Ľ. a kol. 2011. *Výskumne ladená koncepcia prírodovedného vzdelávania*. Bratislava: Typi Universitatis Tyrnaviensis, Vedy, 2011. 138 strán. ISBN 978-80-8082-486-0

Kmeťová, J. a kol. 2011. *Chémia pre 3. ročník gymnázia so štvorročným štúdiom a 7. ročník gymnázia s osemročným štúdiom*. Martin: Vydavateľstvo Matice slovenskej, 2011. 120 strán, ISBN 978-80-8115-042-5.

McMurry, J. 2007. *Organická chemie*. Brno: Vysoké učení technické v Brne, 2007. 1176 strán. ISBN 978-80-2143291-8.

Siváková, M. a kol. 2002 Štátny vzdelávací program Chémia, Vzdelávacia oblasť: Človek a príroda, Príloha ISCED 3A. Dostupné na internete: http://www.statpedu.sk/files/documents/svp/gymnazia/vzdelavacie_oblasti/chemia_isced3a.pdf, citované dňa 27. 6. 2013

ADRESA AUTORA

Ing. Eva Žatkuláková
Gymnázium Angely Merici
Hviezdoslavova 10
917 01 Trnava
zatkulakova@gamtt.sk