

Iskazivanje fizikalnih veličina u kemiji i biokemiji

Presentation of Physical Quantities in Chemistry and Biochemistry

B.S. Grabarić i B. Tripalo*

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

*Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Primljeno 12. 5. 1992

Prihvaćeno 18. 2. 1993.

Sažetak

Navedene su preporuke IUPAC-a (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) o iskazivanju fizikalnih veličina i jedinica u skladu s Međunarodnim sustavom jedinica (*SI = Le Système International d'Unités*). Istaknute su najčešće pogreške koje autori čine pri pisanju rukopisa iz kemije i biokemije te pri pisanju udžbenika s tih područja.

Summary

The IUPAC recommendation on presenting the experimental results in the field of chemistry and biochemistry are given. The most often encountered errors in the manuscripts, as well as, those written in some books, are outlined.

Uvod

Mjeriteljstvo (metrologija) jest područje znanja koje se odnosi na mjerenje. Ono obuhvaća teorijski i eksperimentalno sve pojavne oblike što se odnose na mjerenje, bez obzira na razinu točnosti odnosno područja znanosti i tehnike (1-2). Međunarodno normiranje fizikalnih veličina i jedinica potrebno je radi ostvarivanja komunikacije i razmjene znanstvenih dostignuća između užih, širih pa i interdisciplinarnih istraživačkih skupina i znanstvenih područja, a ostvaruje se preko međunarodnih organizacija kao što su Međunarodna normacijska organizacija (ISO), Međunarodna elektrotehnička komisija (IEC), Međunarodna unija za čistu i primijenjenu kemiju (IUPAC), Međunarodna unija za čistu i primijenjenu fiziku (IUPAP) i dr. Republika Hrvatska osnovala je Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo i predstoji joj učlanjenje u ISO, IEC, Međunarodnu organizaciju za zakonsko mjeriteljstvo, te ostale međunarodne organizacije. Što se tiče značenja uključivanja hrvatskoga gospodarstva u međunarodne tokove na tom području, pred nama je opsežan i odgovoran posao. Radi kontinuiteta Zakonom o preuzimanju zakona (3) preuzeta su slijedeća tri zakona iz bivšeg saveznog zakonodavstva: Zakon o standardizaciji, Zakon o mjernim jedinicama i mjerilima te Zakon o kontroli predmeta od dragocjenih kovina. Izrađuju se Zakon o normizaciji i Zakon o mjeriteljstvu, kako bismo se što prije mogli ravnopravno učlaniti u međunarodne organizacije.

Unutar prirodnih i tehničkih znanosti istraživači objavljuju svoje rezultate u primarnim znanstvenim i stručnim časopisima. Često se, pritom, događa da istraživačke skupine s užih područja samovoljno rabe svoje interne

znakove i iskaze eksperimentalnih rezultata (fizikalnih veličina), koji se tada iz primarnih publikacija prenose u knjige i udžbenike, pod izlikom da oni koji se time bave razumiju o čemu se radi ili pod izlikom da se ti znakovi i način iskazivanja rezultata mjerenja rabi u nekoj knjizi. Takav je pristup konzervativan i otežava međusobno komuniciranje i interdisciplinarno povezivanje, koje je, za napredak znanosti i tehnologije, danas neizbježno i nužno.

U ovom bi prikazu autori željeli upozoriti istraživače, bez obzira na njihovo znanstveno ili stručno područje rada, kako treba rabiti nazive, znakove i jedinice fizikalnih veličina te kako iskazivati rezultate svojih istraživanja u skladu s preporukama ISO, IEC, IUPAC (4,5), IUPAP, BIPM, OIML i ostalih međunarodnih organizacija, u skladu sa zakonskim propisima (3) i uz hrvatske jezične preporuke.

Povod pisanju ovog članka bilo je višegodišnje iskustvo čitanja i recenziranja rukopisa s nespretnim pa i nepravilnim iskazivanjem i prikazivanjem eksperimentalnih rezultata. Dodatna je teškoća činjenica da uredništva nekih znanstvenih i stručnih časopisa ne obraćaju toliku pozornost međunarodno usvojenim preporukama ili imaju svoja interna pravila za znakove fizikalnih veličina, njihovih jedinica te grafičkih i tabličnih prikaza. U časopisima koji se pridržavaju preporuka IUPAC-a upute autorima su očito prešuro napisane pa se autori ovog rada nadaju da će on poslužiti svima za bolje razumijevanje mjeriteljskih načela i definicija, za jednoznačno iskazivanje eksperimentalnih rezultata i upućivanje na izvornu literaturu.

Nazivi i definicije

Nazivi i definicije većine fizikalnih veličina i jedinica navedeni su u literaturi (1,4-6) i u vrlo iscrpnom i opsežnom udžbeniku (7) u kojemu je opisana i povijest mjera i sustava jedinica, stariji međunarodni sustavi, angloamerički sustavi i dr. U tom je udžbeniku obuhvaćen međunarodni sustav mjernih jedinica koji danas vrijedi. Nažalost, novo izdanje tog iznimnog udžbenika, koje bi bilo usklađeno s najnovijim definicijama jedinica, do danas nije tiskano. Pored toga od istog autora treba pogledati i natuknice »Metrologija, zakonska«, »Mjerna nesigurnost« i »Temperaturna mjerenja, temeljna« u Tehničkoj enciklopediji Leksikografskog zavoda »Miroslav Krleža« (2,8,9). Na hrvatskom jeziku postoje još neki priručnici o fizikalnim veličinama i jedinicama međunarodnog sustava (10,11), koji mogu poslužiti kao pomoćna literatura. Veliki broj korisnih članaka o mjeriteljstvu čitatelj može naći u »Mjeriteljskom vjesniku«, što ga izdaje Hrvatsko mjeriteljsko društvo, Berislavićeva 6, Zagreb.

U ovom su radu navedeni samo osnovni pojmovi i preporuke, dok se za detaljniji opis pojmova čitatelj upućuje na literaturu.

Fizikalna veličina je svojstvo pojavâ, tijelâ ili tvari koje omogućuje njihovo kvalitativno razlikovanje i kvantitativno određivanje vrijednosti dogovorene jedinice (1). Fizikalne su veličine definirane:

- postupkom mjerenja i
- definijskim jednadžbama, tj. odnosima među već definiranim veličinama (izvedene veličine).

Mjerenje je skup djelovanja radi određivanja vrijednosti mjerene veličine (1). Pri mjerenju se najčešće određuje omjer između fizikalne veličine i istovrsne veličine koja je dogovorom odabrana kao njena jedinica. Mjerenje se zapravo svodi na određivanje koliko je jedinica sadržano u mjerenoj veličini.

Dakle, pri mjerenju duljine, l , nekog predmeta određuje se vrijednost omjera, npr.:

$$l / [l] = 5,2 \quad /1/$$

U toj je jednadžbi l duljina, $[l]$ dogovorom odabrana duljina (jedinica) prema kojoj se određuje omjer, a 5,2 je vrijednost omjera koja se dobiva mjerenjem. Jedinice fizikalnih veličina imaju posebne nazive i znakove pa se tako osnovna jedinica duljine naziva metrom i ima znak m. Uvrsti li se $[l] = 1 \text{ m}$ u jednadžbu /1/, dobiva se (broj jedan u množenju i dijeljenju obično se ne piše):

$$l / \text{m} = 5,2 \text{ odnosno } l = 5,2 \text{ m} \quad /2/$$

Međunarodno je preporučeno da se znakovi fizikalnih veličina pišu kosim, a znakovi jedinica uspravnim slovima

Da bi se uspostavila jasna međunarodna komunikacija, treba se dogovoriti na međunarodnoj razini (organizacije BIPM, ISO, IEC, IUPAC, IUPAP i dr.) o osnovnim mjernim jedinicama fizikalnih veličina te njihovim znakovima i definicijama. Takav dogovor rezultirao je *Međunarodnim sustavom (mjernih) jedinica (franc. Le Système International d'Unités, SI)*. Unutar toga sustava postoje za odgovarajuće fizikalne veličine:

- osnovne jedinice,
- dopunske jedinice i
- izvedene jedinice.

IUPAC dopušta i uporabu nekih:
d) jedinica izvan SI.

Fizikalne veličine koje imaju konstantne vrijednosti, unutar dogovorenog sustava jedinica, nazivaju se opće fizikalne konstante.

a) Osnovne jedinice SI

Dogovorene su definicije za sedam osnovnih mjernih jedinica. Nazivi tih osnovnih jedinica fizikalnih veličina i njihovi znakovi navedeni su u tablici 1.

Definicije osnovnih jedinica navedene su prema prijedlogu potpunijih izvornih definicija prevedenih na hrvatski jezik (u zagradi je dana godina usvajanja definicije), a preuzete su iz (6):

Metar, jedinica duljine, osnovna je jedinica Međunarodnog sustava, a znak mu je m. Metar je jednak duljini puta koju svjetlost prijeđe u praznini (vakuumu) za vrijeme od 1/299 792 458-og dijela sekunde (1983).

$$\text{metar} \equiv \text{m} = [l]_{\text{SI}} ; \text{m} = s_0$$

s_0 je duljina puta koju svjetlost...

Kilogram, jedinica mase, osnovna je jedinica Međunarodnog sustava, a znak mu je kg. Kilogram je masa međunarodne promjere (1901).

$$\text{kilogram} \equiv \text{kg} = [m]_{\text{SI}} ; \text{kg} = m_0$$

m_0 jest masa međunarodne promjere.

