



KEMIJA U NASTAVI

Uređuje: Nenad Raos

Stehiometrija sa smislom

N. Raos*

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada
Ksaverska c. 2, P.O.B. 291, 10 001 Zagreb

|| Sažetak

Učenje stehiometrije može se učiniti zanimljivim i poticajnim ako se kemijski račun primijeni na stvarne probleme, kako u tehnici tako i u svakodnevnom životu. Predočen je primjer pet takvih problema koji opet mogu poslužiti za formuliranje stehiometrijskih zadataka: 1.) obnavljanje zraka u podmornicama te svemirskim brodovima i stanicama, 2.) problem odgovarajuće (stehiometrijske) smjese gorivnog plina i zraka, 3.) opravdanost razlike u cijeni kristalne i kalcinirane sode, 4.) cijena rupe u siru i 5.) usporedba točnosti dviju metoda za određivanje relativne atomske mase. Problemi su formulirani tako da se mogu prilagoditi svakom stupnju kemijske naobrazbe, tj. izračunati na više razina aproksimacije.

|| Ključne riječi

Nastava kemije, stehiometrija, relativna atomska masa, obnavljanje zraka

Uvod

Kemijski račun, stehiometrija, nije težak jer – kada se stvari svedu na pravu mjeru – vidimo kako se on temelji na jednostavnom, pučkoškolskom računu proporcionalnosti te svakom učeniku jasnim pojmovima mase, broja i volumena. Pa opet stehiometrija često zna biti najteži dio kemije. Razlog tome je dvojak. Prije svega ona se bavi atomima i molekulama, dakle objektima koji nisu dostupni osjetilima. Usto je riječ o tako malim masama i velikim brojevima da se ne mogu ni sa čime usporediti, pa ostaju izvan mogućnosti bilo kakve izravne predodžbe. Učenicima je teško shvatiti kako je i atom čestica, najmanji dio (čest) tvari, koja unatoč svojoj sićušnosti ima masu baš kao gumica ili olovka. Doista, s čime se može usporediti masa atoma natrija od $3,8 \cdot 10^{-23}$ grama?

Druga je poteškoća s učenjem stehiometrije ta što je ono često odvojeno od eksperimenta, a posebice laboratorijske prakse. Kako recimo učenik može razumjeti razliku između koncentracije i udjela, grama po litri ili grama na sto grama, ako nikad nije priredio nijednu otopinu? Ne samo to, učenik nije upoznat ni s osnovnim kemijskim postupcima i priborom (odmjerna tikvica, menzura, preciznost gravimetrije i volumetrije, razlika baždarenja na uljev i izljev i sl.), pa ne može stvoriti predodžbu kako se nešto i zašto

u laboratoriju radi. Iz toga prirodno proistječe shvaćanje stehiometrije kao nečega što je samo pridodato kemiji, valjda zato da bi se u školi moglo još nešto učiti. Tome pridonose i stehiometrijski zadatci koji su, nažalost, često svrha samima sebi, umjesto da čine put prema dubljem razumijevanju kemije, što opet vodi do većeg opredjeljivanja učenika za studij prirodnih znanosti, popularnog STEM područja.¹

Na takvu praksu, na učenje stehiometrije “bez smisla” upozoravaju naši kolege koji se u praksi svakodnevno susreću s tim problemom.² Jedan od takvih zadataka, “zadatak bez smisla” je primjerice “Koje empirijsko pravilo vrijedi za odnos koncentracije i gustoće solne kiseline?” S jedne strane taj problem unosi više matematike nego što će učeniku, pa i kemičaru ikada trebati, a s druge nedostaje poveznica s kemijskom praksom. Sličan je zadatak “Kolikom masu kalcija treba otopiti u 50 cm³ vode da bi pH nastale otopine bio 11?” “Ovaj zadatak ne znamo riješiti a, iskreno, i da znamo, što bismo s tim?”, s pravom se pitaju autori. Jer ako hoćemo prirediti otopinu pH = 11, poslužiti ćemo se odgovarajućim puferom ili ćemo u otopinu kalcijeva hidroksida zadane koncentracije dodavati kiselinu ili lužinu dok ne dođemo do zadanog stupnja kiselosti. Postoje dakako i zadatci sa smislom, poput triju zadataka koje navode autori navedenog članka, primjerice kako iz rezultata pokusa izračunati relativnu atomsku masu metala i iz toga zaključiti o kojem je elementu riječ.

