

Zvonimir Jakobović, Mirko Vuković

# ZANIMLJIVOSTI IZ POVIJESTI MJERITELJSTVA



  
HRVATSKO MJERITELJSKO DRUŠTVO

Zagreb, 2016.

# Sadržaj

<b>Predgovor</b> .....	4
------------------------	---

## Tako vam je nekoć bilo

Počeci mjeriteljstva u Hrvatskoj.....	5
Nekadašnja mjerenja na tržnicama.....	7
Izmjere Sinjske alke.....	11
Pinta s gledišta mjerne jedinice (uz obljetnicu obnovljene Pinte).....	15
Iz čega se točilo i pilo u samoborskim domovima, klijetima i gostionicama.....	17
Hrvatska i <i>Konvencija o metru</i> .....	23

## Od starog do suvremenog

Od lakta do metra.....	29
Od karata do kilograma.....	33
Od jutra do hektara.....	37
Od pinte do litre.....	41
Od dana do sekunde.....	45
Od milimetra žive do paskala.....	51
Od termoskopa do kelvina.....	57
Od dina do njutna.....	63
Od erga do džula.....	67
Od konjske sile do vata.....	73
Od ciklusa do herca.....	77
Od rada do siverta.....	81
Apsolutni Gaussov sustav jedinica – jedan od ključnih koraka u razvoju međunarodnoga sustava jedinica.....	85
Giorgijev doprinos razvoju međunarodnoga sustava jedinica.....	91
Metrologija, povijesno i sadašnje značenje toga pojma.....	97
Prijestupna sekunda.....	99
Novosti iz međunarodnoga sustava jedinica.....	101

## Nazivi mjernih jedinica

Naziv mjerne jedinice <i>volt</i> .....	107
Naziv mjerne jedinice <i>om</i> .....	113
Naziv mjerne jedinice <i>amper</i> .....	117
Naziv mjerne jedinice <i>tesla</i> .....	121
Logaritamske i srodne veličine i njihove jedinice.....	125

## Povijest kalendara

Povijest zapadnog kalendara.....	133
----------------------------------	-----

# Predgovor

**K**njiga *Zanimljivosti iz povijesti mjeriteljstva* donosi niz članaka uglavnom objavljivanih u časopisu *Svijet po mjeri* od njegova prvoga broja pa do 2016. godine. Iako su članci objavljeni, htjelo se u ovoj knjizi ujediniti članke sa sličnim temama, kako je već učinjeno za neke druge članke iz ovoga časopisa.

Članci ne daju cjeloviti prikaz povijesti mjeriteljstva nego pojedine zanimljive činjenice koje se odražavaju i na suvremeno mjeriteljstvo. Ponajprije su tu nazivi i definicije pojedinih pojmova, njihovo razvijanje tijekom povijesti, a osobito od doba nastajanja nekoliko sustava mjernih jedinica u 19. i 20. stoljeću. U izdvojenim se člancima nastoji prikazati kako se postupno došlo do suvremenih naziva i definicija, ponajprije mjernih veličina i njihovih jedinica, od drevnih antičkih mjera kao ostvarenja mjernih jedinica do suvremenih nastojanja oslanjanja pramjera osnovnih mjernih jedinica na prirodne stalnice.

Svaki je članak posebna cjelina, ali njihov ulančani niz daje predodžbu o nastajanju osnova suvremenoga mjeriteljstva i svjetskoga mjernog jedinstva.

Prikazano je i svojedobno posredno, a danas ravnopravno pristupanje Hrvatske međunarodnoj *Konvenciji o metru*, koja je osnova suvremene organizacije mjeriteljstva.

Knjiga je popunjena i zanimljivim štivom izvan niza o mjernim veličinama i jedinicama kao što je nastanak kalendara, definicije nekih bročanih jedinica i dr. Tu su i prikazi kako se nekada mjerilo na tržnicama i kako se na njima održavao mjeriteljski red. Kao kulturno-povijesne zanimljivosti opisana je tradicija izmjera Sinjske alke te podrijetlo naziva i obujma posuda iz kojih se točilo i pilo, i nekad i danas.

Z. J.

# Počeci mjeriteljstva u Hrvatskoj

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ

Pri nastajanju srednjovjekovne hrvatske države mjeriteljstvo je na ovim prostorima naslijedeno od Rimskog Carstva, kao i u mnogim susjednim zemljama. Mjerilo se u nekoliko tada važnih područja: u trgovini, obrtništvu, graditeljstvu, zemljomjerstvu, a osobito pri plaćanju poreza i drugih nameta<sup>1</sup>.

Zbog osobite važnosti za red i funkcioniranje države u srednjovjekovnoj je Hrvatskoj, kao i u drugim europskim zemljama, *ius mensurerum et ponderum* (lat., pravo mjera i utega) po tadašnjim pravnim običajima pripadalo kralju, hercegu ili banu, a nakon gubitka samostalnosti, pripadalo je Hrvatskom saboru. U svim povijesnim previranjima, kroz doba u kojem su feudinci i slobodni gradovi prisvajali to pravo, Hrvatski sabor je uspijevao sve do 18. st. kao znak samosvojnosti očuvati hrvatske mjerne jedinice.

## Izvori

Iz toga razdoblja od više od tisućljeća podatci se o mjeranju, mjernim jedinicama pa i nadzoru javnoga mjerenja, nalaze sporadično u pisanim dokumentima, kao što su povelje, darovnice, popisi naselja, imanja, župa i samostana i sl. U njima se navode mjerni podatci u starim mjernim jedinicama, načini mjerenja i sl.

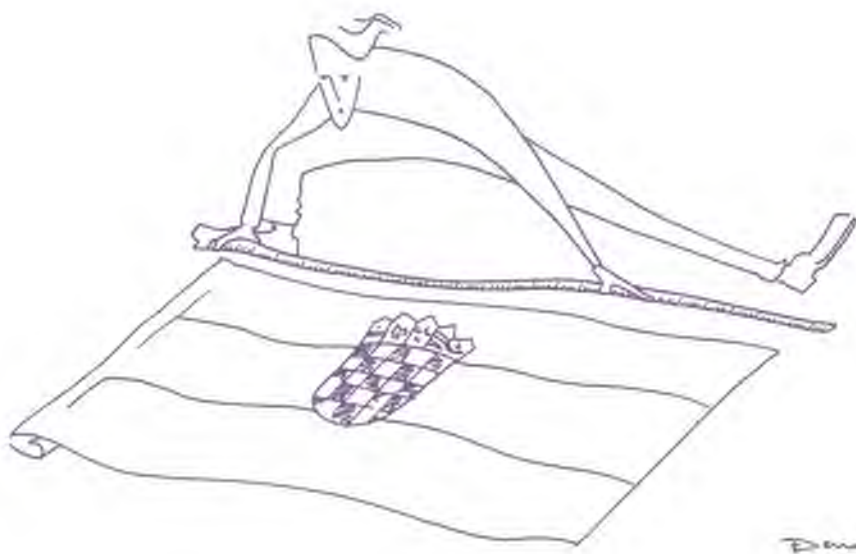
Najstariji do danas poznati zapis o nadzoru nad mjerama nalazi se u Statutu grada Korčule iz 1214. godine. U zlatnim bulama koje su u ta doba davani slobodnim kraljevskim gradovima i trgovištima, uz pravo održavanja sajмова dodijeljene su im i obveze nadzora mjerenja na tržnicama. Kazne su za neispravna mjerenja bile vrlo stroge.

U srednjovjekovnoj je Hrvatskoj, kao i u drugim europskim zemljama, »pravo mjera i utega« po tadašnjim pravnim običajima pripadalo suverenu, a nakon gubitka samostalnosti pripadalo je Hrvatskom saboru. Prikazuju se područja i načini prvotnih mjerenja, sve do uvođenja Metarskog sustava u drugoj polovici 19. st., kada započinje suvremeno hrvatsko mjeriteljstvo.



Hrvatska milja (lat. *milliaria croatica*), procijenjena na 2226 m, uz njemačku je prikazana u Glavačevu zemljovidu Hrvatske iz 1673. godine.

<sup>1</sup> Z. Jakobović, *Razvoj mjeriteljstva na tlu Hrvatske*. Glasilo DZNM, 5-6/1999.



Jedan od prvih sustavnih opisa mjerenja na hrvatskome jeziku nalazi se u Šulekovoju *Fizici* iz 1873. godine, kojom uz druge školske knjige počinje mjeriteljska literatura u Hrvatskoj.

Samosvojnost mnogih mjernih jedinica od srednjeg vijeka, pa do polovice 19. st. očituje se i u mjesnim pridjevcima mjernih jedinica: *hrvatski, zagrebački, varaždinski, lovranski, bakarski, voloski, riječki, dubrovački* i dr.

Kako nema jezika koji ne posuđuje nešto od drugih, tako su se mnogi posuđeni mjeriteljski nazivi i u hrvatskom upotrebljavali donedavno, a neki se upotrebljavaju i danas. Starije posuđene nazive mjernih jedinica čujemo još u poslovicama i izrekama, a suvremene, kao što su *ura, minuta, sekunda, milja, sat, tona* i dr. ne osjećamo kao tuđice.

Najstariji hrvatski pravni dokumenti propisuju i potrebna mjerenja. Tako, na primjer, *Poljički statut* iz 15. st. propisuje mjerenje putova, žita, kruha, vina i ulja. Pritom određuje cjelovite mjeriteljske uvjete: mjernu jedinicu, njezinu vrijednost i primjenu te kaznene odredbe za neispravna mjerenja.

Od polovice 19. st. izvori su podataka o mjeriteljstvu državnih zakoni, naredbe, propisi o mjernim jedinicama, mjerenju, ustanovljenju mjeriteljskih ureda te nadzoru nad mjerenjem u javnom prometu.

