

GEOMETRICKÁ POSTUPNOST V CHÉMII

KLEPANCOVÁ Michaela, CZ

Resumé

V příspěvku uvádíme několik příkladů využití geometrické postupnosti v chemii. Našou snahou bylo najít takých ukázků využití poznatků o tomto pojmu středoškolské matematiky, které vedou k nájdeniu výsledkov či odvodeniu vzťahov s priamym využitím v chémii.

Klíčové slova: geometrická postupnost, aplikácia, chémia.

GEOMETRIC SEQUENCE IN CHEMISTRY

Abstract

The contribution states multiple examples of geometric sequence in chemistry. The main focus was finding of such samples of utilization of knowledge about the concept of secondary school mathematics that will lead to the finding of results or relations with immediate application in chemistry.

Key words: geometric sequence, application, chemistry.

Úvod

Jednou z možností ako môže učiteľ napomôcť k vytváraniu pozitívneho vzťahu študentov k tak abstraktnému predmetu, akým matematika nepochybne je, je aj poukázanie na jej „užitočnosť“ v každodennom živote či praxi. V příspěvku uvádíme několik příkladů využití geometrické postupnosti v chemii. Hoci v středoškolských učebniciach matematiky môžeme nájsť niekoľko ukázků aplikácií poznatků o geometrických postupnostiach v prírodných vedách, technike či ekonomike, no často sú v nich uvažované výrazne zjednodušené situácie, väčšinou bez reálneho využitia v praxi. Našou snahou bolo nájsť takých ukázků využití poznatků o geometrické postupnosti v chemii, z ktorých je zrejmé, že aj na základe úvah, využívajúcich tento pojem středoškolské matematiky, je možné dospieť k výsledkom či vzťahom s priamym využitím v chémii.

1 Geometrická postupnosť a extrakcia

Extrakcia je separačná metóda, pri ktorej sa z kvapalnej alebo tuhej zmesi oddeľuje požadovaná zložka rozpúšťaním v rozpúšťadle, tzv. extrahovadle, ktoré sa s ostatnými zložkami pôvodnej zmesi nemieša. Použitím vhodného rozpúšťadla je extrakciou možné oddeliť jednu látku z tuhej zmesi rôznych látok (macerácia, digestia), zo suspenzie alebo roztoku (vytrepávanie).

Pri extrakcii z kvapalnej zmesi (tzv. vytrepávaní) pri styku východiskovej suroviny (zmesi oddeľovanej látky a pôvodného rozpúšťadla) s extrahovadlom prechádza extrahovaná látka cez fázové rozhranie, ktoré je vytvorené v dôsledku nemiešateľnosti pôvodného rozpúšťadla a extrahovadla. Produktom sú opäť dve nemiešateľné fázy, a to fáza obsahujúca extrahovanú zložku rozpustenú v extrahovadle (tzv. extrakt) a fáza obsahujúca pôvodné rozpúšťadlo a zvyšok extrahovanej zložky (tzv. rafinát). V rafináte zostane rozpustený vždy určitý zvyšok extrahovanej látky, pretože pri jej prechode z pôvodného roztoku do extrahovadla sa ustáľuje rovnováha medzi oboma roztokmi, pričom distribúcia rozpúšťanej látky medzi dve kvapalné fázy sa riadi Nernstovým rozdeľovacím zákonom a pomer koncentrácií v oboch roztokoch je daný rozdeľovacím koeficientom K_D , pre ktorý platí

$$K_D = \frac{c_E}{c_R},$$

kde c_E je koncentrácia oddeľovanej látky v extrakte a c_R je koncentrácia oddeľovanej látky v rafináte. Nernstov rozdeľovací koeficient K_D je pri danej teplote konštantný pre danú látku a nezávisí od počiatočnej koncentrácie extrahovanej látky. (Táto skutočnosť je dôsledkom zákonov, platiacich pre termodynamickú rovnováhu oboch fáz a tento záver je možné odvodiť pomocou chemických potenciálov.) Zo vzťahu pre Nernstov rozdeľovací koeficient je zrejmé, že je potrebné voliť také extrakčné činidlo, v ktorom je rozpustnosť oddeľovanej látky vyššia ako v pôvodnom rozpúšťadle (t.j. extrakčné činidlo s vysokou hodnotou rozdeľovacieho koeficientu).

