

Redefinícia mólu – pozadie zmien v SI sústave a ich vplyv na vzdelávanie

Romana Schubertová, Ľubomír Held

Abstrakt

Predkladaný príspevok prepája aktuálnu diskusiu o redefinícii základných jednotiek SI sústavy s vyučovaním chémie. Plánovaná definícia mólu má byť založená na presnom stanovení Avogadrovej konštanty. Problémy, ktoré sú spojené s takýmto definovaním mólu, vychádzajú však aj zo samotnej histórie veličiny látkové množstvo. Jedným zo základných problémov tohto charakteru je, že látkové množstvo je spomedzi základných veličín jedinou diskontinuálnou veličinou, ktorej jednotka mól nebola zavedená na základe vlastností prírody, ale na základe ľudskej dohody. Je teda otázne či je mól zaradený medzi základné jednotky SI sústavy logicky správne. Aj z tohto dôvodu je veličina látkové množstvo zaujímavá taktiež z didaktického hľadiska, ktoré je v príspevku diskutované.

Kľúčová slova: mól, látkové množstvo, redefinícia jednotiek, Avogadrova konštanta, didaktika chémie.

The Redefinition of the Mole — the Background of Changes in the International System of Units and Their Impact on Education

Abstract

This article connects an ongoing discussion about the redefinition of basic units in the International System of Units with the teaching of chemistry. The “new” definition of mole is to be based on the precise determining of Avogadro constant. However, problems related to this new definition have roots in the history of the quantity amount of substance itself. One of the main problems is the fact that the amount of substance is the only discontinuous quantity (from among basic quantities) whose unit ‘mole’ was not introduced in the International System of Units on the basis of properties of the nature, but only by human agreement. Thus, the question is whether the mole is correctly placed among basic units of the International System of Units. This is one of the reason why this quantity is also interesting from the didactic point of view. It is discussed in this article.

Key words: mole, amount of substance, redefinition of units, Avogadro constant, chemistry education.

Organizácia *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM – Medzinárodný úrad pre miery a váhy), ktorej úlohou je zabezpečiť celosvetovú jednotnosť meraní a ich prepojenie na medzinárodnú sústavu jednotiek, sa chystá na pomerne rozsiahlu revíziu definície niektorých základných jednotiek SI sústavy. Podnetom pre zmeny je najmä existencia etalónu v prípade kilogramu (pretože jeho hmotnosť sa s časom mení). Zmeny sa tak dotknú aj jednotiek, ktoré sú od definície kilogramu závislé. Jednou z nich je mól, základná jednotka veličiny látkové množstvo. Nová definícia mólu má byť pomerne jednoduchá: „Mól (značka mol) je jednotkou látkového množstva špecifikovanej základnej častice, ktorou môže byť atóm, molekula, ión, elektrón alebo iná častica, či skupina častíc; jeho rozmer je stanovený fixáciou numerickej hodnoty Avogadrovej konštanty, ktorá je presne $6,022\,141\,29 \cdot 10^{23}$, keď je vyjadrená v SI jednotke mol^{-1} .“ (BIPM, 2013)¹. Na rozdiel od predchádzajúcej definície, ktorá sa odvolávala na počet atómov uhlíka ¹²C v jeho 12 gramoch, bude mól vyjadrený presným počtom častíc. Ten má zodpovedať hodnote Avogadrovej konštanty – teda jej najpresnejšiemu odhadu, ktorý bude stanovený v čase zavedenia zmien definície jednotiek. Táto definícia je v súhre s celou novou koncepciou SI sústavy – definovať všetky základné jednotky pomocou nasledovných, tzv. základných konštánt:

1. Frekvencia žiarenia atómu cézia 133 v pokoji pri teplote absolútnej nuly pri prechode medzi dvoma hladinami veľmi jemnej štruktúry základného stavu (Hz) – pre definíciu sekundy.
2. Rýchlosť svetla vo vákuu (m s^{-1}) – pre definíciu metra.
3. Planckova konštantka (Js) – pre definíciu kilogramu.
4. Elementárny náboj (C) – pre definíciu ampéra.
5. Boltzmanova konštantka (J K^{-1}) – pre definíciu kelvina.
6. Avogadrova konštantka (mol^{-1}) – pre definíciu mólu.
7. Svetelná účinnosť monochromatického žiarenia s frekvenciou $540 \cdot 10^{12}$ hertz (lm W^{-1}) – pre definíciu kandely.