Primjedba: Često se pogrešno izjednačavaju nazivi težina i masa. Težina tijela koje miruje na nekom mjestu Zemlje jest sila kojom to tijelo u praznini pritišće na podlogu i ima jedinicu SI newton (njutn)*, N, dok je masa mjera za inerciju i ima jedinicu SI kg. Isto vrijedi i za relativnu atomsku, molekulsku (molekularnu) i molarnu masu, što je ispravno, umjesto neispravnog atomska, molekulska i molarna težina, bez obzira što i dalje neki udžbenici, posebno oni na engleskom jeziku rabe »atomic weight« i što IUPAC i dalje to dopušta zbog konzervativnih tradicijskih

* Prema hrvatskom pravopisu (12) u tekstu se propisuje fonetsko pisanje jedinica s posebnim nazivima, posebno onih koji potječu od vlastitih prezimena poznatih svjetskih znanstvenika (dakle džul, njutn, itd.), ali i inč, candela i dr. Hrvatsko kemijsko društvo (5) preporučuje izvorno pisanje jedinica gdje god je to moguće, jer je to bliže hrvatskom, dok je fonetiziranje ukorijenjeno u srpskom jeziku. Naravno da će u tom slučaju biti i iznimaka, kao amper (umjesto izvornog ampère), ali amper se može smatrati izvedenicom iz punog prezimena, kao i volt (umjesto volta) ili farad (umjesto faraday), a ne nazivom jedinice koja je puno prezime nekog znanstvenika i to je međunarodno usvojeno. Nesklad se pojavljuje pri pisanju naziva jedinice koja nije izvedena iz vlastitog prezimena kao inch, candela i sl. Držimo da i u tom slučaju treba dati izvorno i fonetsko pisanje, što je učinjeno i u ovom prikazu.

Tablica 1. Osnovne jedinice SI
Table 1. Base SI units

| Fizikalna veličina Physical quantity | | Jedinica Unit | | |
|---|----------------------|--------------------------------|-----------------|----------------|
| Naziv Name | Znak Symbol | Hrvatski naziv English name | | Znak Symbol |
| | | izvorni oblik | izgovorni oblik | |
| duljina length | <i>l</i> | metar metre | metar | m |
| masa mass | <i>m</i> | kilogram kilogram | kilogram | kg |
| vrijeme time | <i>t</i> | sekunda second | sekunda | s |
| električna struja electric current | <i>I</i> | ampère ampère | amper | A |
| termodinamička temperatura thermodynamic temperature | <i>T</i> | kelvin kelvin | kelvin | K |
| množina (količina tvari) amount of substance | <i>n</i> | mol mole | mol | mol |
| svjetlosna jakost luminous intensity | <i>I_v</i> | candela candela | kandela | cd |

razloga, iako su težina i masa dvije različite fizikalne veličine. *Nazivi težina i masa nisu istoznačnice (sinonimi).*

Biokemičari često rabe uz relativnu molekulska masu jedinicu dalton (Da) ili neku njezinu dekadnu jedinicu s predmetkom. To nije dopuštena jedinica IUPAC-a; jedinica je relativne molekulske mase 1, jer je to omjer dviju masa. O pridjevima molekulni, molekulski i molekularni vidi u literaturnom citatu (13), gdje se prednost daje oblicima molekularni i molekulni, no bez obzira na lingvistička tumačenja, u kemijskom jeziku između tradicijskog i dosljednog načela, prednost treba dati dosljednom, a to znači ili atomski i molekulski, ili atomni i molekulni, ili atomaran i molekularan. No potvrdu za preporukom pridjeva atomaran (atomni) autori ovog članka još nisu vidjeli. U Leksikonu Leksikografskog zavoda »Miroslav Krleža« postoje natuknice *atomska baterija* i *atomska bomba*, dok u Tehničkoj enciklopediji istog izdavača stoji natuknica *atomska jezgra*. Primjedba da je pridjev molekulski došao u hrvatski iz srpskog jezika možda i stoji no treba imati na umu da su pridjevi s nastavkom -ski najplodniji u hrvatskom jeziku i nisu mu strani. U umjetnom »znanstvenom« jeziku treba, ako je moguće, rabiti razne inačice pod uvjetom da nisu strane hrvatskoj gramatici, ali ne kao istoznačnice već kao raznoznačnice jer time »znanstveni« jezik postaje bogatiji i jasniji. Primjeri tlaka i pritiska ili kuta i ugla upravo to dokazuju. Za jezikoslovca tlak i pritisak kao i kut i ugao mogu biti istoznačnice, dok za znanstvenika su to dvije potpuno različite veličine od kojih je pritisak (sila) vektor, a tlak (sila podijeljena ploštinom) skalar. Kut je, pak, plošni (ravninski) a ugao je prostorni kut. Temeљem iste logike i dosljednosti atomski (atomarni) i atomni odnosno molekulski (molekularni), ovom se posljednjem daje prednost s jezikoslovnog stajališta (13), i molekulni, pak, mogu se rabiti u dva značenja (14). Naprimjer, molekulni vodik znači da je svojstvo tog vodika njegov sastav od molekula, dok molekulska (molekularna) masa znači da ta masa pripada molekuli, a takva su razlikovanja »ke-

mijskom« jeziku itekako važna i tu bi jezikoslovci prednost trebali dati znanstvenicima, jer bi npr. atomna težina i molekularna masa, što su stručno u biti isti pojmovi, djelovali nedosljedno pa i zbunjujuće.

Sekunda, jedinica vremena, osnovna je jedinica Međunarodnog sustava, a znak joj je s. Sekunda je jednaka 9 192 631 770 perioda zračenja koje odgovara prijelazu između dviju hiperfina razina osnovnog stanja atoma cezija-133 (1967).

sekunda $\equiv s = [t]_{SI}$; $s = 9\,192\,631\,770 T_0$
 T_0 je perioda zračenja koje...

Primjedba: Često se pogrešno piše sec ili sec. umjesto znaka s za sekundu.

Ampère (amper), jedinica električne struje, osnovna je jedinica Međunarodnog sustava, a znak mu je A. Amper je jednak električnoj struji koja bi, tekući dvama usporednim i ravnim vodičima, zanemarljivo maloga kružnog presjeka, razmaknuta u praznini (vakuumu) 1 m, proizvođila među njima silu od 0,2 μ N po metru njihove duljine (1948).

amper $\equiv A = [I]_{SI}$; $A = I_0$
 I_0 je električna struja koja...

Kelvin, jedinica termodinamičke temperature, osnovna je jedinica Međunarodnog sustava, a znak mu je K. Kelvin je jednak 273,16-om dijelu termodinamičke temperature vode u trojnom stanju (1967).

kelvin $\equiv K = [T]_{SI}$; $K = T_0 / 273,16$
 T_0 je termodinamička temperatura vode u trojnom stanju.

Primjedba: Često se pogrešno piše za ovu jedinicu znak °K, umjesto ispravnog znaka za kelvin K. Dopuštena je i uporaba Celsiusove (Celzijeve) temperaturne skale, no tada je znak za temperaturu t , a znak za jedinicu °C, Celsiusov (Celzijev) stupanj. Neispravno je za temperaturu rabiti znak t uz jedinicu K.

Mol, jedinica množine (količine tvari), osnovna je jedinica Međunarodnog sustava jedinica, a znak mu je mol. Mol je nekog sustava ona množina koja sadržava onoliko jedinki tog sustava koliko ima atoma u 12 g ugljika-12 (1971).

$$\text{mol} \equiv \text{mol} = [n]_{\text{SI}}; \text{mol} = n_0$$

n_0 je množina ugljikovih atoma u...

Primjedba: Pri uporabi množine (količine tvari) i njezine jedinice mol *obvezno* treba navesti jedinke. Jedinke mogu biti atomi, molekule, ioni, elektroni ili bilo koje druge čestice ili skupine takvih čestica, pa i dijelovi tih skupina ili čestica. Iskaz $n(\text{sumpor}) = 1 \text{ mol}$ zbuñuje, jer se ne zna da li je sumpor S, S₂ ili S₈. Dakle, treba pisati $n(\text{S})$, $n(\text{S}_2)$ ili $n(\text{S}_8)$. Isto tako treba pisati $n(\text{NaCl})$, $n(\text{H}_2\text{SO}_4)$, $n(1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4)$, $n(e^-)$, $n(h\nu)$ itd.

Candela (kandela), jedinica svjetlosne jakosti, osnovna je jedinica Međunarodnog sustava, a znak joj je cd. Candela je jednaka svjetlosnoj jakosti kojom svijetli izvor jednobojnog svjetla frekvencije 540 THz, kad mu je jakost zračenja 1/683 watta (vata) po steradianu (1979).

$$\text{candela} \equiv \text{cd} = [I_{\text{v}}]; \text{cd} = I_{\text{v},0}$$

$I_{\text{v},0}$ je svjetlosna jakost kojom svijetli...

b) Dopunske jedinice

Jedinice za *kut* i *ugao** mogu se smatrati dopunskim ili izvedenim mjernim jedinicama, ovisno o načinu izražavanja.

Kada se drže dopunskim, tada su njihove jedinice radijan (rad) i steradian (sr) definirane:

Radijan je kut između dvaju polumjera (radijusa) kružnice na kojoj oni ograničuju luk duljine jednake duljini polumjera te kružnice.

Steradian je ugao s vrhom u središtu kugle, koji na toj kugli ograničuje dio plohe kojem je ploština (površina) jednaka ploštini kvadrata sa stranicom duljine jednake polumjeru te kugle.