Najjednoduchšie sa vytrepávanie realizuje tak, že zmes pôvodného roztoku a extrahovadla sa dôkladne premieša, následne sa prečerpá do usadzovacej nádoby, kde sa rozdelí na základe rôznej hustoty na dve vrstvy – extrakt a rafinát, ktoré sa oddelia v deliacom lieviku. Na dosiahnutie vyššej účinnosti je vhodné uskutočňovať vytrepávanie opakovane (tzv. viacstupňové vytrepávanie), pri ktorom sa objem extrahovadla rozdelí na niekoľko dávok s rovnakým objemom V_E .

O vyššej účinnosti viacstupňovej extrakcie sa môžeme presvedčiť jednoduchou úvahou, pri ktorej odvodíme vzťah na výpočet hmotnosti zvyšku oddeľovanej látky, ktorá zostala v pôvodnom rozpúšťadle po jednom, dvoch až n vytrepávaniach.

Nech pôvodné rozpúšťadlo s objemom V_R obsahuje n_0 molov látky s mólovou hmotnosťou M a pri každom stupni extrakcie máme k dispozícii objem V_E extrahovadla.

Po prvom zmiešaní pôvodného rozpúšťadla s objemom V_R , obsahujúcim n_0 molov extrahovanej látky s extrahovadlom s objemom V_E sa látkové množstvo n_0 rozdelí medzi tieto dve kvapalné fázy (t.j. $n_0 = n_{R1} + n_{E1}$) tak, že pomer koncentrácií uvažovanej látky v oboch roztokoch zodpovedá príslušnému rozdeľovaciemu koeficientu $K_D = \frac{c_{E1}}{c_{R1}}$, kde c_{E1} je koncentrácia oddeľovanej látky v extrakte a c_{R1} je koncentrácia oddeľovanej látky v rafináte.

Na základe uvedeného, využijúc vzťah pre výpočet koncentrácie c t.j. $c = \frac{n}{V}$, kde n je látkové množstvo a V objem dostávame

$$K_D = \frac{c_{E1}}{c_{R1}} = \frac{\frac{n_{E1}}{V_E}}{\frac{n_{R1}}{V_R}} = \frac{\frac{n_0 - n_{R1}}{V_E}}{\frac{n_{R1}}{V_R}} = \frac{V_R(n_0 - n_{R1})}{n_{R1}V_E},$$

odkiaľ je zrejmé, že pre látkové množstvo n_{R1} látky, zostávajúcej v pôvodnom rozpúšťadle platí

$$n_{R1} = n_0 \cdot \frac{V_R}{V_R + K_D V_E}.$$

Z predchádzajúcej rovnosti použitím vzťahu $m = M \cdot n$, kde m je hmotnosť, M je mólová hmotnosť a n látkové množstvo pre hmotnosť zvyšku látky, ktorá zostala nevyextrahovaná z pôvodného rozpúšťadla dostávame

$$m_{R1} = m_0 \cdot \frac{V_R}{V_R + K_D V_E}.$$

Po opakovaní extrakcie s novou dávkou extrahovadla s objemom V_E na základe analogickej úvahy pre hmotnosť nevyextrahovanej látky z pôvodného rozpúšťadla dostávame

$$K_D = \frac{c_{E2}}{c_{R2}} = \frac{\frac{n_{E2}}{V_E}}{\frac{n_{R2}}{V_R}} = \frac{\frac{n_{R1} - n_{R2}}{V_E}}{\frac{n_{R2}}{V_R}} = \frac{V_R(n_{R1} - n_{R2})}{n_{R2}V_E},$$