Kým v súčasnosti je kilogram definovaný pomocou spomínaného etalónu, jeho navrhovaná definícia znie nasledovne: „Kilogram, kg, je jednotkou hmotnosti; jeho veľkosť je určená fixáciou číselnej hodnoty Planckovej konštanty, ktorá je presne $6,626\,068 \cdot 10^{-34}$, keď je vyjadrená v jednotke $\text{s}^{-1} \text{m}^2 \text{kg}$, čo je ekvivalent jednotky Js.“ (Price, 2011)². Nová definícia kilogramu je teda okrem hodnoty Planckovej konštanty závislá aj od definícií metra a sekundy. Samotná navrhovaná koncepcia však už po svojom predstavení v roku 2007 (na konferencii o mierach a váhach – CGPM, z franc. *Conférence Générale des Poids et Mesures*, boli stanovené podmienky, ktoré musia byť splnené pred prijatím nových definícií) vyvolala v odborných kruhoch rozsiahle diskusie, ktoré sú teoretického aj praktického charakteru. Hovorí sa v nich nielen o problémoch spojených s fixáciou základných fyzikálnych konštánt, ktorá je len ťažko reverzibilná (Price, 2011), ale aj o strate súdržnosti sústavy SI (spomínaná definícia kilogramu pomocou metra a sekundy), náročnej realizácii jednotky kilogram či predpokladaných problémoch s ich sprístupňovaním študentom (Hill, 2011). Didaktické hľadisko je zdôrazňované takmer v každom príspevku, ktorý sa týka kritiky navrhovaných zmien.

¹V citovanej definícii sa jedná o hodnotu Avogadrovej konštanty, ktorá je uvedená v návrhu 9-tej brožúry SI sústavy a slúži tak na ilustráciu novej definície. Definitívna hodnota Avogadrovej konštanty má byť fixovaná pomocou jej najpresnejšie nameranej hodnoty práve pred redefiníciou.

²Symbol „X“ v numerickej hodnote Planckovej konštanty bude v novej definícii nahradený číslicami podľa najpresnejšej determinácie jej hodnoty.

Štúdium problematiky v našom prípade podnietili zmeny, ktorými prechádza obsah základného chemického vzdelávania na Slovensku. Kým doposiaľ sa v ňom pojmy látkové množstvo, mól a molárna hmotnosť nachádzali, od pripravenej revízie do základného (povinného) obsahu nepatria. V snahe zaujať stanovisko k zmenám vo vzdelávacom obsahu sme sa v prípade látkového množstva zamerali aj na štúdium definícií pojmov a ich vývoja. Prebiehajúce zmeny v definícii základných jednotiek tak poskytujú, vďaka búrlivej diskusii v metrologických periodikách (a z nich najmä *Accreditation and Quality Assurance*), pohľad aj na samotnú existenciu veličiny látkové množstvo a historické pozadie jej vzniku. Odporcov voči novej definícii je totiž asi tak veľa, ako tých, ktorí nesúhlasia ani so súčasným zaradením mólu medzi základné jednotky SI sústavy, pričom sú často tou istou osobou (napr. Price, 2010, 2011).

Ustanovenie medzinárodného systému základných veličín a ich jednotiek v sedemdesiatych rokoch prinieslo do vzdelávacích systémov množstvo didaktických problémov. Československé školstvo sa s nimi vyrovnávalo aj vďaka paralelne realizovanej obsahovej prestavbe všetkých stupňov vzdelávacieho systému, ktorá začala v roku 1976 (Held, 2011). Snaha po exaktnosti, ktorá prináša so sebou niekedy mechanické prekopírovanie odborných definícií do vzdelávacích obsahov, však paradoxne nemusí viesť k zlepšeniu vzdelávacích výsledkov. Naopak odкрýva celý rad didaktických problémov, ktoré napokon súvisia aj s nedoriešenou odbornou problematikou.