* Dr. sc. Nenad Raos
e-pošta: raos@imi.hr

DOI: 10.15255/KUI.2017.002
KUI-40/2017
Stručni rad
Prispjelo 2. veljače 2017.
Prihvaćeno 13. ožujka 2017.

Ovo djelo je dano na korištenje pod
Creative Commons Attribution 4.0
International License



Takvi su zadatci svakako od koristi budućem kemičaru jer se u njima upoznaje, osim ostalog, s kemijskim metodama i postupcima, no postavlja se pitanje hoće li od njih imati koristi i učenik – a takvih je najviše – koji se nikada u životu kemijom neće baviti, a opet će se s njome svakodnevno susretati. Jer ne treba zaboraviti da svrha školovanja nije samo “ovladavanje kompetencijama s ciljem boljeg pozicioniranja na tržištu rada”, kako se to voli reći zapletenim administrativno-birokratskim rječnikom, nego i razumijevanje svijeta u kojem učenik, a poslije i odrastao čovjek živi. Usto je lakše dobiti predodžbu o kemijskim omjerima iz primjera što nam ih nudi tehnika i svakodnevni život nego iz prakse kemijskog laboratorija, o kojoj učenik uostalom zna malo ili ništa. Stoga je svrha ovog članka upravo to: on treba približiti stehiometriju svakodnevnom životu, iskustvu i zanimanju učenika, čineći je – nadam se – zanimljivom nastavnom jedinicom.

Prvi zadatak: Kako se obnavlja zrak u podmornicama i svemirskim brodovima?

Nasuprot raširenom mišljenju da do gušenja u zatvorenim prostorima dolazi uslijed nedostatka kisika, do toga zapravo dolazi zbog otrovanja ugljikovim dioksidom nastalom disanjem. Naime, volumni udjel od 5 % ugljikova dioksida u plućima (alveolama) izaziva refleks izdisanja (osjećaj gušenja), dok se zrak s parcijalnim tlakom kisika od samo 0,04 bara još uvijek može neko vrijeme disati.³ Stoga se problem disanja posada u podmornicama, svemirskim brodovima i svemirskim stanicama ne može riješiti samo bocama kisika – potrebno je prije svega uklanjati ugljikov dioksid. Najpoznatije se takvo uklanjanje zbilo pri letu svemirskog broda *Apollo 13* na Mjesec 1970. godine. Tada je zbog eksplozije spremnika kisika u servisnom modulu propalo spuštanje na Mjesec, pa se svemirski brod morao vratiti na Zemlju služeći se pogonom lunarnog modula.⁴ Pri dramatičnom spašavanju astronauta došlo je do niza sjajnih improvizacija, među ostalim i do upotrebe kanistara litijeva hidroksida iz lunarnog modula, kako bi se parcijalni tlak CO₂ održao ispod još uvijek dopuštenih 0,020 bara (što odgovara volumnom udjelu od 2 % pri normalnom tlaku). Kako su ti kanistri bili predviđeni upotrebi uz skafander, morali su ih prilagoditi upotrebi u kapsuli (komandnom modulu), pri čemu su se astronauti poslužili ljepljivom vrpcom, kartonom i vrećama za svemirska odijela, sve prema uputama komande leta u Houstonu.

Ta nas zgoda (koja se može ispričati na satu kemije) dovodi do prvog zadatka: “Zašto se za obnavljanje zraka u svemirskom brodu *Apollo* (kao i u drugim svemirskim brodovima te podmornicama) upotrebljavao baš litijev hidroksid, LiOH?”

Napišemo li opću jednadžbu vezivanja ugljikova dioksida hidroksidima alkalijskih metala:



jasno je da će kapacitet apsorpcije ovisiti o omjeru masa CO₂ i MOH:

$$m(\text{CO}_2)/m(\text{MOH}) = M_r(\text{CO}_2)/2M_r(\text{MOH}). \quad (2)$$

Izračunamo li taj omjer za LiOH, dobit ćemo vrijednost 0,92, što znači da litijev hidroksid može apsorbirati 92 % svoje mase ugljikova dioksida. Taj je omjer znatno manji za natrijev (55 %), a još manji za kalijev hidroksid (39 %). Stoga je jasno da je litijev hidroksid izabran zbog male relativne atomske mase litija, $A_r(\text{Li}) = 6,941$, unatoč tome što je znatno skuplji od spomenuta dva hidroksida.