## Mjeriteljsko nazivlje

Mjeriteljsko nazivlje na hrvatskom jeziku je i u doba upotrebe latinskoga vjerojatno postojalo razgovorno, jer se pojavljuje već u prvim rječnicima hrvatskoga jezika Fausta Vrančića (1595. god.), Jurja Habdelića (1670. god.) i dr. Sustavno onodobno mjeriteljsko nazivlje na hrvatskome jeziku, naslaži se u Belostenčevu *Gazofilaciju*, nastalom sredinom 17. st.

Zanimljivo je kako je potpuno hrvatsko mjeriteljsko nazivlje upotrijebljeno već u *Cesarskoj naredbi* iz 1853. godine, kojom se proglašuje »u građanskom administrativnom okolišu kraljevinah Hrvatske i Slavonije kao mjera i vaga zakonita«, a to je samo pet godina iza kako je hrvatski jezik postao službenim!

## Mjerno jedinstvo

Ujednačavanje mjerenja na području Habsburške Monarhije, u čijem je sastavu od 1527. godine bila i Hrvatska, pokrenuto je u 18. st. ujednačavanjem mjernih jedinica i postupaka, za ono doba ponajprije u trgovini i ljekarništvu. Slijedom toga je Hrvatski sabor 1733. godine uveo i u Hrvatsku jedinstvene, tzv. *požunske mjere*. Time su dotadašnje samosvojne hrvatske mjerne jedinice<sup>2</sup>, kao što je bio *hrvatski lakat, hrvatska pinta, zagrebački polič* i mnoge druge, otišle u povijest. Carica Marija Terezija je 1777. godine izdala patent o obvezanosti ovjeravanja (»cimentiranja«) utega, vaga, duljinskih i obujamskih mjera kojima se mjeri u trgovini. Već spomenutom *Cesarskom naredbom* iz 1853. godine od slijedeće su godine na području cijele Monarhije uvedene jedinstvene, tzv. *donjoaustrijske* ili *bečke mjere*.

Konačno je, zakonskim člankom Hrvatsko-ugarskog sabora od 1. siječnja 1876. uveden *Metarski sustav*, čime je Hrvatska uključena u svjetsko mjerno jedinstvo. Time, uz razvoj školstva, počecima industrijalizacije i razmjenom informacija sa svijetom započinje suvremeno hrvatsko mjeriteljstvo i usustavljuje se hrvatsko mjeriteljsko nazivlje.

Stare »šuplje mjere«  
za mjerenje tekućina  
i sipkih tvari u  
Gračišću u Istri



<sup>2</sup> Jakobović, Zvonimir, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.

# Nekadašnja mjerenja na tržnicama

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ

Razmjena dobara i usluga, uz zemljomjerstvo i obrtništvo, a potom industriju, jedno je od najvažnijih područja primjene mjerenja. Od najranijih civilizacija pa do danas na tržnicama u najširem smislu uvijek se mjerilo. Nadzor nad mjerenjem pri razmjeni dobara i usluga ima dvije neovisne, vrlo važne namjene. Prva je održavanje nužnoga reda u odnosima prodavača i kupca jer je namjerno ili nenamjerno pogrešno mjerenje čest izvor nesuglasica. Drugo je naplata svih oblika poreza, carina, dažbina, nameta ili kako god su se tijekom povijesti nazivala razna davanja, sve do današnjih carina i poreza. Zato su sve organizirane ljudske zajednice, sve do današnjih država, regionalnih tržišta ili svjetskoga tržišta, organizirale i organiziraju nadzor nad mjerenjem. Tijekom čitave je povijesti *pravo mjera i utega* bilo, uz kovanje novca, jedno od osnovnih prava suverena. Svjedoci smo pridavanja najveće važnosti tim temama i danas u Europskoj uniji.

## Tržnice i sajmovi



Slika 1. Na Kaptolskom trgu, kolorirani bakropis 1905. (Menci Clement Crnčić)

Organizacija sajмова bila je vrlo važna djelatnost za gospodarski, društveni, prometni i drugi život naselja, prošteništa, trgovišta i gradova. Sajmove su kao posebne povlastice obično dopuštali suvereni određujući mjesta, nadnevke i trajanja sajmovi te pristojbe. Sajmovi su se održavali na trgovima, obično u doba nekih blagdan, svetkovina i drugih prigoda okupljanja ljudi. U starom Zagrebu održavala su se tri velika sajma na određene dane u godini te dva svakodnevna, tzv. *mala sajma*.

*Kraljevo*<sup>1</sup> je od davnine naziv kaptolskoga sajma koji se od osnutka Zagrebačke biskupije (oko 1094. godine) održavao dva tjedna oko blagdana sv. Stjepana, ugarskoga kralja i patrona Zagrebačke katedrale (20. kolovoza). Održavao se prvo na tzv. *Kaptolskome trgu* ispred katedrale, pa do 1830. godine na *Harmici* (prema mađ. *harmincz*: trideset jer se na tome mjestu naplaćivao kraljevski porez, tzv. *tridesetnica*),

današnjem Jelačićevu trgu, a potom na *Novome trgu*, današnjem Zrinjercu. Na tome se sajmu okupljalo i do deset tisuća ljudi.

*Markovski sajam* zagrebačkoga Gradeca dopustio je 1256. godine kralj Bela IV. Održavao se na trgu ispred crkve sv. Marka dva tjedna oko blagdana patrona (25. travnja).

*Margaretinje* je sajam koji je dopustio 1372. godine kralj Ljudevit I. Održavao se na trgu pokraj crkvice sv. Margarete (na čijem je mjestu danas pravoslavna crkva), današnji Preradovićev trg, koji Zagrepčani popularno nazivaju *Cvijetnim placom*. Održavao se tijekom dva tjedna oko 13. srpnja, a premješten je 1641. godine na Harmicu.

Na tim su sajmovima strani trgovci bili oslobođeni sajamske takse, tzv. *pijačovine*, čime ih se privlačilo da dolaze na zagrebačke sajmove, a dolazili su i iz okolnih zemalja, Italije, Austrije i Mađarske.

Suvremeni visokoorganizirani nadzor nad kvalitetom roba i usluga na tržištu, točnost i pouzdanost deklaracija na njima, primjena zakonitoga mjeriteljstva, jednako kao i suvremeni nadzor nad svim pristojbama (porezima, doprinosima, carinama, cestarinama i dr.) imaju svoju osnovu u drevnom mjeriteljskom nadzoru na tržnicama.

<sup>1</sup> Po tome je sajmu M. Krleža naslovio 1918. svoju dramu *Kraljevo*.

Svaki se dan održavao *mali trg* pred stolnom crkvom i *mali pijac* na Markovu trgu, koji je bio nešto veći ponedjeljkom i četvrtkom, kako je to određeno Belinom *Zlatnom bulom*.

## Mjerenja na tržnicama

Statuti hrvatskih srednjovjekovnih gradova, kao i drugdje po Europi, te odluke gradskih uprava propisivali su i mjeriteljske uvjete, osobito na tržnicama, u trgovinama i svagdje gdje se trgovalo, razmjenjivalo dobra i usluge, naplaćivalo pristojbe (carine, mostarine, drumarine i dr.). Najstariji poznati mjeriteljski popis<sup>2</sup> iz 1214. godine nalazi se u statutu grada Korčule:

„Komuna, odnosno njena uprava mora postaviti jednog službenika *officiale*m, koji će svakog mjeseca ispitati točnost mjera, vaga, utega, i svih drugih mjera i ispraviti ih, pa ako tko bude držao neispravne mjere i utege, neka svaki put i za svaku mjeru plati dva perpera, a prijavitelj neka dobije treći dio te naplaćene novčane kazne.“

„Sve mjere za žito neka budu umjerene prema kamenoj mjeri i prema količini koja bude u kamenoj mjeri, neka se zauvijek mjeri na čitavom otoku, i neka se druge mjere ne upotrebljavaju, pod prijetnjom kazne određene u Statutu.“

Sličnu je naredbu objavio dubrovački knez 1336. godine:

„Mi Nikola Faletro, knez Dubrovnika, s našim Malim, Velikim i Općim Vijećem rečenoga grada, ..... pošto su mnogi utezi kojima se mjeri roba i ostale stvari neispravni, i pošto također nalazimo da su mnoge mjere kojim se mjere tkanine, kako vunene tako lanene, neispravne, određujemo i naređujemo da se svake godine moraju birati tri plemića kojima će biti zadatak da provjeravaju po gradu neispravne i nežigosane utege, kao i mjere za tkanine i drugu robu, da pronalaze one koji važu i mjere lažno i one koji bilo što prodaju protiv propisa Statuta, te da imaju polovinu globa utjeranih od prekršitelja gore riješenoga.“

U propisima uprava srednjovjekovnoga Zagreba – Gradeca i Kaptola – nalaze se mnogi mjeriteljski propisi koji se ponajprije odnose na mjerenja u trgovini i naplati pristojba. Slijedi nekoliko citata iz starih knjiga, pisanih na temelju izvornih dokumenata.

„Trgovina stajala je pod nadzorom gradskog zastupstva u občini gradskoj. A na kaptolu, pod nadzorom kaptolskog dekana; te se jedna i druga vlast po svojih tržnih nadzornicah brinula ne samo za to, da se uzdrži red na trgu, već i bdila da mjere i vage budu prave i podpune, a kada je potrebno bilo stvarala je i cienike.“

<sup>2</sup>Svi citati iz dokumenata prije 1848. godine slobodni su prijevodi na hrvatski jezik, suvremeni ili jezik izvora iz kojih su preuzeti, jer su u srednjem vijeku i ranom novovjekovlju u sjevernoj Hrvatskoj pisani latinskim, a u južnoj latinskim ili talijanskim jezikom.