Sme presvedčení, že takýto scenár postihol aj jedinú „chemickú“ veličinu v sústave základných veličín, ktorou je látkové množstvo spolu so svojou jednotkou mól.

Predkladaný príspevok má dva základné ciele. Na jednej strane súhrnne informovať širšiu odbornú verejnosť o zmenách, ktoré sa chystajú v definícii jednotky mól. Na druhej strane poukázať na paralely, ktoré existujú medzi problémami vo vyučovaní mnohých pojmov a ich vývojom a problémami „odborného“ hľadiska, ktoré boli zviditeľnené pomocou didaktickej rekonštrukcie ako výskumného prístupu, dominujúceho dnes v didaktikách prírodných vied.

1 ZARADENIE JEDNOTKY MÓL DO SI SÚSTAVY AKO ZAČIATOK PROBLÉMOV

Zavedenie mólu ako základnej jednotky SI sústavy (rok 1971) vychádzalo z využívania pojmu gramatóm a grammolekula v stochiometrii (Furió, 2000). Milton (2011) považuje za dôležitú udalosť v histórii mólu publikáciu Perrina, ktorá prezentuje jeho pohľad na grammolekulu: „Stalo sa bežným nazývať grammolekulou látky také množstvo látky, ktorá v plynnom stave zaberá rovnaký objem ako 2 gramy vodíka, pri rovnakom tlaku a teplote. Avogadrova hypotéza je potom rovná nasledovnému výroku: Akékoľvek dve grammolekuly obsahujú rovnaký počet molekúl.“ (Milton, 2011, cit. podľa Perrin, 1909). Pojem mól sa v zmysle gramatómu a grammolekuly používal aj pred jeho oficiálnym zaradením do SI sústavy, zodpovedal počtu „predmetov“, rovnajúcemu sa Avogadrovemu číslu. Hodnotu Avogadroveho čísla však nebolo potrebné poznať a mól ako pomenovanie určitého počtu predmetov slúžil najmä na komunikáciu výsledkov meraní (Price, 2010). V prípade praxe je totiž pre chemika dôležité vedieť, že 2,06 g vodíka sa zlučuje s 15,999 g kyslíka, pričom nezáleží na voľbe jednotky, ale na pomere hmotností (Meinrath, 2011). Z podobného uhlu pohľadu, avšak so zdôraznením didaktického hľadiska, sa na pro-

blematiku pozerá Tifi (2012). Podľa neho je pre žiakov prirodzený koncept „relatívny počet častíc“, ktorý by mal predchádzať sprístupneniu pojmu mól, pričom žiaci pomocou neho môžu bez využívania pojmu mól riešiť úlohy stechiometrického charakteru. Ak totiž relatívna atómová hmotnosť udáva, koľkokrát je jeden atóm ťažší od druhého, vypovedá zároveň aj o pomere počtu týchto atómov v takej istej hmotnosti vzorky. Napríklad ak má atóm prvku „A“ dvakrát takú veľkú hmotnosť ako atóm prvku „B“, v 100 gramoch vzorky atómov prvku „B“ bude dvojnásobný počet atómov, ako v 100 gramoch vzorky atómov prvku „A“. Rozšírením tejto úvahy sa dostávame k podobnému záveru, ktorý vyslovil Perrin: „V hmotnostiach látok, ktoré sú rovné relatívnym hmotnostiam ich častíc vyjadrených v gramoch (teda kedysi gramatóm alebo grammolekula), sa nachádza vždy rovnaký počet týchto častíc.“