Postoji još jedan način obnove zraka u podmornicama. To je reakcija ugljikova dioksida s natrijevim peroksidom:



Prednost te reakcije je u tome što Na₂O₂ ne samo da uklanja ugljikov dioksid nego i oslobađa kisik. Iz te bi se reakcije stehiometrijski zadatak mogao formulirati ovako: “Koliko treba uzeti natrijeva peroksida po podmorničaru za jedan dan?”

Utrošak kisika pri mirovanju (bazalni metabolizam) iznosi 250 mililitara u minuti.⁵ Iz toga se može izračunati dnevni utrošak od 360 litara, što iznosi 15,9 mola ili 509 grama.* Kako ta količina varira, pa se pri teškom fizičkom naporu može povećati i 15 puta, bit će najsigurnije da je pomnožimo s faktorom pet. Dakle: “Koliko treba uzeti natrijeva peroksida za oslobađanje 2544 grama kisika?”

Evo rješenja:

$$m(\text{Na}_2\text{O}_2)/m(\text{O}_2) = 2 M_r(\text{Na}_2\text{O}_2)/M_r(\text{O}_2). \quad (4)$$

Iz čega slijedi:

$$m(\text{Na}_2\text{O}_2) = 2 M_r(\text{Na}_2\text{O}_2) \cdot m(\text{O}_2)/M_r(\text{O}_2). \quad (5)$$

Uvršavanjem odgovarajućih vrijednosti u navedenu jednadžbu dolazimo do rezultata od 12 440 grama natrijeva peroksida. Pri tome je vezao 160 mola (=7000 g) ugljikova dioksida, a Na₂O₂ je apsorbirao 56 % svoje mase CO₂. Sada se postavlja pitanje, koje teba postaviti učenicima, je li bolja obnova zraka u podmornicama litijevim hidroksidom ili natrijevim peroksidom? (Pritom treba imati na umu da se tako sav kisik ne obnavlja, jer se primjerice za oksidaciju jednog mola glukoze troši šest mola kisika i oslobađa šest mola ugljikova dioksida. Usto nuklearne podmornice dobivaju kisik elektrolizom vode.)

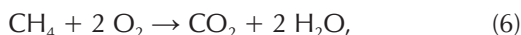
Drugi zadatak: Zašto se posebno prodaju štednjaci na zemni plin i na “plin iz boce”?

Ovaj nas zadatak vraća u svakidašnjicu. Sigurno je netko od učenika nazočio kupnji plinskog štednjaka pri čemu je

* U svim sam se zadatcima služio proračunom preko volumena mola idealnog plina pri standardnim uvjetima ($P = 1 \text{ bar}$, $T = 273 \text{ K}$), $V_m = 22,4 \text{ l mol}^{-1}$. Zadatci se dakako mogu i drugačije, složenije formulirati, uzimajući u obzir stvarni tlak i temperaturu te vlažnost plinova.

prodavač upitao njegove roditelje kojim se plinom koriste: onim iz gradske mreže ili onim iz boce? Pritom se štednjaci ne razlikuju, nego samo njihove dizne (sapnice, mlaznice), koje uostalom kupac ne vidi.

Riječ je o tome da dizne određuju brzinu istjecanja plina a time i sastav njegove smjese sa zrakom. Zemni plin iz mreže sastoji se poglavito od metana. Jednadžbu njegova izgaranja možemo lako napisati:



što znači da pri gorenju volumni omjer metana i kisika mora biti najmanje $V(\text{CH}_4) : V(\text{O}_2) = 1 : 2$. Kako zrak sadržava 21 % kisika, to će (stehiometrijski) omjer zemnog plina i zraka biti 1 : 10 (9 % metana u plinskoj smjesi).

Plin u bocama smjesa je propana i butana. No za potrebe ovog zadatka uzet ćemo da se sastoji samo od butana:



iz čega proizlazi volumni omjer butana i kisika 2 : 13 ili gorivnog plina i zraka 2 : 65 (3 % butana u plinskoj smjesi). Stoga je jasno kako za izgaranje "plina iz boce" treba osigurati trostruko veći protok zraka, pa stoga i užu diznu.