Ako se jedinice za kut i ugao drže izvedenima (usporedbom duljina ili ploština), tada je jedinica 1, jer su to omjeri duljina ili ploština prema jediničnoj duljini ili ploštini. Dakle, može se pisati $\alpha = s/r = 0,5 \text{ rad}$ (jedinica izvan SI) ili $\alpha = s/r = 0,5 \text{ m/m} = 0,5$ (izvedena jedinica). Isto vrijedi i za steradian koji se označuje s ω , npr. $\omega = 0,4 \text{ sr}$ (jedinica izvan SI) ili $\omega = A/r^2 = 0,4 \text{ m}^2/\text{m}^2 = 0,4$ (izvedena jedinica).

c) Izvedene jedinice

Izvedene jedinice fizikalnih veličina definiraju se međusobnim odnosima fizikalnih veličina, tj. definiraju se

definijskim jednadžbama. Naprimjer, gustoća = masa/obujam, $\rho = m/V$, sila = masa · ubrzanje = masa · duljina/vrijeme², $F = m \cdot a = m \cdot l/t^2$, itd. Isto vrijedi za jedinice od kojih neke imaju i svoje posebne nazive i znakove, kao npr. jedinica za silu newton kojoj je znak N (N = kg m s⁻²). Popis nekih jedinica s posebnim nazivima (izvornim i fonetskim) i znakovima naveden je u tablici 2.

U spektrofotometrijskim istraživanjima često se određuje molarni apsorpcijski koeficijent, ϵ . Iz definicije apsorbancije, A :

$$A = \epsilon \cdot c \cdot l \quad /3/$$

gdje su:

c – koncentracija, a l – duljina optičkog puta (debljina kivete), slijedi da je:

$$\epsilon = A/(c \cdot l) \quad /4/$$

Dakle, molarni apsorpcijski koeficijent ima jedinice mol⁻¹m³cm⁻¹, odnosno mol⁻¹m², ako su jedinice usklađene, no može se iskazati i kao mol⁻¹dm³cm⁻¹ ili mol⁻¹L cm⁻¹, jer se mjerenje obično izvodi u kiveti od 1 cm, a koncentracija se iskazuje u mol/L. Iskaz vrijednosti za ϵ bez jedinica, što je česta pojava u radovima, veoma zbuñuje jer čitatelj mora pogađati da li je autor uskladio jedinice ili je ϵ izrazio kao mol⁻¹dm³cm⁻¹.

U masenoj spektrometriji često se označuju omjeri mase i naboja, m/z , bez operatora jednakosti, dakle m/z 136, što također nije korektno, jer i tu treba pisati operator jednakosti, $m/z = 136$.

d) Dopuštene jedinice izvan SI

Jedinice nekih fizikalnih veličina toliko su se uvrijebile da je njihova uporaba iznimno dopuštena iako se ne uklapaju u jedinice SI. Popis takvih jedinica koje se često rabe naveden je u tablici 3.

Najčešće pogreške u pisanju jedinica jesu:

- pisanje min. umjesto min za minutu i
- pisanje hr umjesto h za sat (lat. hora i engl. hour = sat).

e) Opće fizikalne konstante

Neke izvedene fizikalne veličine u okviru dogovorenog sustava jedinica i u određenim odnosima (zakonima, modelima, teorijama i sl.) imaju uvijek istu, konstantnu vrijednost. Takve se fizikalne veličine nazivaju općim fizikalnim konstantama i neke su od najvažnijih navedene u tablici 4.

Normirani (standardni) tlak pri mjerenju plinskog obujma (volumena) bio je do 1982. godine $p^\ominus = 101\,325 \text{ Pa}$. Od 1982. godine IUPAC preporučuje normirani tlak od 10^5 Pa , dakle 1 bar. To uvjetuje promjenu bročane vrijednosti molarnog volumena idealnih plinova pri normiranom tlaku i temperaturi, te vrijednosti normiranih vrelišta i tališta i još nekih veličina. Za opširnije preračunavanje čitatelj se upućuje na literaturu (9,15-17). Međutim, dopuštena je uporaba i prijašnjega normiranog tlaka, ali se to treba navesti.

* U hrvatskom se znanstvenom jeziku razlikuje kut i ugao. Kut je ravninski (plošni), a ugao prostorni kut.

Tablica 2. Neke izvedene jedinice SI s posebnim nazivima i znakovima
 Table 2. Some derived SI units with special names and symbols

| Naziv Name | Fizikalna veličina Physical quantity | Znak Symbol | Jedinica Unit | | Znak Symbol | Definicija Definition |
|--|---|----------------|---|-----------------|----------------|-----------------------------|
| | | | Hrvatski naziv izvorni oblik English name | izgovorni oblik | | |
| frekvencija frequency | | f | hertz hertz | herc | Hz | s^{-1} |
| sila force | | F | newton newton | njutn | N | $m\ kg\ s^{-2}$ |
| tlak pressure | | p | pascal pascal | paskal | Pa | $m^{-1}\ kg\ s^{-2}$ |
| energija energy | | E | joule joule | džul | J | $m^2\ kg\ s^{-2}$ |
| snaga power | | P | watt watt | vat | W | $m^2\ kg\ s^{-3}$ |
| električni naboj electric charge | | Q | coulomb coulomb | kulon | C | A s |
| električni potencijal electric potential | | V | volt volt | volt | V | $m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$ |
| električni otpor electric resistance | | R | ohm ohm | om | Ω | $m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$ |
| električna vodljivost electric conductance | | G | siemens siemens | simens | S | $m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$ |
| električni kapacitet electric capacitance | | C | farad farad | farad | F | $m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$ |
| gustoća magnetnog protoka magnetic flux density | | B | tesla tesla | tesla | T | $kg\ s^{-2}\ A^{-1}$ |
| magnetni protok magnetic flux | | Φ | weber weber | weber | Wb | $m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$ |
| induktivnost inductivity | | L | henry henry | henri | H | $m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$ |
| svjetlosni protok (tok*) luminous flux | | Φ_v | lumen lumen | lumen | lm | cd sr |
| osvjetljenje (osvijetljenost) illuminance | | E_v | lux lux | luks | lx | cd sr m^{-2} |

*Engleski se naziv flux obično prevodi na hrvatski jezik kao *tijek* ili *tok*. Autori ovog rada drže da je naziv protok primjereniji, jer je fluks (flux) tok pomnožen/podijeljen ploštinom/vremenom, dok sam tijek ili tok (engl. flow) to ne mora biti.

Temperatura za normirane (standardne) uvjete mjerenja plinskog obujma jest $T^\ominus = 273,15\ K$ ($t^\ominus = 0\ ^\circ C$), a temperatura za normirane uvjete pri elektrokemijskim i termodinamičkim mjerenjima jest $T^\ominus = 298,15\ K$ ($t^\ominus = 25\ ^\circ C$). O mjerenju temperature i temperaturnim skalama čitatelj se upućuje na literaturu (9).

Specifične veličine jesu veličine podijeljene masom tvari, npr. specifični toplinski kapacitet pri stalnom tlaku, $c_{p,m} = C/m$. Molarne su veličine one koje su podijeljene množinom jedinki, npr. molarni obujam idealnih plinova pri normiranom tlaku i temperaturi, $V_m^\ominus = V^\ominus/n$, molarna masa, $M = m/n$, molarna brojnost (Avogadrova konstanta), $N_A = N/n$, molarni naboj (Faradayeva konstanta), $F = Q/n(e^-)$, itd.

U nekim područjima znanosti i tehnike fizikalne veličine imaju vrlo velike, a u drugima imaju vrlo male vrijednosti. Zbog toga se preporučuje uporaba dekadnih višekratnika osnovnih jedinica. Višekratnici se tvore dodatkom predmetka (prefiksa) jedinici. Znak predmetka za-

mjenjuje brojčanu vrijednost dotičnoga decimalnog faktora (vidi tablicu 5).

Osim tih predmetaka u znanosti se i tehničari rabe za iskazivanje nekih veličina, npr. omjera, udjela, iskorištenja i slično, *matematički znakovi koji nisu jedinice, već je jedinica tih veličina broj 1* (tablica 6).

U tablici 7 navedene su neke fizikalne veličine i jedinice koje se rabe u općoj kemiji, a u tablici 8 navedene su fizikalne veličine kojima se izražava sastav homogenih smjesa ili otopina.

Najviše nesporazuma i nepravilnosti ima upravo pri iskazivanju sastava homogenih smjesa. Kao prvo rabi se pojam »sadržaj« koji je doslovno preuzet iz drugih jezika. Taj se pojam ne preporučuje, jer se njime želi upozoriti na sastav, a za sastav postoje točno definirane fizikalne veličine koje imaju svoje nazive i veličinske (definiციjske) jednadžbe, kako je navedeno u tablici 8. Druga je česta pogreška da se sve veličine u tablici 8 nazivaju koncentra-

Tablica 3. Neke dopuštene jedinice izvan SI
Table 3. Some allowed non-SI units

| Fizikalna veličina Physical quantity | | Jedinica Unit | | Vrijednost u jed. SI Value in SI units |
|---|----------------|--|----------------|--|
| Naziv Name | Znak Symbol | Naziv Name | Znak Symbol | |
| vrijeme time | t | minuta minute | min | 60 s |
| | | sat hour | h | 3 600 s |
| | | dan day | d | 86 400 s |
| | | stupanj degree | ° | ($\pi/180$) rad |
| kut α, β, \dots plane angle | | minuta minute | ' | ($\pi/10\,800$) rad |
| | | sekunda second | " | ($\pi/648\,000$) rad |
| | | aongström (ångström) ångström | Å | 10^{-10} m |
| duljina length | l | litra litre | L, l | 10^{-3} m ³ = 1 dm ³ |
| obujam (volumen) volume | V | tona tonne | t | 10^3 kg = 1 Mg |
| masa mass | m | unificirana atomska jedinica mase unified atomic mass unit | u | $\approx 1,66054 \times 10^{-27}$ kg |
| tlak pressure | p | bar bar | bar | 10^5 Pa |
| energija energy | E | elektronvolt electronvolt | eV | $\approx 1,602128 \times 10^{-19}$ J |

*U hrvatskom se znanstvenom jeziku razlikuje pritisak i tlak. Pritisak je sila, a tlak je sila podijeljena ploštinom (površinom). Takvo jezično razlikovanje poželjno je i nužno jer je pritisak vektor, a tlak skalar što je još jedna bitna razlika.

cijama. To također nije ispravno jer postoje omjeri, udjeli, koncentracije i molalnost pa ih treba razlikovati. Ovdje treba obratiti pozornost na neke parove veličina koji također često uzrokuju pomutnju.