Situácia sa podľa Pricea (2011) predstavením mólu ako základnej jednotky (podľa spomínaného autora dokonca termodynamického charakteru) zmenila. Mól už nezodpovedal veličine, vyjadrujúcej počet častíc, ale novovytvorenej veličine látkové množstvo. Price upozorňuje na to, že v súčasnej definícii látkové množstvo nevyjadruje počet častíc (ako sa všeobecne poníma), a to najmä z toho dôvodu, že jeho hodnoty sú kontinuálneho charakteru (nezáporné reálne čísla), pričom počet častíc je diskontinuálny a má konečnú hodnotu, vyjadrenú celým nezáporným číslom. K tejto problematike sa vyjadruje viacero autorov. Niektorí považujú látkové množstvo (ktoré by malo reprezentovať počet častíc) za jedinú diskontinuálnu veličinu spomedzi základných veličín (Johansson, 2011; Price & De Bievre, 2009), iní hovoria o logických nedostatkoch súčasne prezentovanej Avogadrovej konštanty (Pavese, 2011; Baraňsky, 2012). Tá je totiž vyjadrovaná aj so štandardnou neistotou, teda intervalom okolo odhadu meranej veličiny, v ktorom sa s určitou pravdepodobnosťou nachádza konvenčne pravá hodnota meranej veličiny. Situácia je spôsobená určením numerickej hodnoty Avogadrovej konštanty, ktorá nevznikla počítaním, ale nepriamou experimentálnou (empirickou) determináciou inej kontinuálnej veličiny – o vývoji metód odhadovania Avogadrovej konštanty a jej meraných hodnôt prehľadne informovali napr. *Chemické listy* (Slavíček, 2012). Numerickej výsledok tejto determinácie je vyjadrený ako nezáporné reálne číslo, z logického hľadiska by však mal byť číslom prirodzeným (Pavese, 2011). Problém diskontinuity veličiny teda vo veľkej miere súvisí aj s okruhom výhrad voči Avogadrovej konštante. Dostáva sa na povrch aj vo vyučovaní pojmov, kde je Avogadrova konštantá v učebniciach rôzne vyčíslovaná. Napríklad v učebnici pre 8. ročník ZŠ z roku 1991 (Šramko et al., 1991) je uvedené, že jeden mól: „... obsahuje približne $6,023 \cdot 10^{23}$ častíc, čo je 602 300 000 000 000 000 000 častíc.“ V novších učebniciach (Vicenová & Ganajová, 2012) je už slovo „približne“ vynechané, ale Avogadrova konštantá je vždy na ilustráciu vyčíslená s nulami. K tomuto problému Pavese (2011) dodáva, že vyjadrenie, že jeden mól obsahuje $6,022\,141\,29 \cdot 10^{23}$ častíc (ktoré sa nachádza v novo navrhovanej definícii mólu) nie je správne, nakoľko značí, že ostatné desatinné miesta vo vyjadrení sú rovné nule. To, že zvyšné číslice nepoznáme, však neznamená, že sú rovné nule.

Z historického hľadiska bol mól zavedený ako vyvrcholenie sporu medzi atomistami a ekvivalentistami (Furio, 2000). Kým ekvivalentisti uvažovali o zlučovaní a chemických reakciách v rovine makroskopickú, prostredníctvom ekvivalentových váh (historický pojem), atomisti na základe Daltonovho postulátu tvrdili, že v chemickej reakcii spolu reagujú zlúčeniny molekula k molekule. Podľa Meinrahta (2011) sa však atomistický pohľad stal faktickou realitou a nie je teda dôvod zavádzať, prípadne využívať konštrukciu veličiny, ktorá dnes nemá reálne opodstatnenie.