Treći zadatak:

Je li jeftinija suha ili kristalna soda?

Soda, natrijev karbonat, danas je već zaboravljeno sredstvo za pranje i čišćenje. No sodom se u doba prije Drugoga svjetskoga rata, kada još nije bilo deterdženata a sapun je bio poprilično skup, naveliko pralo, a i danas bih preporučio njezinu upotrebu kada treba oprati zagorenu mast. (Budući da se do sode teško dolazi, može je se lako pripremiti kod kuće prženjem sode bikarbone, natrijeva hidrogenkarbonata. To se može izvesti već na običnoj tavi, jer treba postići temperaturu od samo 170 °C.) Naše prabake i šukunbake bile su pak u nedoumici kada su kupovale sodu. Naime, na tržištu su bile dvije sode, jedna "suha" (obična, kalcinirana), Na_2CO_3 , druga "kristalna", $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, pa nisu znale koju da kupe. Suha je soda "bolje prala", ali je bila i skuplja. Do kojeg iznosa kvaliteta opravdava cijenu?

To je lako izračunati iz omjera relativne molekularne mase jedne i druge sode:

$$M_r(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O})/M_r(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 286/106 = 2,7. \quad (8)$$

Drugim riječima, 2,7 kg kristalne sode sadržava istu masu natrijeva karbonata kao i kilogram one suhe, pa stoga treba biti i 2,7 puta jeftinija. Ako nije, razlika u cijeni ide u džep trgovca.

Četvrti zadatak:

Koliko stoji rupa u siru?

Rupa u siru ne stoji ništa – no samo ako je u njoj zrak. Ali u njoj nije zrak nego ugljikov dioksid, plin veće gustoće od

zraka. Da bismo riješili ovaj zadatak trebamo prvo izračunati gustoću ugljikova dioksida:

$$\begin{aligned} \rho(\text{CO}_2) &= M_r(\text{CO}_2)/V_m \\ &= 44 \text{ g mol}^{-1}/22,4 \text{ l mol}^{-1} = 1,96 \text{ g l}^{-1}. \end{aligned} \quad (9)$$

Trebat ćemo izračunati još i gustoću zraka, pri čemu ćemo se poslužiti istom formulom. No prije toga trebamo izračunati prosječnu molarnu masu zraka – iz volumnog udjela plinova koji ga sačinjavaju:

$$\begin{aligned} M_r(\text{zrak}) &= M_r(\text{N}_2) \cdot \varphi(\text{N}_2) + M_r(\text{O}_2) \cdot \varphi(\text{O}_2) + M_r(\text{Ar}) \cdot \varphi(\text{Ar}) \\ &= 28 \text{ g mol}^{-1} \cdot 0,78 + 32 \text{ g mol}^{-1} \cdot 0,21 + 40 \text{ g mol}^{-1} \cdot 0,01 \quad (10) \\ &= 29 \text{ g mol}^{-1}. \end{aligned}$$

Iz toga nije teško izračunati gustoću zraka pri istim, standardnim uvjetima kao i gustoću CO_2 :

$$\begin{aligned} \rho(\text{zrak}) &= M_r(\text{zrak})/V_m \\ &= 29 \text{ g mol}^{-1}/22,4 \text{ l mol}^{-1} = 1,29 \text{ g l}^{-1}. \end{aligned} \quad (11)$$

Uz pretpostavku da rupa (mjehurić ugljikova dioksida) u siru ima volumen od 5 ml ($= 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$), njezina će težina, korigirana za uzgon zraka, iznositi:

$$\begin{aligned} F_g &= g V [\rho(\text{CO}_2) - \rho(\text{zrak})] \\ &= 9,81 \text{ m s}^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot 0,67 \text{ kg m}^{-3} = 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ N}. \end{aligned} \quad (12)$$

Težina od $3,3 \cdot 10^{-5} \text{ N}$ odgovara masi od 3,4 mg, a to je upravo ono što plaćamo pod sir kad zapravo kupujemo ugljikov dioksid. Uz pretpostavku da kilogram sira stoji 100 kn, rupa će u siru stajati $3,4 \cdot 10^{-4}$ kune ili 0,03 lipe. (Proračun vrijedi dakako samo za zatvorene rupe, a ne za one u koje je već ušao zrak.)