odkiaľ

$$n_{R2} = n_{R1} \cdot \frac{V_R}{V_R + K_D V_E} = n_0 \cdot \left(\frac{V_R}{V_R + K_D V_E} \right)^2,$$

resp. využitím vzťahu $m = M \cdot n$

$$m_{R2} = m_0 \cdot \left(\frac{V_R}{V_R + K_D V_E} \right)^2.$$

Matematickou indukciou je možné dokázať, že opakovaním n -násobnej extrakcie pre hmotnosť zostatku extrahovanej látky v pôvodnom rozpúšťadle (v rafináte) platí

$$m_{Rn} = m_0 \cdot \left(\frac{V_R}{V_R + K_D V_E} \right)^n, n \in N.$$

Na základe predchádzajúceho je teda zrejmé, že hmotnosti zvyškov nevyextrahovanej látky z pôvodného rozpúšťadla po jednotlivých stupňoch extrakcie sú členmi geometrickej postupnosti $\{aq^n\}_{n=1}^{\infty}$, kde $a = m_0$, $q = \frac{V_R}{V_R + K_D V_E}$.

2 Geometrická postupnosť a dekantácia

Zrážanie je fyzikálnochemický proces, predstavujúci dôležitú operáciu v analytickom laboratóriu. Pri tomto procese sa z roztoku pôsobením zrážacieho skúmadla – zrážadla, vylúči stanovovaná zložka vo forme málo rozpustnej zlúčeniny – zrazeniny. Zrážadlom môže byť kvapalina, plyn alebo tuhá látka. Podmienky zrážania (koncentráciu reagujúcich látok, pH, teplotu, spôsob zrážania a pod.) volíme tak, aby sme (okrem iného) získali zrazeninu v dobre filtrovateľnej forme a aby jej znečistenie bolo minimálne. Zrazenina sa z roztoku oddeľuje filtráciou. V závislosti od vlastností a veľkosti častíc zrazeniny dochádza pri vyzrážaní k charakteristickému znečisteniu zrazeniny. Znečistenie zrazeniny je pri zrážaní bežným javom. Napríklad amorfné a jemne kryštalické zrazeniny majú pomerne veľký povrch, na ktorý sa ľahko adsorbujú znečisťujúce látky z roztoku. Proces filtrácie takýchto zrazenín býva preto sprevádzaný dekantáciou a premývaním zrazeniny. Zrazenina sa nechá usadiť a potom sa číry roztok opatrne zvrchu zleje cez filtračný papier. K zrazenine sa pridá malé množstvo premývacej kvapaliny a po premiešaní sa zrazenina opäť nechá usadiť. Opakovanie tohto postupu sa nazýva dekantácia. Úlohou dekantácie a premývania je odstránenie cudzích iónov a zvyškov rozpustených nečistôt zo zrazeniny. Premývacia kvapalina sa vyberá podľa charakteru a rozpustnosti zrazeniny, dôležité je, aby sa v nej rozpúšťali iba nečistoty a vôbec alebo minimálne samotná zrazenina. Najčastejšie používanou premývacou kvapalinou je destilovaná voda, ktorá ľahko rozpúšťa väčšinu solí strhnutých do zrazeniny. Nevýhodou použitia destilovanej vody je, že zvyčajne rozpúšťa aj samotnú zrazeninu. Preto pri premývaní použijeme iba nevyhnutné množstvo premývacieho roztoku a priebeh premývania sledujeme reakciou citlivou na dôkaz odstraňovaného iónu ([3],[4]).

Predpokladajme, že získanú zrazeninu sme od materského roztoku oddelili filtráciou a dekantáciou chceme odstrániť aj nečistoty z materského roztoku, ktoré sa zachytili na povrchu zrazeniny. Ďalej predpokladajme, že látkové množstvo nečistôt n , absorbovaných na povrchu zrazeniny je úmerné ich koncentrácii c v materskom roztoku, t.j.

$$c = kn,$$

kde k je konštanta úmernosti.