2 PRIRODZENÁ ZÁKLADNÁ VELIČINA – POČET ČASTÍC

Práve na základe diskontinuity veličiny, ktorá počíta častice, by mal byť logickou základnou jednotkou samotný kus (v angličtine využívaný pojem „unity“). Mól je v tomto prípade len matematickým násobiacim faktorom – faktorom mierky (Johansson, 2011). V prípade kontinuálnych veličín je otázkou konvencie, aká jednotka bude zvolená za základnú – je teda záležitosťou dohody, či označíme 1 kilogram za základnú jednotku a 1 gram za jeho alikvotnú časť, alebo opačne. Avšak záležitosťou dohody nie je, či považujeme 1 molekulu H_2O za jednotku a tucet takýchto molekúl za jej násobok, alebo uvažujeme opačne. Kým 1 kilogram môžeme považovať za základnú jednotku alebo jej násobok, jeden tucet bude vždy len násobiacim faktorom určenej základnej jednotky. Mól by mal byť považovaný za takýto násobiaci faktor, keďže nie je viazaný na žiadny druh častíc a môže byť aplikovaný vždy, keď sa jedná o diskontinuálne entity. Nespojité entity sú tak vlastnými jednotkami počítania. Potrebujú na svoje spočítanie len prirodzené čísla. Počítanie totiž vyžaduje, aby mal termín „nasledujúci v poradí“ zmysel. V prípade kontinuálnych veličín nie je možné tento termín používať, keďže medzi dvomi bodmi, akokoľvek sú si blízko, sa vždy nachádza aj tretí bod. Z tohto dôvodu musia mať kontinuálne veličiny jednotku miery stanovenú dohodou.

Zaujímavé je na tomto mieste spomenúť, že podobný pohľad na túto záležitosť, ktorý je v poslednej dobe prezentovaný v zahraničí, sa vyskytol už pomerne dávno v osemdesiatych a deväťdesiatych rokoch v Československu, keď neúnavný Petera (1988) navrhoval za základnú jednotku látkového množstva (v Peterových návrhoch „mnohosti látky“) jednotku „indiv“. Bez „cimrmanovského“ sarkazmu možno konštatovať, že jeho tvrdenia sú konzistentné so súčasnými renomovanými autormi: „... ve své skutečné podstate totiž mol není ničím iným, než velmi velikým násobkem indivu, je tedy velkou měrnou jednotkou mnohosti.“ Citované vyjadrenie naráža na ďalší problém, s ktorým sa dnes opäť stretávame. Mnohí autori vnímajú názov veličiny látkové množstvo ako mätúci. Je považovaný za rozvláchny, príliš všeobecný a nejednoznačný (Padilla & Furio, 2000) či podľa Peteru nevýstižný, svojou dvojslovnosťou neoperatívny (Petera, 1988; Furio, 2000). Od začiatku existencie veličiny sa tak objavilo množstvo návrhov na vhodnejší názov – chemiancia, chemické množstvo, enplethia a iné. Z vyjadrení Miliona je však zreteľné, že zmeny, ktoré majú byť podľa BIPM v SI sústave vykonané, majú v čo najmenšom rozsahu ovplyvniť praktických užívateľov (Milton, 2011).

Na tomto mieste chceme opäť upozorniť na didaktické problémy, ktoré boli známe vzápätí po ustanovení novej veličiny a jej jednotky. Prehľad o riešeníach problematiky vyučovania daných pojmov sme poskytli pred tridsiatimi rokmi (Held, 1985). Náš návrh výkladu vychádzal z „kvantifikovaného opisu“ chemickej rovnice vyjadrujúcej syntézu vody: *Pre praktickú činnosť v chemickom laboratóriu bude užitočné, aby sme si určili nejakú základnú jednotku, ktorou budeme vyjadrovať množstvo reagujúcich látok. Povedzme 1 miliarda častíc (molekúl). (Po prečítaní rovnice v miliardách reagujúcich molekúl sa prechádza na všeobecné bezmenné jednotky.) Rovnica potom vyjadruje: 2 jednotky množstva vodíka (predtým 2 miliardy alebo $2 \cdot 10^9$) + 1 jednotka množstva kyslíka (predtým 1 miliarda alebo $1 \cdot 10^9$) reaguje za vzniku 2 jednotiek množstva vody (predtým 2 miliardy alebo $2 \cdot 10^9$). V praxi sa však zaužívala iná jednotka látkového množstva, ktorá obsahuje približne $6,022 \cdot 10^{23}$ častíc, namiesto nami uvažovaných 10^9 častíc.*

V uvedenom príklade je taktiež vyjadrená myšlienka, že je záležitosťou dohody, aký veľký počet častíc bude jednotka (následne predstavená ako mól) obsahovať.