Slika 2. Kaptolska tržnica prije 1887. god., s Bolleovom fontanom i Fernkornovim kipom Blažene Djevice Marije

„..... g. 1360. .... dalo je gradsko poglavarstvo proglašiti, da će svaki krčmar, koji bi na krivu mjeru točio vino, i kao takov u tom zatečen, za prvi i dugi put izgubiti sve vino, koje ima na pipi; od kojega vina dvije trećine pripasti će gradskomu sudcu, a treća onomu, koji će takvog prestupnika odati; zateče li se takov i treći put, to će mu opet uzeti vino i podijeliti ga, kako je rečeno, a povrh toga platiti će jošte i novčanu globu.“ [1]

U dokumentu iz 1377. godine o sprječavanju monopola sirove kože zagrebačko gradsko poglavarstvo donosi odredbu:

„..... svakog mesara, koi bi se usudio ovomu gradskomu zaključku prkositi, kaznit će gradsko zastupstvo za prvi put globom od 60 dinara<sup>3</sup>, za drugi pokus sa tri pense<sup>4</sup> dinarah, zatekne li ga treći put, to će mu zabraniti tjerati obrt.“ [1]

Zagrebačka gradska uprava, koja je istodobno bila i nadglednik utega (lat. *inspector ponderum*), donijela je 1425. godine odredbu da svaki trgovac mora imati prave i istinite mjere i vage te rifove (mjerila duljine) posebno za sukno, a posebno za platno, a da sve mjere moraju biti obilježene (lat. *obsigillatio mensurae*) gradskim pečatom i pečatom onogodišnjega gradskog suca.

Statut iz 1732. godine određuje da gradski kapetan pri nadzoru nad mjerama i njihovu obilježavanju izravno ubire pristojbe za sebe.

Neke su cijene po odredbi zagrebačkoga gradskog poglavarstva iz 1596. godine:

„..... tusta govedina funta 2 den. (tj. *banovaca* ili *denara*), kravlje meso i slabije 2 den. loj 5 den., janjetina 8 den., teletina 2 den., maslac 10 den., sir 6 den., sol kvarta (tj. četvrtinka) 60 den.“ [2].

<sup>3</sup>Razgovorni naziv za hrvatski novac *banovac* (prema lat. *denarii banalles*), koji se kovao od 12. do 14. st., neko vrijeme i u Zagrebu (*denarii zagrabianses*), a imao je utisnutu kunu, kao grb kraljevine, pa se nazivao i *kunovina* (lat. *mardurina*).

<sup>4</sup>*Pensa* (prema lat. *pensio*: obrok, svota), tada naziv za 40 banovaca.

U njoj su zanimljivi odnosi cijena pojedinih vrsta mesa, pa je, na primjer, janjetina četiri puta skuplja od teletine!

Zagrebački Kaptol imao je svoju upravnu vlast, pa su dvojica kaptolskih činovnika, koji su se nazivali *računarima* ili *bilježnicima*, bilježili svaki kaptolski dohodak.

„Jošte bijaše im dužnost, izmjeriti svaku posudu il mjeru, je li prava ili nije .....“

Propisi su za tržnice bili vrlo jasni, podrobni i strogi. Tako u statutu zagrebačkoga Gradeca iz 1425. godine stoje odredbe o cijenama pojedine robe na tržnicama i obrtničkih usluga, pa čak, danas bismo rekli, i *sanitarne odredbe*:

„..... ribama, koje preostanu nakon prodajnog vremena, odrezat će dekan po sluzi repove, ..... . Nitko ne smije strvine na ulicu bacati ..... jer će biti globljen .....“ [3]

Nadalje:

„Da se mjeri za žito ne bi prigovaralo, dao je g. 1442. gradski sudac isklesati od kamena četvrtinku i poluvaganicu i obje mjere dao pričvrstiti o kameni stup tik crkve sv. Marka.“ [6]

Sve do u rano novovjekovlje svako je trgovište, čak i svako vlastelinstvo, imalo svoje mjere. Tako su i zagrebački Gradec i Kaptol imali različite mjere, što je svakako bila smetnja u trgovini te izvor mnogih prijepora i prepirki. O tome se raspravljalo na zasjedanju Hrvatskoga sabora 1649. godine, određeno je da Gradec i Kaptol moraju imati jednaku obujamnu mjernu jedinicu za žito, tzv. *mjerov*, te je određeno povjerenstvo koje će to provesti, u kojem su bili podban, podžupan i predstavnici Gradeca i Kaptola. [4]

Pazilo se na „pravične cijene“ na tržnicama, što se određivalo tzv. *limitacijama*. Jedna takva iz 1825. godine određuje:

„Jedinica vage jest funta, i za ovu se određuje cijena .....“  
„Među ostalim stoji: „Muški kruh černi za 6 kr. W. W. (tj. bečke vrijednosti) mora 5 funta vagati.“



Slika 3. Tržnica na Jelačićevom placu 1891. godine

Licitaciju propisuje vrhunska lokalna vlast:

„Van dano po G. Aleksandru Draškoviću, slavne varme-gije zagrebačke vicenotariušu.“ [3]

Za ono mjesto na Harmici na kojem je prvotno stajao spomenik bana Jelačića piše:

„uzdizala se u staro doba ..... zidana kula u kojoj bijaše smještena straža, iz ove se je kule vršio tržni nadzor .....“  
„Kula je porušena krajem 1794. god. [6]

Dragutin Hirc<sup>5</sup> pripovijeda u svojim sjećanjima iz druge polovice 19. st.:

»Kuruzno brašno mjerilo se na holbe i poliče, a Gračanke ga na Kaptolu prodavale na istome mjestu, gdje ga prodavaju i danas<sup>6</sup>.

„Lonček“ obrana mlika stajao je 2 kr., sa vrhnjem, koje je bilo „kak’ prst debelo“ 3 kr., dok je polić mlika domačica kupovala po 8 kr.« [6]

Već od 16. st. Hrvatski sabor određuje uređenje mjera i mjerenja te obilježavanje mjera kraljevskim pečatima, a Hrvatsko-ugarski sabor 1822. godine prepušta umjeravanje mjera gradovima, koji ih moraju obilježiti svojim pečatima.

## Od polovice 19. stoljeća

Pri posljednjim uređenjima mjera u Austrijskome Carstvu, prije uvođenja *Metarskog sustava*, u *cesarskim naredbama*<sup>7</sup> i popratnim odredbama od godine 1853. pa nadalje čitamo:

„Počamši od 1. Rujna 1854 imadu u građanskom administrativnom okolišu kraljevinah Hrvatske i Slavonije doljno-austrijsko vedro i doljnoaustrijski vagan, bečki hvat i bečki rif, zatim bečka funta sa svojimi podrazdieli valjat kao miere i vage zakonite.“

U raspisu ministra trgovine propisuje se da od 1. svibnja 1854.:

„..... obertovni prodavalac krojne robe dužan je, u svojih prodavaonicah imat barem jedan bečki rif, cementiran kao što je propisano .....“

<sup>5</sup> Dragutin Hirc (1853. – 1921.), hrvatski botaničar i geograf, planinar i putopisac. Rukopis njegovih sjećanja o starome Zagrebu pohranjen je u Državnome arhivu u Zagrebu, a objavljen tek 2008. godine [6].

<sup>6</sup> Prva organizirana tržnica ujedinenoga Zagreba bila je od 1851. godine na trgu ispred zagrebačke katedrale. Tržnica je 1887. godine premještena na Trg bana Josipa Jelačića, a 1929. godine malo sjevernije, na današnje mjesto na Dolcu.

<sup>7</sup> Ove su već na hrvatskome jeziku, koji je 1847. postao službenim!





Slika 4. Tržnica dnu Bakačeve ulice i Jelačićevu placu 1898. godine

A naredba o umjeravanju iz 1855. godine propisuje:

„..... cimentovnice (t.j. uredi, koji obavljaju cimentiranje miera i vagah) kao obćenitim potverdnim obilježjem služiti imadu c. kr. državnim orlom s pripadatimi pèrvimi početnimi slovi onoga mesta, u kojem je siedište cimentovnice.“

Nakon uvođenja *Metarskoga sustava* 1875. godine ojačana je i služba umjeravanja i nadzora, jasno na razini tadašnje države. Kraljevski ugarski ministar poljodjelstva, obrta i trgovine



Slika 5. Tržnica na Jelačićevom placu 1908. god.

donio je 1874. godine naredbu o ustrojstvu i djelokrugu „državnoga osrednjeg baždarskoga povjerenstva“, koje je bilo „vrhovni tehnički organ za mjeru i težu“ te uređivao sve poslove koji „se odnose na tehničku struku baždarstva“.

„§. 1. U smislu §. 15. zakona ob uvedenju metričke mjere ustrojava se u Budimpešti državno osrednje baždarsko povjerenstvo.

§. 2. Državno osrednje baždarsko povjerenstvo vrhovni je tehnički organ za mjeru i težu.“

„ ..... Državno osrednje baždarsko povjerenstvo imade urediti svekolike poslove koji se odnose na tehničku struku baždarstva i bdiye da se poslovi baždarski rukuju u zemljah krune ugarske po jednakih propisih.“

Usvajanjem *Metarskoga sustava* i ovim uredbama počela je suvremena mjeriteljska služba, postupno usklađivana s radom i preporukama međunarodnih mjeriteljskih ustanova.

Postupak službenoga umjeravanja mjera, službenik koji je to obavljao i mjesto na kojemu se to obavljalo, imalo je kroz povijest različite nazive.

Postupci su se u srednjem vijeku i početkom novovjekovlja nazivali *justificiranjem*, *cimentiranjem*, a tek se u drugoj polovici 19. st. pojavio turcizam perzijskoga podrijetla *baždarenje*. Uspostavom mjeriteljske službe u suvremenoj Hrvatskoj ustalio se naziv *umjeravanje*, ali se, na žalost, u nekim strukama i primjenama još rabi naziv *baždarenje*. Službenici koji su nadzirali mjerenje na tržnicama u nas su se nazivali *camerarijima*, *justiciarijima*, *šacmeštrima* i dr., tek od 19. st. pa do pred kraj 20. st. *baždarima*. Danas su to *mjeriteljski inspektori*.