Nech V je objem premývacej kvapaliny, ktorý máme k dispozícii pri každom stupni dekantácie a n_0 označuje látkové množstvo nečistôt, pôvodne zachytených na povrchu zrazeniny. Za účelom odstránenia nečistôt prilejme k zrazenine destilovanú vodu s objemom V , nechajme zrazeninu usadiť a vzniknutý roztok opatrne odlejme cez filtračný papier.

Ak $n_0 - n_1$ je látkové množstvo, ktoré prešlo z povrchu zrazeniny do roztoku (ktorého koncentrácia je teda $\frac{n_0 - n_1}{V}$), na základe uvedeného pre látkové množstvo nečistôt, zostávajúce na povrchu zrazeniny platí

$$kn_1 = \frac{n_0 - n_1}{V}.$$

Po opatrnom odliatí roztoku a opätovnom priliatí premývacej kvapaliny s objemom V , pre látkové množstvo zvyšných nečistôt platí

$$kn_2 = \frac{n_1 - n_2}{V}.$$

Vyjadrením n_1 z prvej z uvedených rovností a dosadením do rovnosti $kn_2 = \frac{n_1 - n_2}{V}$ pre látkové množstvo n_2 dostávame

$$n_2 = n_0 \left(\frac{1}{kV+1} \right)^2.$$

Matematickou indukciou je možné ukázať, že po n opakovaniach predchádzajúceho postupu pre látkové množstvo nečistôt, zachytených na povrchu zrazeniny platí

$$n_n = n_0 \left(\frac{1}{kV+1} \right)^n.$$

Z predchádzajúcej úvahy vyplýva, že aj látkové množstvá nečistôt, zostávajúcich na povrchu zrazeniny po jednotlivých stupňoch dekantácie sú členmi geometrickej postupnosti $\{aq^n\}_{n=1}^{\infty}$, kde $a = n_0$, $q = \frac{1}{kV+1}$.

3 Geometrická postupnosť a difúzia

Difúziou nazývame proces, pri ktorom nastáva samovoľné vyrovnávanie koncentrácie častíc v sústavách s nerovnomerne rozloženou hustotou častíc. S javom difúzie sa stretávame pri látkach všetkých skupenstiev. Podstata difúzie spočíva v tom, že molekuly jednotlivých zložiek zmesi prenikajú z miest, kde je ich koncentrácia vyššia na miesta, kde je ich koncentrácia nižšia, čiže difúzia prebieha v smeroch poklesu koncentrácie. Najrýchlejšie prebieha v plynnom skupenstve, pretože v tomto skupenstve sa častice (molekuly) najrýchlejšie pohybujú. Unikanie plynu malým otvorom z jednej nádoby do inej (často evakuovanej) nádoby sa nazýva efúzia. V roku 1933 škótsky chemik Tomas Graham (1805-1869) na základe svojich experimentov formuloval zákon (tzv. Grahamov zákon, resp. Grahamov-Bunsenov zákon), podľa ktorého je pri konštantnej teplote a tlaku rýchlosť difúzie (efúzie) plynu nepriamo úmerná druhej odmocnine jeho hustoty, t.j.

$$v \approx \frac{1}{\sqrt{\rho}},$$

kde v je rýchlosť difúzie a ρ je hustota uvažovaného plynu.