K tejto problematike podobne ako aj iní autori (napr. Price & De Bievre, 2009) podotýkame, že hodnota Avogadrovej konštanty by bola odlišná, pokiaľ by sa v čase zavádzania jednotky mól využívali na meranie hmotnosti iné jednotky ako gram (napr. libra – namiesto pojmov gramatóm a grammolekula by tak boli vytvorené pojmy libraatóm či libramolekula (približne $2,734 \cdot 10^{26}$) (Held, 1985). Aj náš súčasný návrh sprístupnenia pojmov látkové množstvo a mól vychádza z predpokladu, že mól je násobkom jedného kusu (častice). Súčasne v ňom okrem nedoriešených odborných metrologických problémov reflektujeme aj aktuálne zavádzanie nových pojmov v prírodovednom vzdelávaní pomocou induktívnej metodológie (Schubertová, 2014).

3 NAVRHOVANÁ DEFINÍCIA A SÚČASNÁ DISKUSIA OKOLO NEJ

V súvislosti s plánovanou zmenou definície mólu sa objavujú názory, že nová definícia nevyrieši logické problémy veličiny a jej jednotky, ktoré sú s nimi spojené. V diskusiách bolo navrhované zavedenie viacerých veličín, jednotiek či novotvarov, ako napríklad „numerozita“ (z angl. numerosity, ako akási „početnosť“) (De Bievre, 2007; Rocha-Filho, 2011), ktorá sa nápadne podobá Peterovmu návrhu „mnohosť“ (Petera, 1988), „avo“ a „ent“ (Leonard, 2011a, 2011b, 2011c) alebo „uno“ (Mills, 1995). Tie však podľa Milтона (2011) nemajú potenciál zasiahnuť do plánovaných zmien v SI sústave. Navrhovatelia týchto zmien, ako oponenti súčasnej aj plánovanej definície, však často poskytujú zmysluplné argumenty, stojace za ich námietkami. Niektoré z nich vymenujeme:

- Nová SI sústava chce vychádzať z definovania jednotiek prostredníctvom základných fyzikálnych konštánt. Avogadrova konštanta však nie je základnou fyzikálnou konštantou v pravom zmysle slova (ako napríklad rýchlosť svetla vo vákuu). Je len špecifickým príkladom spomedzi mnohých, prirodzene sa vyskytujúcich stabilných javov (Price, 2011).
- Problémom definovania kilogramu je, že sa hodnota Planckovej konštanty v čase a priestore mení a zmeny hodnoty konštanty tohto charakteru tak môžu spôsobovať problémy v základnej metrológii (Hill & Khruschov, 2013).
- Jedným z primárnych cieľov SI sústavy bolo určenie základných, od seba navzájom nezávislých jednotiek. Vzájomná nezávislosť jednotiek garantovala konzistenciu sústavy. Prvýkrát narušilo túto konzistenciu samotné predstavenie mólu, pretože jeho definícia zahŕňala kilogram, nasledovalo definovanie metra pomocou rýchlosti svetla atď. Použitie fundamentálnych konštánt na definovanie jednotiek tak dovŕši elimináciu principiálnych rozdielov medzi základnými a odvodenými jednotkami (Pavese, 2011).
- Definičný problém sa týka aj daltonu (iný názov – atómová hmotnostná jednotka, značka Da alebo u), ktorý je v súčasnosti stanovený ako jedna dvanástina hmotnosti atómu uhlíka ^{12}C . Pri nezávislej fixácii Planckovej konštanty (pomocou ktorej bude definovaný kilogram) a Avogadrovej konštanty (pomocou ktorej bude definovaný mól) bude pre dalton platiť nasledovná definícia: $\text{Da} = 1/(1\,000 N_A)$ kg presne (Leonard, 2011). Táto hodnota však nebude zodpovedať jednej dvanástine hmotnosti atómu uhlíka ^{12}C . Na vyriešenie tejto situácie boli navrhnuté rôzne explicitné aj implicitné korekčné faktory.