## Zaključak

Kad danas donosimo, organiziramo i provodimo tržišni nadzor ispravnoga i pouzdanoga mjerenja u trgovini, moramo se sjetiti kako ta djelatnost, u nekim drugim tehničkim okolnostima, traje otkad postoji organizirano ljudsko društvo.

## Literatura

- [1] Ivan Krst. Tkalčić, *Povjestni spomenici slob. kralj. grada Zagreba prijestolnice Kraljevine dalmatinsko-hrvatsko-slavonske*. Svezak prvi. Brzotiskom K. Albrechta, Zagreb 1889.
- [2] Emilij Laszowski, *Stari i novi Zagreb*. Braća Hrvatskog Zmaja, Zagreb 1925. (pretisak: Školska knjiga, Zagreb 1994.)
- [3] Gjuro Szabo, *Stari Zagreb*. Knjižara Vasić i Horvat, Zagreb 1941.
- [4] Rudolf Horvat, *Prošlost grada Zagreba*. Hrvatski rodoljub, Zagreb, 1942. (pretisak: August Cesarec, Atlantic paper, Zagreb 1992.)
- [5] Stanislav Viker, *Zakonsko mjeriteljstvo Hrvatskih zemalja od 1853. do 1875*. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb 1998.
- [6] Dragutin Hirc, *Stari Zagreb*. 1. i 2. svezak. Matica hrvatska, Zagreb 2008.

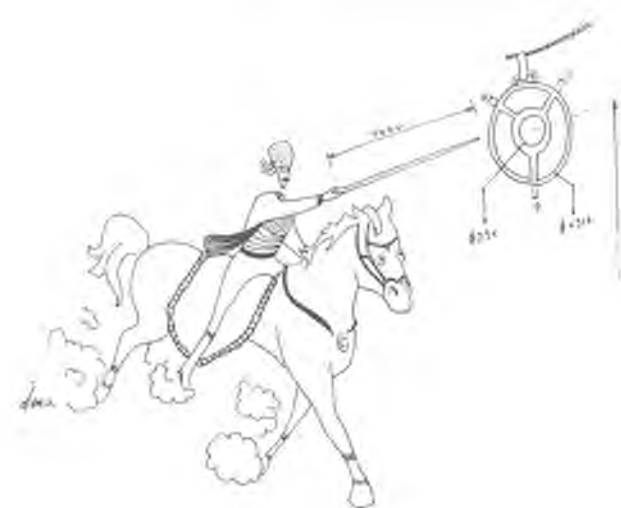
# Izmjere Sinjske alke

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ



Dvostruki obruč alke s četirima otvorima

Tradicijski običaji, obredi, rituali i druga kulturno-povijesna događanja nose u sadržajima i u oblicima tragove minulih vremena. Ponkei od takvih događanja, osobito ako su kodificirana pravilima i propisima, nose i neke određene činjenice ili podatke, možda i prikrivene. Tako je i s viteškim nadmetanjem Sinjska alka, koje u sebi nosi u nekoliko slojeva tragova doba u kojem je nastala i održavala se, a između ostaloga i tragove starih mjernih jedinica.



Viteško nadmetanje *Sinjska alka* obilježava ove godine 300 godina od slavne pobjede nad Osmanlijama pod Sinjem 1715. godine. *Sinjska alka* ponos je Sinja i Cetinske krajine te cijele Hrvatske, a 15. studenoga 2010. upisana je na UNESCO-ov popis nematerijalne svjetske baštine u Europi.

Godišnjica se obilježava brojnim proslavama. Alkari su u okviru obilježavanja 300. obljetnice posjetili Hrvatski sabor, Europski parlament u Bruxellesu, susjedni Split i Ramu. U Zagrebu je 12. svibnja, a u Sinju 14. – 17. svibnja održan *Međunarodni znanstveni skup o 300. obljetnici slavne obrane Sinja 1715. godine (1715. – 2012.)*<sup>1</sup>. Na njemu je više od 50 sudionika izlagalo svoja istraživanja o raznolikim vidovima Alke: povijesnim, kulturnim, etnološkim i dr. Među njima je bilo prikazano i istraživanje o mjeriteljskome pogledu na Alku [9]. Izdan je *Leksikon Sinjske alke*, a u pripremi je i prijevod autentičnoga dnevnika opsade Sinja.

U Sinju je 8. kolovoza 2015. u obnovljenim *Alkarskim dvorima* otvoren *Muzej Sinjske alke*, a 9. kolovoza svečano održana trka jubilarne 300. *Sinjske alke*. Slavljem *300. obljetnice pobjede pod Sinjem uz Gospin zagovor 1715. – 2015.*, održanom 15. kolovoza, završeno je svečano obilježavanje te godišnjice.

## Izmjere sastavnica *Sinjske alke*

Sastavnice i trčanje kao i sva događanja Sinjske alke od davnina su se održavali po prvotnim običajima, a potom su strogo propisani statutima i pravilima [1], [2], [3]. U njima su propisane i izmjere svega: od samoga obruča alke, koplja, trkališta, do znamenja pobjede.

Neke su izmjere sastavnica *Alke* prikazane u tablici 1. Prvo što se zapaža ne cjelobrojne su ili nezaokružene broježane vrijednosti većine tih izmjera. Neu-

Tablica 1. IZMJERE NEKIH SASTAVNICA ALKE (Statut iz 1997.)

Sastavnica	Izmjera
unutarnji promjer velikoga obruča	13,17 cm
unutarnji promjer maloga obruča	3,51 cm
debljina obruča i prečki	0,66 cm
duljina koplja	290...300 cm
promjer koplja	3,29 cm
duljina kovinskoga šiljka koplja	30 cm
duljina crvene čoje	311 cm
duljina trkališta od biljega do alke	160 m
duljina trkališta od alke do kraja	120 m
visina središta alke obješene iznad tla	332 cm
duljina štapa za namještanje visine alke	322 cm

<sup>1</sup> Zbornik je skupa u pripremi.

pućeni će smatrati da je to stoga što su neki prauzorci prvotno izrađeni „od oka“, pa se poslije njih samo kopiralo. Međutim, detaljnije istraživanje pokazuje kako su tomu dublji razlozi.

Vjerojatno su se u prvo doba Alke, tijekom 18. i prvih desetljeća 19. st., rabile različite mjerne jedinice jer se i u današnjemu Statutu navodi kako se on osniva „na običajima koji se od godine 1716. prenose s koljena na koljeno, sve do naših dana, na Statutu iz 1833. godine i na kasnijim statutima te drugim pisanim dokumentima i drugoj građi o Sinjskoj alki.“ [3]

Tijekom toga dugog razdoblja bilo je i odstupanja i lutanja, ali se posljednjih nekoliko desetljeća sve ustalilo. U preambuli Statuta iz 1983. stoji da je sve „... na osnovi običaja koji se prenose s koljena na koljeno, sve do današnjih dana, Statuta iz 1833. (piše pogriješno 1933.; napomena autora), kasnijih statuta i Statuta iz 1965. ....“, a u članku 38. za naše razmatranje važan podatak: „Sve mjere u ovom Statutu dane su po starim mjerama iz Statuta iz 1833. godine.“ I u današnjem Statutu i pravilima koja su na snazi izmjere su osnovane na tim izvorima.

Valjalo je, dakle, pogledati u prvi, najstariji statut: *Statut Sinjske alke – uspostavljen 1833. po starinskom načinu i disciplini*, kojega je izvornik na talijanskome jeziku pohranjen u Franjevačkome samostanu u Sinju.

Prije toga se treba prisjetiti da je statut pisan četiri desetljeća prije nego što je 1876. godine u našim krajevima prihvaćen Metarski sustav mjernih jedinica.

Izmjere su u Statutu iz 1833. godine navedene u austrijskim, njemačkim i talijanskim mjernim jedinicama navedenim u tablici 2. Radi lakšega su razumijevanja njihove približne vrijednosti u zagradama navedene u metarskim jedinicama.

Iako su se već i prije upotrebljavale, austrijske su mjerne jedinice ozakonjene za *Krunovinu Dalmatinsku*<sup>2</sup> tek 1853. godine [4], [5], [6].

Tablica 2. STARE MJERNE JEDINICE DULJINE (u prvome statutu iz 1833.)

Mjerna jedinica	Vrijednost u metarskim jedinicama
(bečki) palac ili col (njem. <i>Zoll</i> )	2,634 cm
(bečka) stopa = 12 palaca	31,608 cm
(bečki) hvat, sežanj ili klafter (njem. <i>Klafter</i> ), hv = 6 stopa	189,6 cm
(njemački) lakat (njem. <i>Elle</i> ) ili aršin (tur. <i>arşyn</i> )*	77,8 cm
(talijanska) oncia, uncia ili unca** = 1/12 rimske stopa	2,464 cm

\* Taj razgovorni *aršin* valja razlikovati od pravih (*turskih*) *aršina*.

\*\* Tu jedinicu duljine valja razlikovati od prastare mjerne jedinice mase (težine) te današnje anglo-američke jedinice mase, jednako naziva: *unca* ili *uncia*.

<sup>2</sup> Pri pretvorbi Austrijskoga Carstva u dvojnu Austro-Ugarsku Monarhiju 1867. godine, Kraljevina Dalmacija i Istra pripale su austrijskome dijelu (tzv. *Kraljevine i zemlje zastupane u Carevinskom vijeću*), dok su Kraljevina Hrvatska i Slavonija pripale ugarskomu dijelu (tzv. *Zemlje krune svetoga Stjepana*), pa su za njih donošeni posebni zakoni [3].