Prvi je primjer gustoća, $\rho = m/V$, i masena koncentracija, $\gamma = m/V$. To su prema definiciji dvije različite veličine, bez obzira što su im jedinice iste. Da bi se izbjegla pomutnja, preporučuje se, ne samo u ovom primjeru već svaki znak fizikalne veličine, dodatno označiti desnim donjim indeksom (supskriptom)* ako je opis kraći ili zagradama što je praktičnije za dulji opis.

Dakle, navedene veličine u praktičnim primjerima mogu se označiti kao:

$$\rho_{\text{Fe}} = m_{\text{Fe}}/V_{\text{Fe}} \quad \text{ili} \quad /5/$$

$$\rho(30\% \text{-tna } \text{H}_2\text{SO}_4) = m(30\% \text{-tna } \text{H}_2\text{SO}_4)/V(30\% \text{-tna } \text{H}_2\text{SO}_4), \quad /6/$$

$$\text{ali } \gamma(\text{H}_2\text{SO}_4) = m(\text{H}_2\text{SO}_4)/V(30\% \text{-tna } \text{H}_2\text{SO}_4) \quad \text{ili} \quad /7/$$

$$\gamma(\text{H}_2\text{SO}_4) = m(\text{H}_2\text{SO}_4)/V(\text{otop. } \text{H}_2\text{SO}_4). \quad /8/$$

Dodatni opisi u zagradama pišu se u nominativu. Ovako su napisane veličine jednoznačne i jasne, a dodatni opisi upozoravaju na razlike.

Drugi par fizikalnih veličina u tablici 8 kod kojih može nastati pomutnja jesu obujamni (volumenski) udjel, npr. sastojka B u smjesi, $\psi_B = V_B / \sum V_i$, i obujamna koncentracija sastojka B, $\sigma_B = V_B/V(\text{smjesa})$. U prvom je primjeru u nazivniku zbroj obujama svih sastojaka, bez obzira jesu li oni aditivni ili nisu, dok je u drugome slučaju u nazivniku ukupni obujam smjese, bez obzira je li pri miješanju došlo do promjene obujma. Dakle, ako se otopine pripremaju dodatkom otopljenih tvari i dopunjavanjem otopala u odmjernoj tikvici do oznake, tada se radi o koncentracijama, a ako se obujmovi pojedinačno odmjerauju za svaki sastojak posebno, tada se radi o udjelima ili omjerima.

* Danas postoji težnja da se što više izbace tuđice iz hrvatskog jezika, pa tako i supskript i superskript. Autori drže da u znanstvenom jeziku treba rabiti i tuđicu i hrvatski naziv pa je tako u ovom tekstu i učinjeno. Upravo primjeri lijevi ili desni supskript ili superskript pokazuju da je ponekad teško naći pravu hrvatsku riječ kao zamjenu za tuđicu, jer desni gornji (ili donji) indeks, nisu prava zamjena budući da predstavljaju tri riječi umjesto jedne, a ponovno uključuju riječ indeks koja je tuđica. Moglo bi se možda rabiti natpisak ili potpisak (14) ili pak nadindeks i podindeks (18) no pitanje je da li bi i to bilo prihvatljivo. Pobliza oznaka lijevi ili desni, gornji ili donji je obvezna jer su u kemiji i fizici strogo propisana pravila za pisanje indeksa. S druge strane tuđice, posebno one izvedene iz latinskog, ne bi smjele smetati u hrvatskom jeziku zbog povijesnih razloga (do 1848. godine latinski je bio službeni jezik u Hrvatskoj) i činjenice da latinski nije jezik nekog danas postojećeg naroda pa se ne treba bojati potuđivanja hrvatskog jezika.

Tablica 4. Neke opće fizikalne konstante (1)
Table 4. Some fundamental physical constants (1)

| Fizikalna konstanta Physical constant | Znak Symbol | Vrijednost Value |
|--|----------------|---|
| brzina svjetlosti u praznini (vakuumu) speed of light in vacuum | c_0 | $299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$ |
| propustljivost praznine permeability of vacuum | μ_0 | $4\pi \cdot 10^{-7}\text{ H m}^{-1}$ |
| permitivnost praznine permittivity of vacuum | ϵ_0 | $8,854\,187\,816 \cdot 10^{-12}\text{ F m}^{-1}$ |
| temeljni (elementarni) naboj elementary charge | e | $1,602\,177\,33(49) \cdot 10^{-19}\text{ C}$ |
| masa elektrona u mirovanju electron rest mass | m_e | $9,109\,389\,7(54) \cdot 10^{-31}\text{ kg}$ |
| masa protona u mirovanju proton rest mass | m_p | $1,672\,623\,1(10) \cdot 10^{-27}\text{ kg}$ |
| masa neutrona u mirovanju neutron rest mass | m_n | $1,674\,928\,6(10) \cdot 10^{-27}\text{ kg}$ |
| atomska masena konstanta atomic mass constant | m_u | $1,660\,540\,2(10) \cdot 10^{-27}\text{ kg}$ |
| Planckova konstanta Planck constant | h | $6,626\,075\,5(40) \cdot 10^{-34}\text{ J s}$ |
| Avogadrova konstanta Avogadro constant | L, N_A | $6,022\,136\,7(36) \cdot 10^{23}\text{ mol}^{-1}$ |
| Boltzmannova konstanta Boltzmann constant | k | $1,380\,658\,(12) \cdot 10^{-23}\text{ J K}^{-1}$ |
| Faradayeva konstanta Faraday constant | F | $9,648\,530\,9(29) \cdot 10^4\text{ C mol}^{-1}$ |
| Rydbergova konstanta Rydberg constant | R_∞ | $1,097\,373\,153\,4(13) \cdot 10^7\text{ m}^{-1}$ |
| plinska konstanta gas constant | R | $8,314\,510(70)\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$ |
| molarni obujam idealnog plina pri $p = 1\text{ bar}$ i $t = 0\text{ }^\circ\text{C}$ molar volume of ideal gas, $p = 1\text{ bar}$, $t = 0\text{ }^\circ\text{C}$ | V_m^\ominus | $22,711\,08(19)\text{ L mol}^{-1}$ |
| normirano ubrzanje pri slobodnom padu na Zemlji standard acceleration of free fall on the Earth | g_n | $9,806\,65\text{ m s}^{-2}$ |

Tablica 5. SI-predmeći (prefiksi)
Table 5. SI prefixes

| Predmetak (hrvatski) | Prefix (English) | Znak Symbol | Vrijednost Value |
|-------------------------|---------------------|----------------|---------------------|
| eksa | exa | E | 10^{18} |
| peta | peta | P | 10^{15} |
| tera | tera | T | 10^{12} |
| giga | giga | G | 10^9 |
| mega | mega | M | 10^6 |
| kilo | kilo | k | 10^3 |
| hekto | hecto | h | 10^2 |
| deka | deca | da | 10^1 |
| deci | deci | d | 10^{-1} |
| centi | centi | c | 10^{-2} |
| mili | mili | m | 10^{-3} |
| mikro | micro | μ | 10^{-6} |
| nano | nano | n | 10^{-9} |
| piko | pico | p | 10^{-12} |
| femto | femto | f | 10^{-15} |
| ato | atto | a | 10^{-18} |

Nadalje, za udjele i omjere ne preporučuju se oznake w/w, v/v i slično, jer se svaki sastav može izraziti nekim

udjelom ili omjerom, koji su točno definirani i imaju svoje znakove. Oznaka w/w (engl. weight/weight = težina/težina) ne preporučuje se, unatoč čestoj uporabi u anglosaksonskoj literaturi, jer su težina i masa dvije različite veličine, što je već rečeno. Oznaka v/v (engl. volume/volume = obujam/obujam) također je netočna jer je znak za obujam V . Za takva iskazivanja postoje veličine (omjeri) kojima se označavaju sastavi smjesa (vidi tablicu 8) pa je takvo označavanje nepotrebno. Najgora moguća kombinacija takvoga označavanja jest v/w (engl. volume/weight = obujam/težina), i to obično u postocima, jer iskazivati obujamne postotke od težine (točnije mase) nema nikakva smisla. Još jedna bitna pogreška pri označavanju npr. obujamnog omjera sa v/v jest to što za tako označeni omjer, tj. za tu fizikalnu veličinu nema znaka. Prema tome, označavanje npr. obujamnog omjera etanola i vode od 30 % može se pisati na jedan od ovih načina:

$$\psi(\text{etanola}, \text{voda}) = 0,30 \text{ ili } 30\%$$

$$\psi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}, \text{H}_2\text{O}) = 0,30 \text{ ili } 30\%$$

$$V(\text{etanola}) : V(\text{voda}) = 0,30 \text{ ili } 30\%$$

$$V(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) : V(\text{H}_2\text{O}) = 0,30 \text{ ili } 30\%$$

$$V(\text{etanola}) : V(\text{voda}) = 30 : 100 \text{ ili } 3 : 10 \text{ ili } 0,3 : 1 \text{ itd.}$$

Tablica 6. Matematički znakovi koji zamjenjuju neke decimalne faktore pri iskazivanju omjera, udjela, iskorištenja i dr.