Citovaní autori zároveň vyzývajú tvorcov „novej SI sústavy“ na širšiu diskusiu s odborníkmi, ktorá zatiaľ, aj napriek príslubom, neprebehla (Hill & Khruschov,

2013). Od návrhov novej sústavy (v roku 2007) pritom prebehlo už niekoľko rokov a plány na jej prijatie spadajú do roku 2018 (Richard & Ullrich, 2014).

4 NA ZÁVER

Prebiehajúca diskusia z pohľadu didaktikov poukazuje najmä na zložitosť situácie. Evidentný rozdiel medzi látkovým množstvom a ostatnými základnými veličinami totiž netkvie primárne v tom, že mól je jedinou základnou jednotkou, o ktorej zariadenie do SI sústavy sa zaslúžili chemici. Rozdiel tkvie v samotnej podstate merania. Kým v ostatných prípadoch (dĺžka, hmotnosť, čas) je podstatné, že meranie je porovnávaním pozorovaných a zaznamenaných hodnôt so stanovenou jednotkou, v prípade látkového množstva sa ukazuje, že jeho základnou jednotkou je samotný kus, reprezentovaný jednou diskontinuálnou entitou. Na ustanovenie hodnoty základnej jednotky látkového množstva teda podľa nášho názoru nie je potrebná dohoda odbornej verejnosti, potrebná je v prípade ustanovenia hodnoty jej násobku – mólu. Otázne je, aký bude mať plánovaná redefinícia jednotiek vplyv na vzdelávanie. Pokiaľ mól bude definovaný pomerne jednoducho a otázky budú visieť najmä nad podstatou merania a teda aj hodnoty Avogadrovej konštanty, v prípade redefinície kilogramu bude situácia zložitejšia. Jeho definícia pomocou Planckovej konštanty je z didaktického hľadiska veľmi ťažko uchopiteľná a hrozí, že jej budú rozumieť len teoretickí fyzici (Price, 2011).

I keď nepredpokladáme, že didaktické hľadiská by mohli zohrať významnú úlohu v diskusii k pripravovanej redefinícii základných jednotiek SI sústavy, sme presvedčení, že problémy vyučovania pomáhajú pripomenúť etapy vývinu a lepšie pochopiť pozadie pripravovaných zmien. V konečnom dôsledku je to dôvod na zamyslenie a možno jeden z posledných momentov na diskusiu pred dôležitým okamihom, ktorý ovplyvní vzdelávanie na dlhú dobu dopredu.

PODĚKOVÁNÍ

Príspevok vznikol s podporou projektu APVV č. 2014-0070.

LITERATURA

Baraňski, A. (2012). The Atomic Mass Unit, the Avogadro Constant, and the Mole: a Way to Understanding. *Journal of Chemical Education*, 89(1), 97–102.

BIPM. (2013). *Draft 9th Brochure*. Dostupné z http://www.bipm.org/utis/common/pdf/si_brochure_draft_ch123

De Bièvre, P. (2007). Numerosity Versus Mass. *Accreditation and Quality Assurance*, 12(5), 221–222.

De Bièvre, P. (2011). Integer numbers and their ratios are key concepts in describing the interactions of atoms and molecules. *Accreditation and Quality Assurance*, 16(3), 117–120.

Furio, C. (2000). Difficulties in Teaching the Concepts “Amount of Substance” and “Mole”. *International Journal of Science Education*, 22(12), 1 285–1 303.

Held, Ľ. (1985). *Osvojovanie pojmu „látkové množstvo“: metodický list*. Bratislava: Ústredný ústav pre vzdelávanie učiteľov.