Alka s pogotkom koplja „u sridu“

Izmjere nekih sastavnica Alke prema Statutu iz 1833. godine navedene su u tablici 3. Njihove su približne vrijednosti u zagradama navedene u metarskim jedinicama, a radi usporedbe su u posebnome stupcu navedene današnje izmjere iz tablice 1.

*Metarski sustav*, kao prethodnik *Međunarodnog sustava mjernih jedinica (SI)* koji danas rabimo, međunarodno je prihvaćen *Konvencijom o metru* 1875. godine. Njezina je potpisnica bila i Austro-Ugarska, u čijemu je sastavu tada bila i Hrvatska [7], [8]. Metarski sustav zakonima je uveden u cijeloj Austro-Ugarskoj Monarhiji 1876. godine te je time napuštena većina prastarih mjernih jedinica. Stoga su nakon te godine i izmjere u statutima i pravilnicima o Alki navedene u metarskim jedinicama.

Vidi se da se današnje vrijednosti potpuno, ili gotovo potpuno, podudaraju s vrijednostima prema prvome Statutu. Veća je razlika jedino u duljini trkališta, čemu je uzrok produljenje zaustavnoga dijela.

U prvo se vrijeme nakon uvođenja Metarskoga sustava pristupilo zaokruživanju vrijednosti izraženih metarskim jedinicama, kako je to načinjeno 1902. godine (tablica 4).

Takva i slična zaokruživanja vrijednosti izmjera rabila su se u pravilnicima i statutima sve do 1965. godine., kad se vratilo na *stare mjere iz Statuta iz 1833. godine*.

I izmjere drugih sastavnica *Alke*, kao što su izmjere loža, nose trag vremena. U prvome Statutu iz 1833. godine bila je



Alkar u trku prema obješenoj alki

Tablica 3. IZMJERE NEKIH SASTAVNICA ALKE (Statut iz 1833.)

Sastavnica	Izvorna izmjera (u zagradi su vrijednost u metarskim jedinicama)	Današnje izmjere
unutarnji promjer velikoga obruča	5 palca (13,17 cm)	13,17 cm
unutarnji promjer maloga obruča	1 ½ palca (3,512 cm)	3,51 cm
debljina obruča i prečki	¼ palca (0,6585 cm)	0,66 cm
duljina koplja	9 stopa, najmanje (2,845 m)	290...300 cm
promjer koplja	1 ¼ palca (3,292 cm)	3,29 cm
duljina kovinskoga šiljka koplja	–	30 cm
duljina crvene čoje	4 lakta* (311,2 cm)	311 cm
duljina trkališta od biljega do alke	90 klaftera (170,683 m)	160 m
duljina trkališta od alke do kraja	30 klaftera (56,894 5 m)	120 m
visina središta alke obješene iznad tla	10,5 stopa, najmanje (331,884 cm)	332 cm
duljina štapa za namještanje visine alke	–	322 cm

\* Taj podatak potječe još od 1798. godine.

Tablica 4. IZMJERE NEKIH SASTAVNICA ALKE (Nakon uvođenja Metarskoga sustava)

Sastavnica	Pravilnik iz 1902.	Današnje izmjere
unutarnji promjer velikoga obruča	14 cm	13,17 cm
unutarnji promjer maloga obruča	3,5 cm	3,51 cm
debljina obruča i prečki	1 cm	0,66 cm
duljina koplja	do 2,80 m	290...300 cm
promjer koplja	„kako može sredina alke nanj se spustiti“	3,29 cm
duljina kovinskoga šiljka koplja	–	30 cm
duljina crvene čoje	–	311 cm
duljina trkališta od biljega do alke	170 m	160 m
duljina trkališta od alke do kraja	50 m	120 m
visina središta alke obješene iznad tla	10,5 stopa*	332 cm
duljina štapa za namještanje visine alke	–	322 cm

\* Ovdje je, vjerojatno propustom, još zadržana izmjera u stopama!

određena čak i visina alkarskoga konja, koja nije smjela biti manja od četiri stope i sedam palca, tj. oko 1,45 metara! Izmjere zastava određene su tek u 20. st., stoga su određene u metarskim jedinicama.

## Zaključak

Danas se sve izmjere sastavnica *Alke* oslanjaju na prve zabilježene: „Sve mjere u ovom Statutu dane su po starim mjerama iz Statuta iz 1833. godine.“ (Statut iz 1983., čl. 38.) te su jasno određene.

Upravo necjelobrojne ili nezaokružene brojčane vrijednosti većine tih izmjera u metarskim jedinicama sastavnica *Sinjske alke* dragocjeni su trag i dokaz triju stoljeća njezine tradicije koja se poštuje i održava do danas!



*Alkar pogađa kopljem u sridu alke*

## Literatura

- [1] Internet: <http://free-st.htnet.hr/Sinj/statut1833.html> (preuzeto 27. 6. 2014)
- [2] Šime Jurić, *Dokumenti i književna građa o Sinjskoj alki*. Logos, Split 1988.
- [3] Internet: <http://www.alka.hr/upload/userfiles/files/STATUT%20VITESKOGA%20ALKAR-SKOG%20DRUSTVA%20SINJ.pdf> (preuzeto 5. 8. 2014.)
- [4] Stanislav Viker, *Zakonsko mjeriteljstvo hrvatskih zemalja od 1853. do 1875*. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb 1998.
- [5] Zvonimir Jakobović, *Razvoj mjeriteljstva na tlu Hrvatske*. DZNM Glasilo br. 5-6/1999., str. 94–96.
- [6] Z. J., *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.
- [7] Z. J., *Počeci mjeriteljstva u Hrvatskoj*. Svijet po mjeri, br. 1, studeni 2012, str. 133–134.
- [8] Z. J., *Hrvatska i Konvencija o metru*. Hrvatska revija br. 3, 2013., str. 90–94.
- [9] Z. J., *Sinjska alka i njezine izmjere*. Izlaganje 15. svibnja 2015. u Sinju; *Međunarodni znanstveni skupa o 300. obljetnici slavne obrane Sinja 1715. godine (1715–2012.)*, Programi/Sažetci; Zbornik (u pripremi)

# Pinta s gledišta mjerne jedinice (uz obljetnicu obnovljene Pinte)<sup>1</sup>

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ



Grb udruge Pinta

Udruga za očuvanje, promicanje i korištenje kulturnoga blaga Hrvatske nazvana je Pinta, a u njenu grbu stoji kako je društvo osnovano 1694. a obnovljeno 1988. godine. Stoga je zanimljivo pogledati malo u prošlost, što je to pinta, kako je nastao taj naziv i kako se prenio na nekoliko različitih pojmova.

**P**inta je bila srednjovjekovna mjerna jedinica *obujma* za mjerenje tekućina i sipkih tvari (zrnja, sjemenja i sl.) Pretpostavlja se kako naziv potječe iz srednjovjekovnoga latinskoga jezika u obliku *picta* prema glagolu *pingere*: bojati, slikati, risati, a odnosi se na ucrtanu oznaku razine tekućina u mjernoj posudi. U pučkom latinskom poprimio je oblik *pincta*, a prvotno se odnosio na umjerenu posudu, danas bismo rekli *mjericu* ili *cimentu*. Takve se čaše s oznakom *obujma* i danas rabe u gostionicama. U starofrancuskom je bio oblik *pinta*, a iz njega je naziv ušao u mnoge europske jezike (lat., tal. i španj. *pinta*, franc. *pinte*, njem. *Pinte*, engl. *pint*). Naziv navode još stari hrvatski rječnici iz 17. i 18. st., u obliku *pin*, a tumače latinskim: *pinta*, *mensura vini*, tj. pinta, vinska mjera (Habeličev *Dikcionar* iz 1670. god., Belostenčev *Gazofilacij* iz 1740. god.).

Pinta se kao mjerna jedinica rabila u mnogim europskim zemljama, mjesno, vremenski i za različite tvari u različitim vrijednostima, većinom u rasponu od ~ 0,5 L do ~ 3 L, iznimno i znatno više. Tako je *starofrancuska pinta* bila vrijednosti 0,952 L. Uvođenjem Metarskoga sustava tijekom 19. st., sve su te stare pinte napuštene, osim u zemljama engleskoga govornoga područja gdje se rabe i danas. Pinta je u nas prvi puta zabilježena u jednom dokumentu 1360. god. u Zagrebu na latinskome jeziku, a 1588. god. u Varaždinu na hrvatskome jeziku.<sup>2</sup>

Prvotno je pinta bila određena obujmom određene *mase* (nekada se to nazivalo *težinom*) vode. Najstarija poznata udomaćena pinta bila je *starohrvatska* ili *zagrebačka pinta*, do 1773. god. vrijednosti ~ 3,123 L, a poslije ~ 3,332 L, te *zagorska pinta* nepoznate vrijednosti.

U nas se rabila i *madžarska* ili *požunska pinta* vrijednosti ~ 1,666 L. te *bečka pinta* (u Hrvatskoj nazivana *mjeračom* ili *bokalom*), koja je ujednačavanjem mjernih jedinica u Austrijskom Carstvu od 1761. god. bila vrijednosti ~ 1,415 L. Ta se pinta u nas od 18./19. st. nazivala turcizmom *oka*, poblizje *bečka* ili *nova oka*.

Kako je hrvatska pinta bila oko dva puta veća od bečke i požunske pinte, to je (*hrvatski*) *polić*, kao pola hrvatske pinte bio oko **dva puta veći** od raznih drugih polovičnih mjernih jedinica (*bečke*) *holbe* (njem. *Halbe*: polovica), ali i raznih *media* (lat. *medius*: polovičan),<sup>3</sup> *krigli* (njem. *Krügel*: prvotno vrč od pola pinte) i dr. Mihalj Šilobod u *Arithmetici horvatszkoj* iz 1758. god.<sup>4</sup> navodi dvije dvostruko različite pinte, ali ih ne razlikuje nazivom, misleći pri tome vjerojatno na hrvatsku pintu i požunsku pintu.