Table 6. Mathematical symbols denoting some decimal factors in expressing ratios, fractions, yields etc.

| Decimalni faktor Decimal factor | Znak Symbol | Značenje Meaning (USA Engl.) | Značenje* Meaning** (UK Engl.) |
|------------------------------------|----------------|--|-----------------------------------|
| 10^{-2} | % | dio na stotinu (postotak) part per hundred (percentage) | |
| 10^{-3} | ‰ | dio na tisuću (promil) part per thousand (promil) | |
| 10^{-6} | ppm | dio na milijun part per million | |
| 10^{-9} | ppb | dio na milijardu part per billion | billion = 10^{12} |
| 10^{-12} | ppt | dio na bilijardu part per trillion | trillion = 10^{18} |
| 10^{-15} | ppq | dio na trilijardu part per quadrillion | quadrillion = 10^{24} |

*Trebapaziti na razlike u značenju između engleskih naziva za billion, trillion i quadrillion u SAD i UK, kao i između hrvatskih naziva. Navedeni su znakovi međunarodni i potječu iz engleskog u SAD.

**Beware of the difference between meanings for billion, trillion and quadrillion in USA and UK English as well as in Croatian. The symbols in the Table are international and are formed according to the USA English.

Tablica 7. Fizikalne veličine i jedinice u općoj kemiji

Table 7. Physical quantities and units in general chemistry

| Fizikalna veličina Physical quantity | Znak Symbol | Definicija* Definition** | Jedinica Unit |
|--|-----------------|--------------------------------|----------------------------------|
| brojnost (broj jedinki) number of entities | N | | 1 |
| masa atoma (molekule, formulske jedinice) atomic mass (molecular mass, formula unit mass) | m_a (m_t) | | kg |
| atomska masena konstanta atomic mass constant | m_u | $m_u = m(^{12}\text{C})/12$ | kg |
| relativna atomska masa relative atomic mass | A_r | $A_{rB} = m_{a,B}/m_u$ | 1 |
| relativna molekulska masa (relativna molekularna masa) relative molecular mass | M_r | $M_{rB} = m_{r,B}/m_u$ | 1 |
| molarna masa molar mass | M | $M_B = m_B/n_B$ | kg mol ⁻¹ |
| molarni obujam plina molar volume of gas | V_m | $V_{m,B} = V/n_B$ | m ³ mol ⁻¹ |
| stehiometrijski broj stoichiometric number | ν | | 1 |
| stupanj disocijacije degree of dissociation | α | | 1 |
| iskorištenje (reakcije) yield of reaction | η | | 1 |
| doseg (reakcije) extent of reaction | ξ | $\Delta\xi = \Delta n_B/\nu_B$ | mol |

*Desni donji indeks B označuje da se definicije odnose na jedinku B

**Right subscript B denotes that the definitions refer to entity B

Argument da su oznake w/w, v/v ili v/w uobičajene u anglosaksonskoj literaturi (radu ili udžbeniku) ili u nekom znanstvenom ili stručnom području nije pravi argument, jer bi, uz takve argumente, međunarodne organizacije kao što su ISO, IUPAC i IUPAP te ostale trebalo ukinuti.

Treba se osvrnuti i na jedinicu množinske koncentracije kojoj je znak c. Jedinica SI je mol/m³, ali se najčešće rabi dekadna jedinica mol/dm³, a kako za dm³ ima i poseban naziv litra i znak L (1 dm³ = 1 L), često se rabi jedinica mol/L. Nekad je i ta jedinica imala svoj poseban naziv

Tablica 8. Fizikalne veličine i jedinice za izražavanje sastava homogenih smjesa
 Table 8. Physical quantity and units for expressing the composition of the homogeneous mixtures

| Fizikalna veličina Physical quantity | Znak Symbol | Definicija* Definition** | Jedinica Unit |
|--|----------------|------------------------------|----------------------|
| <i>Omjeri</i> <i>Ratios</i> | | | |
| maseni omjer mass ratio | ζ | $\zeta_{B,A} = m_B/m_A$ | 1 |
| obujamni omjer (volumenski omjer) volume ratio | ψ | $\psi_{B,A} = V_B/V_A$ | 1 |
| množinski omjer amount of substance ratio | r | $r_{B,A} = n_B/n_A$ | 1 |
| brojnosni omjer ^a number ratio ^b | R | $R_{B,A} = N_B/N_A$ | 1 |
| <i>Udjeli</i> <i>Fractions</i> | | | |
| maseni udjel mass fraction | w | $w_B = m_B/\Sigma m_i$ | 1 |
| obujamni udjel (volumenski udjel) volume fraction | φ | $\varphi_B = V_B/\Sigma V_i$ | 1 |
| množinski udjel amount of substance fraction | x | $x_B = n_B/\Sigma n_i$ | 1 |
| brojnosni udjel ^a number fraction ^b | X | $X_B = N_B/\Sigma N_i$ | 1 |
| <i>Koncentracije</i> <i>Concentrations</i> | | | |
| masena koncentracija mass concentration | γ | $\gamma_B = m_B/V$ | kg m ⁻³ |
| obujamna koncentracija (volumenska koncentracija) volume concentration | σ | $\sigma_B = V_B/V$ | 1 |
| množinska koncentracija amount of substance concentration | c | $c_B = n_B/V$ | mol m ⁻³ |
| brojnosna koncentracija number concentration | C | $C_B = N_B/V$ | m ⁻³ |
| molalnost molality | b | $b_B = n_B/m_A$ | mol kg ⁻¹ |

*Desni donji indeks A odnosi se na otapalo, a B na otopljenu tvar.

**Right subscript A denotes solvent and B dissolved substance.

^aPrijedlog autora analogno množinskoj (c) i brojnosnoj (C) koncentraciji, iako je $x = X$.

^bAuthors' proposition according to the analogy for amount (c) and number (C) concentration, although $x = X$.

molaritet, i znak M. Autori ovog prikaza predlažu da se i ta jedinica rabi kao dopuštena jedinica izvan SI posebnog naziva i znaka, iako to IUPAC ne preporučuje. Razlog je za takav prijedlog praktičnost, jer time jedan grafički znak, M, zamjenjuje najmanje četiri (mol/L) ili više njih (mol/dm³). Ta se praktičnost posebno očituje pri iskazivanju konstanti ravnoteže, gdje je npr. kadšto jedinica mol⁶/dm¹⁸ ili (mol/L)⁶, što bi se usvajanjem molariteta kao dopuštene jedinice izvan SI s posebnim nazivom i znakom, jednostavno pisalo M⁶ ili μM^6 i sl. Neki časopisi dopuštaju i rabe jedinicu M, μM , nM i dr. pa bi o tome trebala međunarodna suglasnost, a ovaj prijedlog neka bude poticaj za razmišljanje.

Još jedan primjer, posebno čest u biokemijskim radovima, zaslužuje pozornost, a to je iskazivanje sastava pu-

fernih smjesa. Napisati npr. da je koncentracija acetatnog pufera 0,5 mol/L ne znači ništa, odnosno znači ako se pretpostavi da je koncentracija octene kiseline i njezine soli ekvimolarna, što ne mora biti. Acetatni pufer, a i svaki drugi pufer, po definiciji može djelovati kao pufer u svim omjerima koncentracija kiseline i soli od 10 do 90 % i obratno, da se ne spominju puferi koji imaju tri i više sastojaka. Prema tome, kad se iskazuje sastav puferne smjese, moraju se navesti koncentracije svakog sastojka pojedinačno, inače podatak za ponavljanje pokusa nije jednosmi-slen. Ako su sastojci u ekvimolarnim omjerima, onda se to mora jasno navesti.

Kiselost otopine (koncentracija vodikova iona, hidrona)* izražava se i kao pH (od franc. puissance d'hydrogène).

* Primjedba: Naziv hidron je preporučeni naziv za vodikov ion u prirodnoj izotopnoj smjesi. Ako treba razlikovati izotope, tada je ion protija (procija) proton, ion deuterija deutron, a ion tritija (tricija) triton. Dakle, prema novijoj preporuci proton je naziv za kation protija ${}^1_1\text{H}$ (19)

Jednakost $\text{pH} = -\{\lg [c_{\text{H}^+} \cdot \gamma_{\text{H}^+}/(\text{mol L}^{-1})] \pm 0,02\}$, gdje je c množinska koncentracija hidrona, a γ^* njegov koeficijent aktiviteta tipičnog elektrolita 1:1 i vrijedi u području

$$2 < \text{pH} < 12 \quad /9/$$

za vodene otopine u kojima je $c_{\text{H}^+} < 0,1 \text{ mol/L}$. Za točnu definiciju pH treba pogledati u literaturu (4,5). U radovima, pa i u udžbenicima, posebno iz područja biokemije, često se susreće označavanje pH 7 ili pH 8,5; dok će se u istom radu ili udžbeniku naći da je $\text{pH} < 6$ ili da je $\text{pH} > 8$. To je također nedosljedno jer $<$ i $>$ su operatori uspoređivanja jednako vrijedni kao i operator $=$. Prema tome, izostavljati operator $=$ pod izlikom da tako piše u nekom udžbeniku također je nedosljedno i neispravno. Dakle, valja pisati i rabiti sve operatore uspoređivanja, npr. $\text{pH} = 7,5$; $\text{pH} > 4,8$; $\text{pH} \leq 9$ i sl.

Tablično i grafičko prikazivanje fizikalnih veličina

Iz jednadžbi /1/ i /2/ slijedi važan općeniti zaključak i preporuka kako treba iskazivati i prikazivati fizikalne veličine. Svaka je fizikalna veličina jednaka umnošku (brojčane) vrijednosti i jedinice:

fizikalna veličina = (brojčana) vrijednost · jedinica /10/ ili

fizikalna veličina/jedinica = (brojčana) vrijednost. /11/

Ove se jednadžbe najčešće pišu znakovima fizikalnih veličina i jedinica. Prema tome, za svaki tablični i grafički prikaz fizikalnih veličina moraju vrijediti uobičajena algebarska pravila. Ta se pravila rijetko poštuju u rukopisima članaka, a nažalost i u nekim časopisima i knjigama. Ne-poštivanje tih pravila često je uzrok dvosmislenih tumačenja objavljenih eksperimentalnih rezultata, što će najbolje pokazati slijedeći primjeri.