Ak v_1, v_2 sú rýchlosti difúzie dvoch plynov, majúcich hustoty ρ_1, ρ_2 , potom na základe Grahamovho zákona platí

$$v_1 \approx \frac{1}{\sqrt{\rho_1}}, v_2 \approx \frac{1}{\sqrt{\rho_2}}, \text{ resp. } v_1 = k \frac{1}{\sqrt{\rho_1}}, v_2 = k \frac{1}{\sqrt{\rho_2}},$$

odkiaľ dostávame

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}}.$$

Experimentálne zistený Grahamov zákon je možné odvodiť aj na základe kinetickej teórie ideálneho plynu. Keďže stredná kinetická energia častíc plynu závisí iba od teploty, pri konštantnej teplote majú dva rôzne plyny rovnakú hodnotu strednej kinetickej energie, t.j. $\frac{1}{2}m_1v_1^2 = \frac{1}{2}m_2v_2^2$,

odkiaľ dostávame $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$. Keďže platí $m = \rho V$ a tiež $m = M \cdot n$ v prípade, že budeme uvažovať rovnaký objem, resp. rovnaké látkové množstvo difundujúcich plynov, potom z predchádzajúcej rovnosti pre pomer rýchlostí difúzie v_1, v_2 dvoch plynov, majúcich hustoty ρ_1, ρ_2 alebo mólové hmotnosti M_1, M_2 dostávame

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}}, \text{ resp. } \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}.$$

Grahamovo pravidlo je teda možné použiť na určenie mólovej hmotnosti alebo hustoty jedného z dvoch plynov (blížiacich sa svojimi vlastnosťami ideálnemu plynu) v prípade, že poznáme

experimentálne namerané difúzne rýchlosti týchto plynov. Keďže rýchlosť difúzie je možné definovať aj ako zmenu objemu ΔV difundujúceho plynu za istý časový interval Δt , t.j. $v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$, na experimentálne zistenie pomeru difúzných rýchlostí stačí zistiť časový interval efúzie rovnakého objemu známeho aj neznámeho plynu. Grahamov zákon využil aj švajčiarsky chemik Jacques-Louis Soret (30.6. 1827–13.5. 1890), a to pri určovaní hustoty ozónu.

Jacques-Louis Soret svojimi experimentmi v roku 1865 potvrdil, že ozón je ďalšou alotropickou modifikáciou kyslíka, ktorú predstavuje molekula pozostávajúca z troch atómov kyslíka. Okrem toho určil v roku 1868 aj hustotu tohto plynu. Už v roku 1857 však Werner von Siemens zistil, že ozón je možné jednoducho pripraviť použitím elektrického výboja v atmosfére čistého kyslíka O_2 , pričom však vzniká zmes ozónu s kyslíkom, v ktorej podiel ozónu predstavuje necelých 10%. Aj keď ozón je možné získať frakčnou destiláciou tejto zmesi, vzhľadom na náročnosť tohto procesu zvolil Soret na určenie hustoty plynného ozónu spôsob, využívajúci Grahamov zákon. Soret v sérii experimentov vytvoril zmesi niektorých plynov s kyslíkom (Cl_2 , CO_2 , O_3) a následne meral rýchlosti, ktorými tieto plyny difundujú cez porézny materiál do prostredia čistého kyslíka. Soret týmto spôsobom určoval relatívne difúzne rýchlosti, t.j. pomer $\frac{V}{V_0}$, kde V predstavuje objem difundovaného plynu a V_0 pôvodný objem uvažovaného plynu v zmesi s kyslíkom. Takto určené difúzne rýchlosti uvedených plynov mu umožnili pomocou Grahamovho zákona pomerne presne určiť hustotu ozónu.

Jacques-Louis Soret síce používal pri svojich experimentoch sofistikovanejšiu aparatúru, my však pre jednoduchosť uvažujme dve nádoby A a B . Nech nádoba A obsahuje zmes kyslíka a ďalšieho plynu, pričom objem tohto plynu v zmesi je V_0 . Nech nádoba B obsahuje iba kyslík. Spojme tieto dve nádoby spôsobom, umožňujúcim difúziu plynov počas nejakého časového intervalu t . Soret pozoroval, že rýchlosť difúzie kyslíka je v oboch smeroch rovnaká a rýchlosť difúzie plynného chlóru, oxidu uhličitého či ozónu je úmerná rozdielu objemu uvažovaného plynu v týchto dvoch nádobách v ľubovoľnom časovom okamihu. Soret tak experimentálne zistil, že pre určitý plyn, pri použití tej istej aparatúry a pri rovnakej dĺžke trvania opísaného procesu je pomer $\frac{V_n}{V_0}$ konštantný a teda pre každý plyn charakteristický. Takto určené difúzne rýchlosti referenčných plynov (Cl_2 , CO_2) mu umožnili pomocou Grahamovho zákona pomerne presne určiť hustotu ozónu.