<sup>1</sup> Članak je kao pregledni rad objavljen u časopisu *Gazophylacium*, God. XIV., br. 3-4, str. 171-173. Zagreb, 2009.

<sup>2</sup> Usporedi: Zlatko Herkov, *Naše stare mjere i utezi*. Školska knjiga, Zagreb 1973.

<sup>3</sup> Belostenec u svom *Gazofilaciju II.* iz 1740. god. zapisuje: *Polich* – Media mensura, media pinta (str. 377), a pod *Pint* – pinta, ae, mensura vini (str. 354).

<sup>4</sup> Vidi pretilak *Arithmetike horvatszke*, izd. Samoborski muzej, Samobor, 2008.

# PINTA

UDRUGA ZA OČUVANJE, PROMICANJE I KORIŠTENJE  
KULTURNOGA BLAGA HRVATSKE

ZAGREB, Masarykova 22

Slovolik udruge Pinta

U jednom se zakonskom dokumentu na latinskome jeziku iz 1836. god. za Požešku, Virovitičku i Srijemsku županiju propisuje kako posjednik od svakoga vjedra mošta može uzeti namiru od *unica tantum pinta* (samo jednu pintu), dok se u prijevodu na hrvatski iz toga doba navodi: *samo jednu oku (poli) ili dvije holbe požunske mjere*. To je potvrda da su se za požunsku pintu rabili i nazivi *poli* i *oka*, te da je *poli* dva puta veći od *holbe*. Zato je neispravno *holbu*, *mediu* ili *kriglu* prevoditi kao *poli*, jer su one dvostruko manje (iako jezično znače isto)!, U narodu su se, osobito u kajkavskim pjesmama i uzrečicama, rabile i umanjene: *pintek*, *pintik* i *holbica*, pa su se tako u jeziku zadržale do danas, na primjer u poznatoj kajkavskoj pjesmi *Pošel budem v goricu, zel si budem holbicu i pečenu puricu* . . . .

*Pinta* ili *oka* je u Hrvatskoj službeno napuštena pri uvođenju Metarskoga sustava 1876. god. i uglavnom zamijenjena nešto manjom *litrom* (u odnosu: L ≈ 0,7 bečkih oka). Ipak, *oka* se ustrajnošću još rabila desetljećima, zbog navike, zadržanih mjernih posuda i boca, a posebno zbog trgovine s Bosnom i Hercegovinom, gdje se rabila *turska* ili *stara oka*, pod zadnje vrijednosti 1,282 L, dakle 10% manja. Te su se *oke* na tržištima u našim istočnim krajevima sporadično rabile do polovice 20. st., pa je njihovo miješanje bila česta podloga za nadmudrivanje. Na primjer, rakija ili vino su se izlagali u većoj boci od jedne *bečke oke* (1,415 L), a iz bačve se neopretnom kupcu odmjeravalo bocom od jedne *turske oke* (1,282 L), dakle 0,133 L na štetu kupca.

U angloameričkom sustavu mjernih jedinica i danas se rabi nekoliko *pinti*, na primjer u Ujedinjenom kraljevstvu *UK pint* (*imperial pint*), vrijednosti 1/8 UK gallona, tj. ~0,568 L, te u SAD *US pint* vrijednosti 1/8 US liquid gallona, tj. ~0,473 L, a samo za suhe sipke tvari *US dry pint* vrijednosti 1/64 US bushela, tj. ~0,550 L. U tim se zemljama ponekad upotrebljava i *metarska pinta* (engl. *metric pint*), vrijednosti 0,5 L. U drugim zemljama (Australija, Novi Zeland, Kanada) upotrebljava se nešto različite *pinte*, uglavnom za umjeravanje pivskih čaša.

Stare mjerne jedinice često su bile za različite tvari, mjesno i vremenski vrlo različitih vrijednosti, a ponekad ih valja razu-

mjeti samo opisno, uz neke „svima znane“ uvjete. Tako i mi danas kupujemo vino na *boce* (mислеći prešutno na boce od 1 L ili 0,7 L), ili pivo (mислеći na *velike boce* od 0,5 L, ili *male boce* od 0,25 L ili sl.), te druga pića, a pijemo na *čaše*, misleći većinom na one od 2 dL, itd.

Valja napomenuti kako se mjere obujma napunjene vodom ponekad bile i osnova utega za vaganje, pa se u starim dokumentima neki navodi nepouzdan, možda se odnose na obujam, a možda na masu. Tako se uzrečica *oka zlata* vjerojatno odnosi na masu jednaku masi jedne *oke* vode.

Ostvarenja mjernih jedinica obujma bile su mjerne posude, mjere, mjerice, cimente, u prošlosti nazivane i *šupljim mjerama*, izrađene od drva, pečene gline, keramike, kamena, stakla, kovina. Punile su se tekućinom do ucrtane *oznake* na posudi ili *razom*, tj. do vrha posude, a sipke tvari *razom* ili preko toga, tzv. *navrškom*, s trešnjom ili bez trešnje, što se pri mjerenju uvijek moralo naglasiti. Uporabne jeftine mjere *pinte* bile su drvene kupice, bačvice ili kačice, kakve se i danas izrađuju za spremanje sira ili kao suveniri, a na sajmovima se iz njih i pije.

Zato se za *bačvara* rabio danas gotovo zaboravljen naziv *pintar* ili *pinter*, koji je postojao i u drugim jezicima, nekada osobito uobičajen u njemačkome, pa neki te nazive proglašavaju germanizmom. Ipak još *Gazofilacij* ima nazive *pintar* (uz dodatak: *bachvar*) i *pintarszki bat*, dakle Belostenec ih je smatrao hrvatskim nazivima. Iz toga su slijedila i prezimena *Pintar*, *Pinter*, *Pintarić*, *Pinterić*, *Pinterović* i dr. (prezime kao *nomen agentis*).

Nadalje, vjerojatno po sličnosti s bačvom u srednjovjekovlju je mali brod nazivan *pintom*. Tako je *Pinta* bio jedan od triju Kolumbovih brodova (ostala su dva bili *Santa Maria* i *Nina*) na prvom putovanju u Ameriku 1492. god.

*Pinta* je, dakle, bio i općenit naziv za mjericu, kupicu, vrč, bokal, bačvicu, čašu, ponajprije za pića. Još Juraj Habdelić 1674. god. navodi kako se vino ispija iz *pinte* ili *polpintene kupe*.<sup>5</sup>

Zato se *pinta* uz značenje kupice za ispijanje vina rabila i kao naziv veselih društava vlastele u Hrvatskome Zagorju, opisanih i u djelima Ksavera Šandora Gjalškog i Miroslava Krležee. U nekim je krajevima *pinta* razgovorno bila naziv za lokal u kojem se samo pije, danas bi rekli *pivnica*, za razliku od gostionice u kojoj se i jede. *Pinta* se do dana u Hrvatskoj zadržala samo kao naziv nekih ugostiteljskih objekata, a većinom se zaboravilo što je izvorno značila.

I na kraju, od prije više od tri stoljeća postoji i ova naša kulturna udruga *Pinta*, obnovljena 1988. god., koja već dva desetljeća izdaje časopis *Gazophilacium*, a br. 1-2 (2004.) je bio posvećen Patačićima i *Pinti* koju je osnovao Baltazar Patačić u Donjem Vidovcu kod Varaždina u dvorcu Krkanec.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Juraj Habdelić, *Pervi otca našega Adama greh*. Graz 1674.

<sup>6</sup> Vladimir Dugački, *Doktori neomedicinskoga fakulteta Baltazara Patačića (1696. – 1719.)*. *Gazophilacium*, IX., br. 1-2, Zagreb 2004., str. 5-49.

# Iz čega se točilo i pilo u samoborskim domovima, klijetima i gostionicama<sup>1</sup>

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ

Pitali staroga samoborskog vinogradara i vinara „Tatek, z čim vi otpirate lajtc vu kleti?“. Nakon kraćeg razmišljanja tatek gucne još jen šljuk, pa mirno odgovori „A, sinek, z čim, pa z prvom kupicom!“ Eto, kupice, pinte, poliči, čaše i holbice te ostale napitne posudice bit će predmet našega malog putovanja u povijest, u stare samoborske domove, kleti ili hisove, te pivnice, gostionice, krčme, podrumne, oštarije<sup>2</sup>, birtije<sup>3</sup>, i špelunke<sup>4</sup>. Ocijenit ćemo koliko stoji ona Samoborci piju vino z lonci, za koju Milan Lang kaže „rugaju se Zagrepčani“ Samoborcima. Osvijetlit ćemo te pojmove mjeriteljski, jezično i kulturno-povijesno.

## Prastare mjere obujma

Od kada je svijeta i vijeka čovjek je morao piti, pa makar to bila i voda s izvora ili iz zdenca. Pilo se izravno ustima, ali je ipak ljepše vodu zahvaćati *grštom*<sup>5</sup> (stari naziv za zaobljenu šaku) ili *pregrštom* (sastavljene dvije zaobljene šake), ili nekim udubljenim predmetom, korom drveta, ljuskom plodova, oklopom životinja (kornjače ili školjke), šupljom kosti. U osvjetljenju civilizacije čovjek je naučio izrađivati posude od drveta ili kamena, te u ognju peći glinene posude. Lončarstvo je nakon obradbe kamena, drva i kostiju, jedno od najstarijih umijeća. Arheološki nalazi upućuju da su se glinene posude izrađivale i pekle najmanje nekih 16 tisuća godina pr. Kr. Među prvim proizvodima su svakako morale biti posude: one za čuvanje hrane, za donošenje i čuvanje vode i drugih pića, za pijenje i za kuhanje.