Često se u tablicama ili grafičkim prikazima nalaze opisi kao npr. l [m]. Takav opis znači da je l [m] = 5,2 odnosno da je $l = 5,2$ [m], što je neispravno. Netko će ovom tumačenju prigovoriti da se iz takva opisa pretpostavlja da je $l = 5,2$ m. No pri mjerenju i iskazivanju mjernih rezultata ne smije biti pogrešnih pretpostavki, jer se s pogrešnim pretpostavkama može doći i do pogrešnih zaključaka. Dakle, prikazi moraju biti nedvosmisleni, a oni će to biti poštuju li se jednostavna algebarska pravila. Pomutnju u razumijevanju može napraviti i ovakav opis tablica ili grafičkih prikaza:

$$l \cdot 10^3/\text{m} = 2,3... \quad /12/$$

Jedni mogu shvatiti da sve brojčane vrijednosti u tablici (ili grafičkom prikazu) treba pomnožiti s 10^3 , a drugi će, dosljedno algebarskim pravilima, to shvatiti kao:

$$l = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad /13/$$

što je ispravno i nedvosmisleno tumačenje u skladu s algebarskim pravilima.

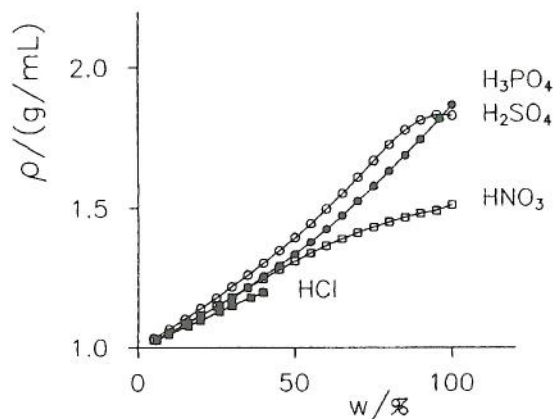
Uz ovaj primjer treba preporučiti uporabu predmeta-ka gdje god je to moguće. Tako je npr. gornji podatak, budući da predmetak m odgovara vrijednosti od 10^{-3} , bolje napisati ovako:

$$l = 2,3 \text{ mm} \quad /14/$$

jer se 4 grafička znaka zamjenjuju jednim, a iskazivanje je preglednije.

Primjeri preporučenog i nedvosmislenog načina prikazivanja rezultata mjerenja u tablicama i grafičkim prikazima dani su u tablici 9 i na slici 1.

Opis uz sliku daje se u rukopisu na posebnoj stranici papira kako je navedeno u primjeru iskaza podataka preuzetih iz literature (20).



Slika 1. Ovisnost gustoće vodenih otopina kiselina o masenom udjelu kiseline

Fig. 1. Dependence of densities of different acid aqueous solutions vs. mass fraction of the acid

Veličinske jednadžbe

Svaka jednadžba s fizikalnim veličinama naziva se veličinska jednadžba. Veličinske jednadžbe neki autori (5,7) dijele u podskupine, no autori ovog prikaza to drže nepotrebnim, jer svaka jednadžba jest jednadžba bez obzira je li izražena znakovima varijabli ili su umjesto njih (brojčane) vrijednosti. Pri računanju s veličinskim jednadžbama važno je držati se preporuke iz jednadžbi /1/ i /2/, a to je da se svaka fizikalna veličina mora iskazati umnoškom vrijednosti i jedinice (ili razlomkom, u skladu s algebarskim pravilima) te da se desnim donjim indeksom (superskriptom) ili opisom u zagradama navedu opširniji podaci o toj veličini.

* Znak za koeficijent aktiviteta vrste B rabi se za veličinu definiranu $\gamma_B = (\lambda_B/c_B) / (\lambda_B/c_B)_\infty$ dok se znak γ_B za koeficijent aktiviteta rabi za veličinu definiranu $\gamma_B = (\lambda_B/b_B) / (\lambda_B/b_B)_\infty$ oba pri konstantnom p i T.

Tablica 9. Primjeri ispravnog i neispravnog tabličnog iskazivanja fizikalnih veličina

Table 9. Examples of correct and incorrect table presentation of physical quantities

| Ispravno Correct | | Neispravno Incorrect | |
|----------------------------|--|---------------------------------------|--|
| $c/(\mu\text{mol L}^{-1})$ | A^* | $c \cdot 10^{-6} [\text{mol L}^{-1}]$ | A^* |
| 1,23 | 0,205 | 1,23 | 0,205 |
| 2,52 | 0,415 | 2,52 | 0,415 |
| 5,10 | 0,838 | 5,10 | 0,838 |
| $-E/\text{mV}$ | $I/\mu\text{A}$ | $E [\text{mV}]$ | $i [\mu\text{A}]$ |
| 234 | 1,46 | - 234 | 1,45 |
| 258 | 2,67 | - 258 | 2,67 |
| 272 | 3,67 | - 272 | 3,67 |
| $w(\text{HCl})/\%$ | $\rho(\text{HCl sln})$ g cm^{-3} | $w(\text{HCl}) \%$ | $\rho(\text{HCl sln})$ g cm^{-3} |
| 10 | 1,0474 | 10 | 1,0474 |
| 20 | 1,0980 | 20 | 1,0980 |
| 30 | 1,1493 | 30 | 1,1493 |

*Apsorbancija

*Absorbance

Iako novi pristup računanju u kemiji (21) nije predmet ovog rada, na jednom primjeru prikazat će se primjena veličinskih jednadžbi u kemijskom računanju.

Zadatak:

Izračunajte obujam otopine HCl masenog udjela $w(\text{HCl}) = 30 \%$ i gustoće $\rho(30 \%$ -tna HCl) koji je potreban za pripremu 250 mL 0,5 mol/L otopine HCl.

Rješenje:

Iz tablica: $M(\text{HCl}) = 36,461 \text{ g/mol}$

Prema definiciji:

$$c(\text{HCl}) = n(\text{HCl})/V(\text{otop. HCl})$$

pa slijedi da je

$$n(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{otop. HCl}). \quad /15/$$

Kako je

$$n(\text{HCl}) = m(\text{HCl})/M(\text{HCl}), \quad /16/$$

to se uvrštenjem jednadžbe /15/ u /16/ dobiva:

$$m(\text{HCl})/M(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{otop. HCl})$$

Maseni udjel, w , definiran je kao:

$$w(\text{HCl}) = m(\text{HCl})/m(30 \%$$
-tna HCl),

a gustoća je:

$$\rho(30 \%$$
-tna HCl) = $m(30 \%$ -tna HCl)/ $V(30 \%$ -tna HCl)

pa se nakon zamjena može dobiti konačni izraz:

$$V(30 \%$$
-tna HCl) = $(c(\text{HCl}) \cdot V(\text{otop. HCl}) M(\text{HCl})) /$
 $/ (\rho(30 \%$ -tna HCl) $w(\text{HCl})) \quad /17/$

Zamjenom fizikalne veličine umnoškom brojčane vrijednosti i jedinice dobiva se:

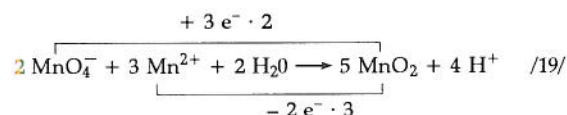
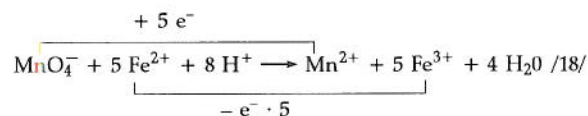
$$V(30 \%$$
-tna HCl) = $(0,5 \text{ mol/L} \cdot 0,25 \text{ L} \cdot 36,461 \text{ g/mol}) /$
 $/ (30 \cdot 10^{-2} \cdot 1,1493 \text{ g/mL})$ odnosno

$$V(30 \%$$
-tna HCl) = 13,29 mL.

Dakle, odmjeri li se u odmjernu tikvicu od 250 mL, u kojoj ima već nešto vode (jer se ne smije dodavati voda u koncentriranu kiselinu), obujam od 13,29 mL 30 %-tne otopine HCl i dopuni li se tikvica do oznake vodom, dobivena će otopina biti 0,5 mol/L s obzirom na HCl. Taj se proračun može načiniti postupno ili izračunavanjem s pomoću izvedena konačnog izraza. U oba se slučaja umjesto fizikalne veličine uvrštavaju umnošci njihovih vrijednosti i jedinica te se dobivaju međurezultati ili konačni rezultat. Jedinice ujedno služe za provjeru ispravnosti proračuna, jer i za njih vrijede algebarska pravila, pa konačna jedinica mora odgovarati očekivanoj za određenu fizikalnu veličinu.

Valja spomenuti i kvantitativna računanja vezana uz kemijske reakcije iskazane jednadžbama. Jedinica kao npr. g/mol zastarjela je i nije dopuštena s obzirom na osnovnu jedinicu SI množine mol. Ranije su se rabili val (gram-ekvivalent ili g-ekv), i to vrlo nedosljedno pa dijelom i netočno. Tako npr. u udžbenicima (22-24) pod poglavljima o ekvivalentnoj težini u nekim se zadacima traži ekvivalentna težina određenog spoja, a ne spominje se reakcija u kojoj taj spoj sudjeluje. Isto vrijedi za zadatke pretvaranja mola u val, što je nemoguće ako se ne zna jednadžba kemijske reakcije. Očito je da autor podrazumijeva određenu reakciju, no podrazumijevanja u egzaktnim znanostima ne smije biti. Na slijedećim primjerima bit će opisane razlike starijeg i novijeg načina kemijskog (stehiometrijskog) računanja, a i moguće pogreške do kojih, pritom, može doći.