Peti zadatak:

Zašto su se relativne atomske mase najtočnije određivale taloženjem srebrovim nitratom?

Ovaj nas zadatak vraća na područje čiste, laboratorijske kemije, a k tome još i u područje povijesti kemije koja se dade i te kako lijepo iskoristiti u nastavi, čineći učenicima učenje kemije zanimljivim i sadržajnijim jer povezuje kemiju s drugim sferama ljudskoga života.^{6,7} Iako se danas relativna masa, a s njome i izotopski sastav kemijskih elemenata određuje izravno masenom spektroskopijom, treba zaroniti u povijest kemije da bi se shvatilo njezino pravo značenje kao standardizirani omjer elemenata u njihovim spojevima. Dakle, određivanje "atomske težine" temeljilo se na preciznim gravimetrijskim analizama. Koliko su te analize bile točne, toliko su bile točne i njima određene "atomske težine".

Prvu je tablicu relativnih atomske masa (prema vodiku) objavio John Dalton.⁸ U njoj nalazimo vrijednost 29 za cink. No tu vrijednost trebamo pomnožiti s dva, budući da kemičari onda nisu razlikovali atom (O) od molekule (O_2) kisika, kao uostalom ni drugih plinova.⁹ Iz toga je

Iako izračunati pogrešku prema suvremenoj vrijednosti, $A_r(\text{Zn}) = 65,409$. Ona iznosi 11 %.

Razlog tako velikoj pogrešci bila je kemijska reakcija iz koje se određivala relativna atomska masa. Ona se naime određivala oksidacijom metala, u ovom slučaju cinka, te vaganjem uzorka prije i nakon oksidacije:

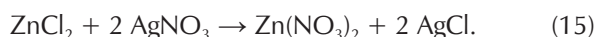


Napišemo li izraz za odmjernu masu nakon i prije reakcije:

$$m(\text{ZnO})/m(\text{Zn}) = M_r(\text{ZnO})/M_r(\text{Zn}), \quad (14)$$

uvrštanjem odgovarajućih (suvremenih) vrijednosti dolazimo do omjera 1,25, što znači da je analizirani uzorak (cink) pri oksidaciji ("kalcinaciji") povećao svoju masu za samo 25 %. Sličnim računom za nikal, $A_r(\text{Ni}) = 58,693$, korigirane Daltonove vrijednosti 52, dolazimo do omjera 1,27, što znači da se razlikuju po relativnom povećanju mase uzorka za samo 1,6 % – a to je gotovo unutar pogreške tadašnjih analitičkih metoda.

Krajem 19. stoljeća belgijski je kemičar Jean Servais Stas (1813. – 1891.)¹⁰ razvio novu, neizravnu no precizniju metodu, iz koje je proizašla "srebrna" ljestvica atomskih težina. Svi bi se metali naime prvo preveli u kloride, koji bi se potom taložili srebrovim nitratom. U konkretnom slučaju za cink:



Relativna bi se atomska masa potom određivala iz odvage reaktanta, cinkova klorida, i produkta, srebrova klorida. Napišemo li analognu jednadžbu onoj prethodnoj (jed. 14):

$$m(\text{AgCl})/m(\text{ZnCl}_2) = 2 M_r(\text{AgCl})/M_r(\text{ZnCl}_2), \quad (16)$$

dolazimo do omjera 2,101, znatno većeg od prethodnog (1,245) – masa se povećala čak 111 %! Provedemo li isti proračun za nikal, dolazimo do vrijednosti 2,212, dakle do razlike u masi od 4,5 %, a to je tri puta više nego u Daltonovoj metodi. Pritom treba uzeti u obzir – uz druge prednosti – da se važu dvostruko veće mase produkata, pa je stoga i relativna pogreška vaganja manja.