Po *Zlatnoj buli*, koju je Samoboru dodijelio kralj vugarski i horvacki Bela IV., Samoborci su dobili pravo po određenim *uzusima* točiti vino u svojim kućama i pivnicama (što su radili i prije bez *bule*, a rade i danas!). Vjerojatno su *ispod stola* točili i poneki *akvavit* (lat. *aqua vitae*: voda života), tj. *žesticu*, što je tek znatno potom nazvano „po turski“ *rakijom*.

Za svoje je osobne potrebe, unutar svoga doma i klijeti, čovjek mogao piti iz bilo kakvih posuda. Međutim, tamo gdje je piće istodobno i predmet trgovine, kao što su pivnice, oštarije, birtije i druge, za pristojnu čeljad neprilične ustanove, mora se znati *koliko je toga* što se toči. Osim izravnog odnosa prodavača i kupca, tj. onoga koji toči i onoga koji „se natače“, tu se pojavljuje i treća strana: naplata poreza za cara, kralja, zemaljskog gospodina, poglavarstvo ili magistrat, vojnike ili župnike, te ostale korisnike raznih prava, sve do današnjega PeDeVe-a.

Stoga su od najstarijih vremena posude iz kojih se nalijevali i iz kojih se pilo, ponajprije gostioničarske posude, danas bi rekli čaše, flaše i bačve, morale biti *cimentirane*, tj. umjerene i označene koliki im je obujam. Umjeravane su prema propisanim ili dogovorenim *šupljim mjerama*, danas bi rekli *etalonima obujma*, koje su bile objavljene i izložene na javnim mjestima: trgovima, tržnicama, gradskim tornjevima, hramovima i sl.

Nije bilo rijetko da je nezadovoljni kupac ili nepovjerljivi poreznik tražio da se mjerice, kupice i ostalo usporede s tim *šupljim mjerama*. A kazne su za kri-

<sup>1</sup> Clanak je objavljen u *Zborniku 2012. – 2013.* Ogranak Matice hrvatske u Samoboru, god. VI., broj 1, 2012/13., str. 32-42.

<sup>2</sup> U hrvatskom mjesno i starinski: *oštarija*: gostionica, krčma (tal. *osteria*: gostiona; iz starofranc. *oste*, *ostesse*: gost, prema lat. *hospitium*: gostinjac).

<sup>3</sup> *Birtija*, *bircaus* i *bircuz*, prema njem *Wirtshaus*: gostionica.

<sup>4</sup> Prema lat. *spelunca*: spilja, pećina.

<sup>5</sup> Praslav. i sveslav. *grst*: otvorena ruka za primanje ili zahvaćanje nečega.





Drvene bačve, vože ili lajti bile su nekada glavne posude za čuvanje vina u podrumima, pivnicama hisima i klijetima

vo mjerenje bile vrlo stroge, znatno strože nego što je to danas. U Samoboru se vjerojatno postupalo kao i u nedalekom zagrebačkom Gradecu, u čijim spisima, na primjer iz 1360. godine stoji [1]:

„..... dalo je gradsko poglavarstvo proglasiti, da će svaki krčmar, koji bi na krivu mjeru točio vino, i kao takov u tom zatečen, za prvi i dugi put izgubiti sve vino, koje ima na pipi; od kojega vina dvije trećine pripasti će gradskomu sudcu, a treća onomu, koji će takvog prestupnika odati; zateče li se takov i treći put, to će mu opet uzeti vino i podijeliti ga, kako je rečeno, a povrh toga platiti će jošte i novčanu globu.“

## Stare mjerne jedinice obujma

Kroz povijest je bilo bezbroj mjernih jedinica obujma, od onih običajnih, „svima znanih“, preko normiranih, propisanih ili ozakonjenih menzura, mjerica, mjeraca, pinti i dr., sve do današnjih kubnih jedinica metra i njegovih dijelova, te litre kao posebnoga naziva za kubni decimetar.

Posude u kojima se čuvalo i prenosilo piće, one iz kojih se točilo i one iz kojih se pilo u srednjem su vijeku u dijelu Europe kojim se nekada prostiralo Rimsko Carstvo, a to znači i u Hrvatskoj, većinom bile umjerene u *pinti* ili njezinim dijelovima.

*Pinta* je bila srednjovjekovna *mjerna jedinica obujma* za tekućine i sipke tvari (vino, ulje, brašno, zrnje, sjemenje i sl.). Naziv vjerojatno potječe iz srednjovjekovnoga latinskoga jezika, u obliku *picta* (prema *pingere*: bojati, slikati, risati), a odnosi se na ucrtanu oznaku razine tekućine u mjernoj posudi. U pučkom latinskom poprimio je oblik *pincta*, a prvotno se odnosio na umjerenu posudu ili *cimentu*, danas bismo rekli *mjericu*. Takve se čaše s oznakom obujma i danas rabe u gostionicama. U starofrancuskome je bio oblik *pinta*, a iz njega je naziv ušao u mnoge europske jezike (lat., tal. i španj. *pinta*, franc. *pinte*, njem. *Pinte*, engl. *pint*). Još stari hrvatski rječnici iz 17. i 18. st., navode oblik *pint*, a tumače latinskim: *pinta*, *mensura vini*, tj. *pinta*, *vinska mjera* (Habdelićev *Dikcio-*

*nar* iz 1670. godine, Belostenčev *Gazoflacij* iz 1740. godine, dovršen do 1675. godine).

*Pinta* se kao mjerna jedinica rabila u mnogim europskim zemljama, mjesno, vremenski i za različite tvari u različitim vrijednostima, većinom u rasponu od oko 0,5 L do oko 3 L, iznimno i znatno više. Tako je *starofrancuska pinta* bila vrijednosti 0,952 L.

*Pinta* je u nas prvi puta zabilježena 1360. godine u Zagrebu u jednom dokumentu na latinskome jeziku, a 1588. godine u Varaždinu na hrvatskome jeziku.

Prvotno je *pinta* bila definirana obujmom određene *mase* (nekada se to nazivalo *težinom*) vode. Najstarija poznata udomaćena *pinta* bila je *starohrvatska* ili *zagrebačka pinta*, do 1773. godine vrijednosti 3,123 L, a poslije 3,332 L, te *zagorska pinta* i *varaždinska pinta* nepoznatih vrijednosti.

U nas se rabila i znatno manja *madžarska* ili *požunska pinta* vrijednosti 1,666 L, i *bečka pinta* (u Hrvatskoj nazivana *mjeracom* ili *bokalom*), koja je ujednačavanjem mjernih jedinica u Austrijskom Carstvu od 1761. godine bila vrijednosti 1,415 L. Ta se *pinta* u nas od 19. st. nazivala turcizmom *oka*, poblizje *bečka oka* ili *nova oka* (za razliku od znatno manje *turske oke* ili *stare oke*, vrijednosti 1,282 L).

*Polić* i *bolba* nazivi su polovica pinti, ali ih valja razlikovati. Kako je *hrvatska pinta* bila oko dva puta veća od *bečke* ili *požunske pinte*, to je (*hrvatski*) *polić*, kao pola hrvatske pinte bio oko dva puta veći od raznih drugih polovičnih mjernih jedinica: (*bečke*) *holbe* (njem. *Halbe*: polovica) *poličnice* ili *polnjače*, ali i raznih *media* (lat. *medius*: polovičan). Mihalj Šilobod u *Arithmetici horvatszkoj* iz 1758. godine navodi dvije dvostruko različite pinte, ali ih ne razlikuje nazivom, misleći pri tome vjerojatno na *hrvatsku pintu* i *požunsku pintu*.

Zanimljiv je podatak koji se navodi u [1]:

„Mjera za tekućinu, kao za vino i pivo ..... bijaše mjera (menzura). ..... uzevši na um onaj kaptolski statut, dok su još kanonici dobivali piće iz zajedničkog podruma, da pojedinac na dan zahtjevati može jednu mjeru, to bi tada u današnje doba bila isto što i stari naš *polić* .....“



Demizhonka, nekada nezaobilazna posuda za prenošenje vina, često puta je napunjena vinčekom bila „ulaznica“ u veselo društvo



Čaša za vodu i gemiš  
(Glažuta Osredek;  
Samoborski muzej)



Vinska čaša, kakva se još može  
vidjeti u starim samoborskim  
kućama (Glažuta Osredek;  
Samoborski muzej)



Čaša Hrvatskoga pjevačkog društva  
u Samoboru iz 1874. god.,  
„pojačana“ na 2,5 decilitra (Glažuta  
Osredek; Samoborski muzej)



Pehar Hrvatskoga planinarskog  
društva u Samoboru, s imenima  
članova (Glažuta Osredek;  
Samoborski muzej)

Isti izvor dalje navodi:

„Od mjere bijaše jošte manja mjera: pol mjere (medio mensura) t. j. holba .....“ i dalje „..... p i n t a ili dvie mjere; .....“.

Dakle *mjera* je u starim hrvatskim tekstovima općenito naziv za osnovnu jedinicu obujma, a posebno naziv za pola *hrvatske pinte*, tj. *hrvatski polić*, vrijednosti dvije *holbe*. Tako navodi i [3]: neke „..... namirnice prodavale su se na *holbe* tj. ½ *polića*, .....“.

Jedan drugi izvor navodi:

„Tekućine su mjerili *mjerom*, koja bijaše valjda isto što i *polić*. Pol mjere zvala se *holba*, četvrt mjere bio je jednak *sajtleku*, dvie mjere zvale se *pinta*, pet mjera *kabal*.“ [5]

Milan Lang zaokružuje vrijednosti: *polić* na 1,5 L, *holbu* na pola *polića*, *sajtlek* na pola *holbe* i *frtalčić* na četvrt litre. [2]

Stoga je neispravno *holbu*, *mediu* ili *kriglu* izjednačavati s *polićem* (kako piše i u nekim našim suvremenim rječnicima) jer su one dvostruko manje (iako nazivi jezično znače isto)! Kako god okrenuli, mnogi drugi zapisi potvrđuju kako je (*hrvatski*) *polić* dva puta veći od *holbe*, što znači sa smo u ispijanju bili bolji od mnogih naših susjeda!