Primjer koji je često pogrešan jest pitanje kolika je ekvivalentna težina (točnije spojna masa) kalij-permanganata. Takvih pitanja ima u starijim udžbenicima (22-24). Pitanje je nepotpuno ako nije navedena kemijska reakcija redukcije permanganat-iona, a ona može ići u kiselom uz 5 elektrona i u neutralnom ili lužnatom mediju uz 3 elektrona:



Prema tome, napisati na bocu ili tikvicu da je otopina kalij-permanganata $n(\text{KMnO}_4)/5$ ili da je 0,1 N (što je bio uobičajeni stariji način pisanja) vrlo je nespretno, jer to vrijedi samo za reakciju /18/, a za reakciju /19/ to nije točno. Ako se ustrajava na ekvivalentnim jedinkama, onda je najispravnije napisati $c(1/5 \text{ KMnO}_4) = 0,1 \text{ mol/L}$.

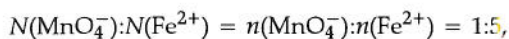
Tablica 10. Znakovi agregatnih stanja
Table 10. Symbols of aggregation states

| Stanje State | Znak Symbol |
|---|----------------|
| plin ili para gas or vapour | g |
| tekućina* liquid** | l |
| krutina solid | s |
| kondenzirana faza (krutina ili tekućina) condensed phase (solid or liquid) | cd |
| tekuća faza (plin ili tekućina) fluid phase (gas or liquid) | fl |
| kristal crystalline | cr |
| tekući kristal liquid crystal | lc |
| staklasta tvar vitreous substance | vit |
| adsorbirano na supstratu species adsorbed on a substrate | a, ads |
| monomer monomeric form | mon |
| polimer polymeric form | pol |
| otopina solution | sln |
| vodena otopina aqueous solution | aq |
| vodena otopina pri neizmjernom razrjeđenju aqueous solution at infinity dilution | aq, ∞ |
| amorfna krutina amorphous solid | am |

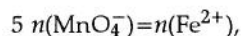
*O uporabi i razlikovanju naziva tekućina i kapljevine raspraviti će se u slijedećem dijelu ovog prikaza.

**On differentiating between liquids and fluids it will be discussed in the next part of this review.

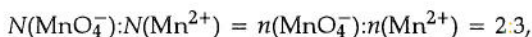
Stehiometrijski faktori (koeficijenti) u jednadžbama nedvosmisleno govore o ekvivalenciji množina za reakciju /18/:



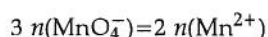
odakle slijedi da je



dok je za reakciju /19/:

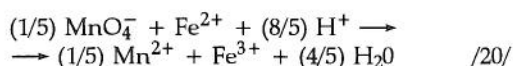


odakle slijedi da je



i time je sve jednoznačno riješeno.

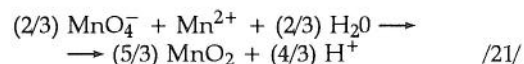
Prema starijem bi načinu računanja jednadžbu /18/ trebalo napisati ovako:



Tablica 11. Preporučeni desni donji indeksi (supskripti) i desni gornji indeksi (superskripti) znakova fizikalnih veličina
Table 11. Recommended right subscripts and superscripts of physical quantity symbols

| Značenje Meaning | Znak Symbol |
|---|----------------|
| <i>Desni donji indeks (supskripti)</i> <i>Right subscripts</i> | |
| isparavanje (tekućina → plin) vaporization (liquid → gas) | vap |
| sublimacija (krutina → plin) sublimation (solid → gas) | sub |
| taljenje (krutina → tekućina) fusion (melting) (solid → liquid) | fus |
| prijelaz (između dviju faza) transition (between two phases) | trs |
| miješanje tekućina mixing of fluids | mix |
| otapanje (otopljene tvari u otapalu) solution (of solute in solvent) | sol |
| razrjeđivanje (otopine) dilution (of solution) | dil |
| adsorpcija adsorption | ads |
| reakcija (općenito) reaction in general | r |
| atomizacija atomization | at |
| reakcija izgaranja combustion reaction | c |
| reakcija nastajanja formation reaction | f |
| <i>Desni gornji indeksi (superskripti)</i> <i>Right superscripts</i> | |
| normirano (standardno) standard | Θ, o |
| čista tvar pure substance | * |
| idealno ideal | id |
| aktivirani kompleks, prijelazno stanje activated complex, transition state | ‡ |
| prekomjerna veličina excess quantity | E |

a drugu bi reakciju trebalo pisati:



U ovom su slučaju $(1/5) \text{MnO}_4^-$, $(2/3) \text{MnO}_4^-$ i ostale vrste sa cjelobrojnim ili necjelobrojnim stehiometrijskim faktorima ekvivalentne jedinice. »Prednost« je takva načina računanja bila u tome što ekvivalentne jedinice reagiraju uvijek u stehiometrijskom omjeru 1:1, a nedostatak je bio da su vrlo često ekvivalentne jedinice bile nedefinirane i da je istoj veličini izmišljena »jedinica« val (ili gram-ekvivalent) koja ne može biti jedinica jer ovisi o kemijskoj jednadžbi i stehiometrijskim faktorima. U doba kada još nije bilo računala, to je još i imalo smisla, no danas omjeri 1:1 ili 2:3 ili, pak, koji drugi omjer stehiometrijskih faktora u jednadžbama

kemijskih reakcija nije nikakav problem izračunati pa je stehiometrijsko računanje s valom nedopušteno. Pri računanju s brojnostima ili s množinama jedino je obvezno iskazivanje jedinice, npr. $n(\text{O}_2)$ ili $n(\text{KMnO}_4)$, a dopuštene su i ekvivalentne jedinice, npr. $n(1/2 \text{O}_2)$ ili $n(1/5 \text{KMnO}_4)$.

Ponekad je u kemijskim reakcijama potrebno opisati agregatno stanje. Oznake agregatnih stanja pišu se u okruglim zagradama iza znaka (simbola) molekule ili formulae jedinice. Oznake što ih preporučuje IUPAC (4) navedene su u tablici 10.

Tablica 12. Grčki alfabet

Table 12. Greek alphabet

| Imena slova Letter names | | | |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| (engleski) (English) | (hrvatski) (Croatian) | veliko slovo capital letter | malo slovo small letter |
| alpha | alfa | A | α |
| beta | beta | B | β |
| gamma | gama | Γ | γ |
| delta | delta | Δ | δ |
| epsilon | epsilon | E | ϵ |
| zeta | zeta | Z | ζ |
| eta | eta | H | η |
| theta | teta | Θ | θ, ϑ |
| iota | jota | I | ι |
| kappa | kapa | K | κ |
| lambda | lambda | Λ | λ |
| mu | mi | M | μ |
| nu | ni | N | ν |
| xi | ksi | Ξ | ξ |
| omicron | omikron | O | o |
| pi | pi | Π | π |
| rho | ro | P | ρ |
| sigma | sigma | Σ | σ |
| tau | tau | T | τ |
| upsilon | ipsilon | Y | υ |
| phi | fi | Φ | ϕ, φ |
| chi | hi | X | χ |
| psi | psi | Ψ | ψ |
| omega | omega | Ω | ω |

Dodatne oznake fizikalnih veličina koje se pišu kao desni donji indeksi ili desni gornji indeksi navedene su u tablici 11. Radi lakšeg praćenja znakova s grčkim slovima u tablici 12 naveden je grčki alfabet, a u tablici 13 navedene su preporuke za neke važnije matematičke znakove.

Iako se u kemijskom i biokemijskom inženjerstvu i tehnologijama rabe ovdje spomenute fizikalne veličine, jedinice i preporučeni načini njihova iskazivanja, ipak ta područja imaju određenih specifičnosti. Definicije nekih pojmova, tablice najčešćih fizikalnih veličina i jedinica, preporučeni načini njihova iskazivanja u tim područjima, te primjeri nekih najčešćih pogrešaka bit će opisani u slijedećem radu.

Zahvala: Autori zahvaljuju M. Brezinščaku, N. Kallayu, Vl. Simeonu i J. Živkoviću na iscrpnim primjedbama i jezičnim savjetima.