Zaključak

Navedenih pet problema samo je pet primjera kako se može motivirati učenike da nauče kemijski račun. Nastavnik može i sam smišljati slične zadatke ili – lakše i bolje – razrađivati ovdje navedene. Tako se primjerice može zadati učenicima da izračunaju stehiometrijske smjese zraka

i goriva za različite plinove i plinske smjese, recimo gradski (CO) i vodeni plin (CO, H₂), te plin koji se kupuje u boci (s točno zadanim udjelom propana i butana). Pozivajući se na rezultate takvih proračuna, nastavnik može poticati učenike da pokušaju odgovoriti na pitanje zašto je metan "najekološkije" gorivo ili – što izlazi malo izvan okvira ove teme – zašto se u boce stavlja baš smjesa propana i butana, a ne drugih ugljikovodika. Što se pak tiče prvog zadatka, može se organizirati radionica u kojoj će učenici sami proučiti načine obnavljanja zraka na međunarodnoj svemirskoj stanici (ISS) te razmotriti prikladnost takvih postupaka. Zanimljivo je i pitanje dobivanja kisika elektrolizom vode na nuklearnim podmornicama jer se iz njih mora ispuštati vodik, kao otpadna tvar, pa bi se učenici mogli angažirati u proračunu, naravno sasvim približnom, kolikom ga brzinom treba podmornica ispuštati (pri čemu treba posvetiti pažnju dubini na kojoj se podmornica nalazi).

Svi bi se ti problemi mogli formulirati u jasno definirane stehiometrijske zadatke, kao uostalom i problem određivanja relativne atomske mase u posljednjem zadatku. Bilo bi zanimljivo primjerice izračunati pogrešku u određivanju $A_r(\text{Zn})$ objema metodama ako uzorak cinka ili ZnCl_2 važe 1 g, a pogreška vaganja iznosi 0,2 mg. Pritom je najbolje prevesti obje funkcije u eksplicitnu formu, $A_r(\text{Zn}) = f[m(\text{Zn}), m(\text{ZnO}), A_r(\text{O})]$ (jedn. 14) i $A_r(\text{Zn}) = f[m(\text{ZnCl}_2), m(\text{AgCl}), M_r(\text{AgCl}), A_r(\text{Cl})]$ (jedn. 16), što je lijepa vježba kako iz kemije tako i iz matematike.

Literatura References

1. C. D. Bridges, Experiences teaching stoichiometry to students in grades 10 to 11, Dissertation, Walden University, 2015.
2. N. Judaš, P. Vrkljan, Stehiometrija bez smisla, u N. Raos (ur.) Nove slike iz kemije, Školska knjiga i Hrvatsko kemijsko društvo, Zagreb, 2004., str. 281–290.
3. A. C. Guyton, Temelji fiziologije čovjeka, Jugoslavenska medicinska naklada, Zagreb, 1980., str. 376, 406–407.
4. M. M. Vucelić, Apollo 13, Tehnička knjiga, Zagreb, 1970.
5. A. C. Guyton, Temelji fiziologije čovjeka, Jugoslavenska medicinska naklada, Zagreb, 1980., str. 358.
6. H.-S. Lin, The effectiveness of teaching chemistry through the history of science, J. Chem. Educ. 75 (1998) 1326–1330, doi: <https://doi.org/10.1021/ed075p1326>.
7. A. J. Ihde, History of chemistry and the education of teachers, Bull. Hist. Chem. 8 (1990) 3–8.
8. J. Dalton, A New System of Chemical Philosophy, Vol. 2, Manchester, 1827., str. 357.
9. D. Grdenić, Povijest kemije, Novi Liber i Školska knjiga, Zagreb, 2001., str. 542–553.
10. J. Timmermans, Jean Servais Stas, J. Chem. Educ. 15 (8) (1938) 353–357, doi: <https://doi.org/10.1021/ed015p353>.

SUMMARY

Common Sense Stoichiometry

Nenad Raos

The teaching of stoichiometry is hampered by its “scholastic” nature, *i.e.* that the student is not familiar with the problems presented in the school. This paper provides a quite different approach, suggesting solving the problems much closer to everyday life. Examples of five such problems are presented: (1) control of CO_2 levels in submarines and space stations, (2) difference in oxygen consumption by burning of different kinds of natural gas, (3) justified difference in price of Na_2CO_3 and $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$, (4) calculation of the weight (and price) of bubbles in cheese, and (5) comparison in precision of two gravimetric methods for the determination of relative atomic mass. The general way of problem presentation enables their solution at different levels of complexity, *i.e.* their adaptation to the education level of students.

Keywords

Chemistry education, stoichiometry, relative atomic mass, control of CO_2 levels

*Institute for Medical Research and
Occupational Health, Ksaverska c. 2, P.O.B.
291, 10 001 Zagreb, Croatia*

*Professional paper
Received February 2, 2017
Accepted March 13, 2017*