O tom, že pomer $\frac{V_n}{V_0}$ je pri uvedených podmienkach pre uvažovaný plyn konštantný, sa môžeme presvedčiť nasledujúcou úvahou.

Nech nádoba A obsahuje zmes kyslíka a ozónu, pričom objem ozónu v tejto zmesi je V_0 a nádoba B obsahuje iba kyslík. Podľa Soretovho zistenia je objem dV ozónu, ktorý difunduje z nádoby A do B za čas dt , úmerný rozdielu objemov ozónu v oboch nádobách počas časového intervalu dt . Ak teda z nádoby A , pôvodne obsahujúcej objem V_0 ozónu za čas dt prenikol do nádoby B ozón s objemom V , pre rozdiel objemov ozónu v týchto nádobách v čase dt platí

$$dV = k((V_0 - V) - V) = k(V_0 - 2V),$$

kde k je konštanta závislá od druhu použitej aparatúry.

Podľa Grahamovho zákona je rýchlosť difúzie plynu, t.j. $v = \frac{dV}{dt}$, nepriamo úmerná druhej odmocnine jeho hustoty. Na základe uvedeného pre rýchlosť difúzie ozónu teda platí

$$v = \frac{dV}{dt} = \frac{k}{\sqrt{\rho}} (V_0 - 2V).$$

Na začiatku prvého časového intervalu nádoba B neobsahuje žiadny ozón, preto pre objem V_1 ozónu v nádobe B na konci prvého intervalu platí

$$V_1 = \frac{k}{\sqrt{\rho}} V_0 dt.$$

Pre objem ozónu v nádobe B na konci druhého časového intervalu využitím vzťahu $\frac{V_1}{V_0} = \frac{k}{\sqrt{\rho}} dt$ dostávame

$$V_2 = V_1 + \frac{k}{\sqrt{\rho}} dt ((V_0 - V_1) - V_1) = V_1 + \frac{V_1}{V_0} (V_0 - 2V_1) = V_1 + V_1 \left(1 - 2\frac{V_1}{V_0}\right).$$

Na konci tretieho, resp. n -tého časového intervalu pre objem ozónu v nádobe B platí

$$V_3 = +V_1 \left(1 - 2\frac{V_1}{V_0}\right) + V_1 \left(1 - 2\frac{V_2}{V_0}\right) = V_1 + V_1 \left(1 - 2\frac{V_1}{V_0}\right) + V_1 \left(1 - 2\frac{V_1}{V_0}\right)^2.$$

$\vdots$

$$V_n = V_1 + V_1 \left(1 - 2\frac{V_1}{V_0}\right) + V_1 \left(1 - 2\frac{V_1}{V_0}\right)^2 + \dots + V_1 \left(1 - 2\frac{V_1}{V_0}\right)^{n-1} = \frac{V_0}{2} \left(1 - \left(1 - 2\frac{V_1}{V_0}\right)^n\right).$$

Využitím vzťahu pre súčet n členov geometrickej postupnosti pre objem ozónu v nádobe B na konci n -tého časového intervalu dostávame

$$V_n = \frac{V_0}{2} \left(1 - \left(1 - 2\frac{V_1}{V_0}\right)^n\right), \text{ resp. } V_n = \frac{V_0}{2} \left(1 - \left(1 - \frac{2k}{\sqrt{\rho}} dt\right)^n\right).$$

Z predchádzajúcej rovnosti je zrejmé, že objem uvažovaného plynu v nádobe B na konci daného časového intervalu je úmerný počiatočnému objemu V_0 tohto plynu v nádobe A . Z tejto rovnosti je tiež zrejmé, že pre určitý plyn, pri použití tej istej aparatury a pri rovnakej dĺžke trvania opísaného procesu je pomer $\frac{V_n}{V_0}$ konštantný a teda pre každý plyn charakteristický.