Tablica 13. Preporučeni matematički znakovi (4,5)

Table 13. Recommended mathematical symbols (4,5)

| Znak ¹ Symbol ² | Značenje Meaning |
|--|--|
| = | jednako equal to |
| ≠ | nejednako not equal to |
| ≡ | potpuno jednako identically equal to |
| ≇ | potpuno nejednako identically not equal to |
| def | jednako po definiciji equal by definition to |
| △ | odgovara corresponds to |
| ≈ | približno jednako approximately equal to |
| ≍ | asimptotski jednako asymptotically equal to |
| ∝, ~ | proporcionalno proportional to |
| → | teži k end to, approaches |
| ∞ | beskonačno infinity |
| < | manje od less than |
| > | veće od greater than |
| ≤ | manje ili jednako less or equal to |
| ≥ | veće ili jednako greater or equal to |
| « | mного manje od much less than |
| » | mного veće od much greater than |
| + | plus plus |
| - | minus minus |
| ± | plus ili minus plus or minus |
| $ab, a \cdot b, a \times b$ | a pomnoženo s b a multiplied by b |
| $\frac{a}{b}, a/b, ab^{-1}$ | a podijeljeno s b a divided by b |
| $ a $ | apsolutna vrijednost, iznos od a magnitude of a |
| a^n | a na n -tu potenciju a to the power of n |
| $a^{1/2}, a^{\frac{1}{2}}, \sqrt{a}$ | kvadratni korijen od a square root of a |
| $a^{1/n}, a^{\frac{1}{n}}, \sqrt[n]{a}$ | n -ti korijen od a n -th root of a |

Tablica 13. (nastavak)

Table 13. (continued)

| Znak ¹ Symbol ² | Značenje Meaning | Znak ¹ Symbol ² | Značenje Meaning |
|---|---|--|---|
| $\langle a \rangle, \bar{a}$ | srednja vrijednost od a mean value of a | $\operatorname{arccot} x, \operatorname{arctg} x$ | arkus kotangens od x inverse cotangent of x |
| $p!$ | p faktoriijela p factorial | $\operatorname{arcsec} x$ | arkus sekans od x inverse secant of x |
| $\binom{n}{p}$ | binomni koeficijent = $n!/p!(n-p)!$ binomial coefficient = $n!/p!(n-p)!$ | $\operatorname{arccosec} x$ | arkus kosekans od x inverse cosecant of x |
| e | baza prirodnih logaritama base of the natural logarithms | $\sinh x$ | hiperbolni sinus od x hyperbolic sine of x |
| $\ln x$ | prirodni logaritam od x natural logarithm of x | $\cosh x$ | hiperbolni kosinus od x hyperbolic cosine of x |
| $\exp x, e^x$ | e na x -tu potenciju exponential of x | $\tanh x, \operatorname{tgh} x$ | hiperbolni tangens od x hyperbolic tangent of x |
| $\lg x, \log_{10} x,$ $\log x$ | dekadni logaritam od x logarithm to the base 10 of x | $\operatorname{coth} x, \operatorname{ctgh} x$ | hiperbolni kotangens od x hyperbolic cotangent of x |
| 10^x | 10 na x -tu potenciju (antilogaritam od x) 10 to the power of x (inverse logarithm of x) | $\operatorname{sech} x$ | hiperbolni sekans od x hyperbolic secant of x |
| $\sum a_i, \sum_{i=1}^n a_i$ | suma od a_i sum of a_i | $\operatorname{cosech} x$ | hiperbolni kosekans od x hyperbolic cosecant of x |
| $\prod a_i, \prod_{i=1}^n a_i$ | produkt od a_i product of a_i | $\operatorname{arsinh} x$ | area hiperbolni sinus od x area hyperbolic sine of x |
| Δx | konačni prirast od x $\Delta x = x(\text{konačno}) - x(\text{početno})$ change in x $\Delta x = x(\text{final}) - x(\text{initial})$ | $\operatorname{arcosh} x$ | area hiperbolni kosinus od x area hyperbolic cosine of x |
| δx | varijacija od x infinitesimal change of x | $\operatorname{artanh} x, \operatorname{artgh} x$ | area hiperbolni tangens od x area hyperbolic tangent of x |
| dx | totalni diferencijal od x total differential of x | $\operatorname{arcoth} x$ $\operatorname{arctgh} x$ | area hiperbolni kotangens od x area hyperbolic cotangent of x |
| $f(x), f(x)$ | funkcija od x function of x | $\operatorname{arsech} x$ | area hiperbolni sekans od x area hyperbolic secant of x |
| $\lim_{x \rightarrow a} f(x)$ | limes od $f(x)$ kada x teži a limit of $f(x)$ as x tends to a | $\operatorname{arcosech} x$ | area hiperbolni kosekans od x area hyperbolic cosecant of x |
| $\sin x$ | sinus od x sine of x | i, j | imaginarna jedinica $i = \sqrt{-1}$ square root of minus one $i = \sqrt{-1}$ |
| $\cos x$ | kosinus od x cosine of x | $\operatorname{Re} z$ | realni dio od $z = a + ib$ real part of $z = a + ib$ |
| $\tan x, \operatorname{tg} x$ | tangens od x tangent of x | $\operatorname{Im} z$ | imaginarni dio od $z = a + ib$ imaginary part of $z = a + ib$ |
| $\cot x, \operatorname{ctg} x$ | kotangens od x cotangent of x | $ z $ | modul od $z = a + ib$ apsolutna vrijednost od $z = a + ib$ modulus of $z = a + ib$ absolute value of $z = a + ib$ $ z = (a^2 + b^2)^{1/2}$ |
| $\sec x$ | sekans od x secant of x | $\arg z$ | argument od $z = a + ib$ argument of $z = a + ib$ $\arg z = \arctan(b/a)$ |
| $\operatorname{cosec} x$ | kosekans od x cosecant of x | z^* | kompleksno konjugirani broj od $z = a + ib$ complex conjugate of $z = a + ib$ $z^* = a - ib$ |
| $\operatorname{arcsin} x$ | arkus sinus od x inverse sine of x | | |
| $\operatorname{arccos} x$ | arkus kosinus od x inverse cosine of x | | |
| $\operatorname{arctan} x, \operatorname{arctg} x$ | arkus tangens od x inverse tangent of x | | |

¹Matematičke operatore i matematičke konstante treba uvijek pisati uspravnim znakovima, dok znakove varijabli treba pisati kosim slovima.

²Mathematical operators and constants should be written in vertical letters while variables should be written in cursive (italic) letters.

Extended Abstract

The recommendation of symbols, names and graphical and table presentation of physical quantities and units in accordance with International System of Physical Units (Le Système International d'Unités, SI) and IUPAC are presented (4,5). Detailed definitions of the base units are given as well as many tables with derived units and units non-pertaining to the SI, but allowed to be used with SI units. All the international conventions have been stressed out and special emphasis on some distinction specific for Croatian language is also critically given. Many examples of incorrect presentation of experimental data (physical quantities and units) found in scientific papers and some books are pointed out in order to systematize and unify the presentation which should be understandable and legible not only to those familiar with the scientific field, but also to those from the many interdisciplinary close fields of interest. The authors wanted with this review to stimulate the use of the international recommendations in order to give valuable hints in preparing and writing the manuscript, but also to help the interdisciplinary interconnections and flow of information which today is the *sine qua non* of the progress in science.

Literatura

1. M. Brezinščak (Pr.): »Međunarodni definicijski mjeriteljski rječnik«, Mjeriteljsko društvo Hrvatske, Zagreb (1984) – [priredjen prema francusko-engleskom rječniku BIPM, IEC, ISO, OIML: »International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology« (1984)].
2. M. Brezinščak: natuknica »Metrologija, zakonska«, Tehnička enciklopedija, 8. svezak, Jugoslavenski leksikografski zavod »Miroslav Krleža«, Zagreb (1982) str. 496.
3. Zakon o preuzimanju Zakona o mjernim jedinicama i mjerilima, Zakon o preuzimanju Zakona o standardizaciji i Zakon o preuzimanju Zakona o kontroli predmeta od dragocjenih kovina, *Narodne novine*, 53 (1991).
4. I. Mills, T. Cvitaš, K. Homann, N. Kallay i K. Kuchitsu (Ured.): »Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry«, Blackwell Scientific Publ., Oxford (1988).
5. T. Cvitaš i N. Kallay: »Fizičke veličine i jedinice međunarodnog sustava«, Školska knjiga i Hrvatsko kemijsko društvo, Zagreb (1992).
6. N. Kallay, T. Cvitaš i M. Brezinščak, *Strojarstvo*, 27 (1985) 111.
7. M. Brezinščak: »Mjerenje i računanje u tehnici i znanosti«, Tehnička knjiga, Zagreb (1971).
8. M. Brezinščak: natuknica »Mjerna nesigurnost«, Tehnička enciklopedija, 8. svezak, Jugoslavenski leksikografski zavod »Miroslav Krleža«, Zagreb (1982), str. 604.
9. M. Brezinščak: natuknica »Temperaturna mjerenja, temeljna«, Tehnička enciklopedija, 12. svezak, Leksikografski zavod »Miroslav Krleža«, Zagreb (1992), str. 677.
10. K. Ražnjević: »Fizikalne veličine i mjerne jedinice međunarodnog sustava (SI)«, Nakladni zavod »Znanje«, Zagreb (1985).
11. Z. Jakobović: »Leksikon mjernih jedinica«, Školska knjiga, Zagreb (1981).
12. S. Babić, B. Finka i M. Moguš: »Hrvatski pravopis«, Školska knjiga, Zagreb (1971), str. 69.
13. S. Babić: »Hrvatska jezikoslovna čitanka«, Globus, Zagreb (1990), str. 51-53.
14. V. Simeon, *usmeno osobno priopćenje* (1992).
15. R.D. Freeman, *Bull. Chem. Thermodyn.* 25 (1982) 523.
16. R.D. Freeman, *J. Chem. Educ.* 29 (1984) 105.
17. R.D. Freeman, *J. Chem. Educ.* 62 (1985) 681.
18. J. Živković, *osobno priopćenje* (1993).
19. G.J. Leigh (Ured.): »IUPAC Nomenclature of Inorganic Chemistry – Recommendations«, Blackwell Sci. Publ., Oxford (1990).
20. D. Kolbah (Ured.): »Priručnik za kemičare«, SKTH – Kemija u industriji, Zagreb (1986).
21. N. Kallay i T. Cvitaš: »Novi pristup računanju u kemiji«, Školska knjiga, Zagreb (1982).
22. I. Lovreček: »Kemijsko računanje«, Tehnička knjiga, Zagreb, (1968) str. 22-31.
23. I. Lovreček: »Kemijsko računanje«, SNL, Zagreb (1978) str. 22-31.
24. Z. Dugi i I. Lovreček: »Osnove kemijskog računanja«, Školska knjiga, Zagreb (1973), str. 95-118.