- Held, L. (2011). Konfrontácia koncepcií prírodovedného vzdelávania v Európe. *Scientia in educatione*, 2(1), 69–79.
- Hill, T. P. (2011). Criticisms of the proposed “new SI”. *Accreditation and Quality Assurance*, 16(8), 471–472.
- Hill, T. P. & Khrushchov, V. V. (2013). Is there an objective need for an urgent redefinition of the kilogram and mole? *Measurement Techniques*, 56, 747–752.
- Johansson, I. (2011). The Mole is Not an Ordinary Measurement Unit. *Accreditation and Quality Assurance*, 16(8–9), 467–470.
- Leonard, B. P. (2011a). The avo (Av), gali (G), entity (ent) and exact dalton. *Accreditation and Quality Assurance*, 16(3), 173–174.
- Leonard, B. P. (2011b). Alternative interpretations of the mole and the ideal gas equation. *Accreditation and Quality Assurance*, 16, 577–581.
- Leonard, B. P. (2011c). Why the invariant atomic-scale unit, entity, is essential for understanding stoichiometry without ‘Avogadro anxiety’. *Accreditation and Quality Assurance*, 16(3), 133–141.
- Meinrath, G. (2011). The mole: definition versus practical use. *Accreditation and Quality Assurance*, 16(3), 167–170.
- Mills, I. M. (1995). Unity as a unit. *Metrologia*, 31, 537.
- Milton, M. J. T. (2011). Reasonable scope for change. *Accreditation and Quality Assurance*, 16(11), 575–576.
- Padilla, K. & Furio Mas, C. (2008). The Importance of History and Philosophy of Science in Correcting Distorted Views of “Amount of Substance” and “Mole” Concepts in Chemistry Teaching. *Science and Education*, 17(4), 403–424.
- Pavese, F. (2011). Some Reflection on the Proposed Redefinition of the Unit for the Amount of Substance and of Other SI Units. *Accreditation and Quality Assurance*, 16(8–9), 161–165.
- Petera, M. (1988). Mnohost a její měrné jednotky. *Poznatky teoretické metrologie (teorie měření) využitelné k logickému a srozumitelnému výkladu kvantifikačních pojmů a výpočtů v chemii*. Praha.
- Price, G. & De Bièvre, P. (2009). Simple Principles for Metrology in Chemistry: Identifying and Counting. *Accreditation and Quality Assurance*, 14(6), 295–305.
- Price, G. (2010). Failures of Global Measurement System. Part 1: the Case of Chemistry. *Accreditation and Quality Assurance*, 15(7), 421–427.
- Price, G. (2011). A skeptic’s review of the New SI. *Accreditation and Quality Assurance*, 16(3), 121–132.
- Richard, P. & Ullrich, J. (2014). *Joint CCM and CCU roadmap towards the redefinition of the SI in 2018*. Dostupné z <http://www.bipm.org/en/measurement-units/new-si/>
- Rocha-Filho, R. C. (2011). Reposition of numerosity as the SI base quantity whose unit is the mole. *Accreditation and Quality Assurance*, 16(3), 155–159.
- Schubertová, R. (2014). *Induktívne osvojovanie pojmu látkové množstvo* [Dizertačná práca]. Trnava: Trnavská Univerzita.
- Slaviček, P. (2012). Avogadrova konstanta: 201 let počítání molekul. *Chemické listy*, 106, 1 023–1 028.

Šramko, T. et al. (1991). *Chémia 8: pre 8. ročník základnej školy*. Bratislava: Slovenské Pedagogické Nakladateľstvo.

Tifi, A. (2012). Dismissing the Mole Concept. *La Chimica nella Scuola*, 34(3), 368–371.

Vicenová, H. & Ganajová, M. (2012). *Chémia pre 9. ročník základnej školy a 4. ročník gymnázia s osemročným štúdiom*. Bratislava: EXPOL PEDAGOGIKA.

ROMANA SCHUBERTOVÁ, romana.schubertova@umb.sk

Univerzita Mateja Bela, Fakulta prírodných vied

Katedra biológie a ekológie

Tajovského 40, Banská Bystrica, Slovenská republika

ĽUBOMÍR HELD, lheld@truni.sk

Trnavská Univerzita, Pedagogická fakulta

Katedra chémie

Priemyselná 4, Trnava, Slovenská republika