K rovnakému záveru by sme dospeli aj použitím sofistikovanejšieho matematického aparátu, ktorý však už nie je dostupný stredoškolským študentom, t.j. vyriešením separovateľnej diferenciálnej rovnice

$$\frac{dV}{dt} = \frac{k}{\sqrt{\rho}} (V_0 - 2V),$$

odkiaľ pre začiatočné podmienky $t = 0$, $V = 0$ pre pomer $\frac{V_n}{V_0}$, resp. $\frac{V}{V_0}$ dostávame

$$\frac{V}{V_0} = \frac{1}{2} \left(1 - e^{-\frac{2k}{\sqrt{\rho}} t}\right).$$

Zo získanej rovnosti je možné vidieť, že pre istý plyn, pri použití rovnakej aparatury a rovnakej dĺžke trvania opísaného procesu je pomer $\frac{V}{V_0}$ skutočne konštantný.

Záver

Je známou skutočnosťou, ktorú potvrdzujú aj viaceré prieskumy, že matematika u stredoškolských študentov neobsadzuje práve popredné miesta v rebríčkoch obľúbenosti vyučovacích predmetov. O dôvodoch tohto stavu by sme samozrejme mohli polemizovať. Z odpovedí samotných respondentov zmienených prieskumov však vyplýva, že veľká časť z nich nevidí význam myšlienkových postupov či poznatkov, získaných na hodinách matematiky, čo do veľkej miery ovplyvňuje ich postoj k tomuto vyučovaciemu predmetu. V príspevku sme sa snažili uviesť príklady, v ktorých sme na základe úvah, vedúcich k pojmu geometrická postupnosť, čiže k pojmu stredoškolskej matematiky, dospeli k záverom s priamym využitím v praxi, konkrétne v chémii.

Literatura

1. KLOUDA, P. *Fyzikální chemie*. Ostrava: Pavel Klouda, 2002, ISBN 80-86369-06-4
2. MELLOR, J. W. *Higher mathematics for students of chemistry and physics*. London: Longmans, Green and Co. 1902.
3. PAVELEKOVÁ, I. *Analytická chémia pre študentov pedagogických fakúlt*. Trnava: TU, 2010, ISBN 978-80-8082-388-7

4. PAVELEKOVÁ, I., ŽOLDOŠOVÁ, K. *Laboratórne cvičenia z analyzickej chémie*. Trnava: TU, 2001, ISBN 80 – 88774 – 94 - 2
5. RUBIM, M. B. The history of ozone. The Schönbein period, 1839-1868. *Bulletin for the History of Chemistry*. 2001, Volume 26, Issue 1, pp. 40-51. ISSN 1053-4385. [Dostupné z: http://www.scs.illinois.edu/~mainzv/HIST/awards/OPA%20Papers/2001-Rubin.pdf](http://www.scs.illinois.edu/~mainzv/HIST/awards/OPA%20Papers/2001-Rubin.pdf)
6. ŠTEPÁNEK, L. *Chemická technika*. Ostrava: Pavko, 2012, ISBN 978-80-86369-18-1

Kontaktní adresa:

Michaela Klepancová, Mgr. PhD.,
Katedra přírodních věd, Vysoká škola technická a ekonomická, Okružní 10, 370 01 České
Budějovice, ČR, tel.: +420 387 842 200, e-mail: klepancova@mail.vstecb.cz