Uvođenjem *Metarskoga sustava* tijekom 19. st., sve su te stare mjerice, pinte, *polići* i *holbe* napuštene i otišle u povijest, osim u zemljama engleskoga govornoga područja, gdje se nekoliko *pinti* rabi i danas. Ipak njihov je trag i danas u izmjerama nekih posuda, kao što je *krigla*, *butelja*, *štanca* i neke druge.

U jednome se zakonskom dokumentu na latinskome jeziku iz 1836. godine, za Požešku, Virovitičku i Srijemsku županiju propisuje kako posjednik od svakoga vjedra mošta može uzeti namiru od *unica tantum pinta* (samo jednu pintu), dok se u prijevodu na hrvatski iz toga doba to navodi: „samo jednu oku (*polić*) ili dvie *holbe* požunske mjere.“ To je potvrda da

su se za požunsku pintu rabili i nazivi *polić* i *oka*, te da je *polić* dva puta veći od *holbe*.

Uporabne mjerice pinte bile su drvene otvorene bačvice, kakve se i danas izrađuju za pakiranje sira ili kao suveniri. Zato se za *bačvara* nekada rabio danas gotovo zaboravljen naziv *pintar* ili *pinter*<sup>6</sup>, koji je postojao i u drugim jezicima, nekada osobito uobičajen u njemačkome, pa neki te nazive proglašavaju germanizmom. Ipak, još Belostenčev *Gazofilacij* ima u hrvatskom stupcu nazive *pintar* (uz dodatak: *bachvar*) i *pintarszki bat*, dakle još u 17. st. smatrani su hrvatskim nazivima!

Vjerojatno po sličnosti s bačvom u srednjovjekovlju je mali brod nazivan *pintom*. Tako je *Pinta* bio jedan od triju Kolumbovih brodova (ostala su dva bili *Santa Maria* i *Nina*) na prvom putovanju u Ameriku 1492. godine.

## Posude za pića

*Posuda* (praslavenski *sud*: spremnik u kojemu se nešto drži, sprema, čuva) općenit je naziv spremnika pića ili hrane. Prema namjenama posude imaju brojne posebne nazive, od kojih samo neki upućuju na mjernu jedinicu obujma koju sadrže. Za većinu posuda s posebnim nazivima valja navesti koliki joj je obujam u nekim mjernim jedinicama.

Valja razlikovati nekoliko posuda za pića:

- posude u kojima se piće čuva, prevozi, prenosi, prodaje ili donosi na stol,
- posude iz kojih se pije voda, vino, mješavine i ostali pripravci kao što su sokovi,
- posude iz kojih se piju žestoka pića,
- posude iz kojih se pije pivo.

Uz većinu naziva posuda rabe se i *umanjenice*. Pri tome valja uzeti u obzir kako u kajkavštini *umanjenica* ne mora značiti da se radi o malenoj posudi, pošto su *umanjenice* navada govora u svim jezicima oko Alpa, pa se rabe nazivi *kupica*, *čaši-*

<sup>6</sup> Iz toga su slijedila i prezimena *Pintar*, *Pinter*, *Pintarić*, *Pinterić*, *Pinterović* i dr.



Čašica u obliku kubure, s kojom su se vodili dvoboji i višeboji u ispijanju (Glažuta Osredek; Samoborski muzej)



Samoborska mjeraca od 0,4 litre, neka se zna koliko se vina donosi na stol (Glažuta Osredek; Samoborski muzej)



Pehar s natpisom kako Samoborci piju vino z lonci (Glažuta Osredek; Samoborski muzej)

ca, *fraklič* i dr. Stoga, kada štokavac kaže kako je popio *kupu*, a kajkavac *kupicu*, ne znači da je kajkavac popio manje, nego je samo to obazrivije izrekao!

## Posude za držanje, prenošenje i prevoženje pića

*Drvene posude*, izrađene od duga, posebno oblikovanih dasaka, a učvršćene željeznim obručima (sasvim rijetko drvenim), stoljećima se rabe nakon starovjekovnih mješina od životinjske kože i glinenih amfora. Zaobljenog su oblika kojim se postiže što veći obujam, do kojega se došlo iskustvom, a potom i geometrijskim izračunom. Tek su se u 20. st. počele izrađivati takve posude od kovina i plastike.

Nazivi su takvih posuda: *bačva* (prasl. *bači*, starosl. b'č'va), *voza*<sup>7</sup>, *bure* i *baril* (tal. i franc.<sup>8</sup> *baril*, engl. *barrel*), *lagav* i *lagva* (prema lat. *lagena*, njem. *Lägel*), *lajt* (prema njem. *Leite*), te *fasl* (prema njem. *Fass*). Kao što se vidi, samo su *bačva* i *voza* hrvatske riječi, svi ostali nazivi su posuđenice.

U samoborskom se kraju u prošlih dva do tri stoljeća rabila većina tih naziva, osim, koliko znamo, naziva *bure* i *baril*.

Bačve za držanje vina i piva većinom su i službeno umjeravanje (cimentirane, baždarene) vaganjem vode u njima, te ovjere žigom službenoga mjernika.

Priručne otvorene drvene posude, obično s ručkama za prenošenje, za pretakanje i mjerenje tekućina i sipkih tvari bile su: *vjedro*, *kabao* i *čabar* (lat. *cubulus*), *akov* (mađ. *akó*, vjerojatno prema slav. *okov*), *škaf* (lat. *scaphium*), *hamper* (njem. *Amper*), *brenta* (tal. *brenta*<sup>9</sup>), *put* ili *putunja* (mađ. *puton*, njem. *Butte*: vjedro) i dr. Da su služile i mjerenju dokaz je da su neki od njih i nazivi starih mjernih jedinica. [4], [6]

<sup>7</sup> *Vinska voza*, možda po tome što je takva bačva služila za prijevoz; u Međimurju *voza* znači *uže*.

<sup>8</sup> Navode se riječi iz drugih jezika koje su posuđene u hrvatski, a ne brojne druge riječi u tim jezicima za pojedini pojam.

<sup>9</sup> Stara mjerna jedinica obujma u Italiji i Švicarskoj, vrijednosti oko 60 do 170 L.

Posebna posuda u obliku plitkoga vjedra, s cijevi na dnu, koja kao posebna izvedba lijevka služi za ulijevanje vina u bačvu, opisno se naziva *lakomicom*.

I u ovoj su skupini samo *vjedro* i *lakomica* hrvatske riječi, svi ostali nazivi su posuđenice. U samoborskom se kraju u prošlih dva do tri stoljeća rabila većina tih naziva, osim naziva *akov* i *put* ili *putunja*.

*Staklene posude* rabe se tek posljednjih stoljeća, obilnije tek od 20. st., jer su nekada bile vrlo skupe, te stoga rijetke u općoj uporabi.

Nazivi staklenih posuda su *boca* ili *bocun* (prema lat. *bocia*, tal. *bozza*, *boccia*), *butelja* (prema lat. *butia*: mijeh, tal. *botiglia*), *flaša* (njem. *Flasche*). Nešto veća posuda naziva se *demižon*, *demižonka* ili *demišana* (šaljivo prema franc. *dame-Jeanne*: gospa-Jana; ili možda *demi-Jeanne*: polovna Jana, tj. *polovnjača*, *žena srednjih godina*), *balon* (franc. *ballon*: klupko, kugla), *galon* (franc. *galon*: kamena posuda), razgovorno i *pletara* ili *pletanka*, jer je zbog zaštite često bila opletena šibljem.

Tek posljednjih desetljeća pojavile su se posude od plastike, nazivane *kanistar* (prema grč. *kanistron*: košara), obujma većinom 2, 5, 10 ili 20 L, koje sve više istiskuju klasične staklene *demižonke*.

Kao što se vidi, osim razgovornog naziva *pletara*, svi su drugi nazivi posuđenice. U samoborskom kraju su se od davnina rabili nazivi *flaša*, *demižon* ili *demižonka* i *pletanka*, jednako kao što se rabe i danas.

## Posude iz kojih se pije voda, vino, mješavine i dr.

Najstariji i najopćenitiji nazivi posuda iz kojih se pije voda, vino i njihove mješavine, koje se obično nazivaju *gemišt* (prema njem. *Mischen*: miješanje) i *bevanda* (tal. *bevanda*: piće) su: *čaša*, *vrč* (prema lat. *urceus*), *pehar* (prema njem. *Becher*, tal. *bicchiere*), *bokal*, *pokal* (tal. *boccale*, franc. *bokal*, njem. *Pokal*), *bukara* (lat. *bucarium*, prema grč. bogu vina Bakhu), *krčag* (lat. *carchesia*), *kupa*, *kupica*, *kupičica* (lat. *cuppa*: bačva),



Samoborka krigla s oznakom 0,5 litara (Glažuta Osredok; Samoborski muzej)



Bočica, tzv. klokočec, kakva se u izmjerama sajtljika, fraklića ili čokanja rabila u samoborskim gostionicama



Bilikum za dobrodošlicu, u luksuznijoj izvedbi

kalež<sup>10</sup> (lat. *calix*), *glas* (njem. *Glas*: staklo, čaša), *bićerin* (prema tal. *bicchiere*) i *žmulj* (vjerojatno prema lat. *modiolus*: mjerica). *Bilikum* (prema njem. *willkommen*: dobrodošao) je naziv posuda iz koji se obredno pilo za dobrodošlicu ili nazdravicu. Bio je u obliku jedne posude te više spojenih posuda. U sjevernoj Hrvatskoj i istočnoj Sloveniji je obično bio u obliku *trovrča*, triju spojenih posuda<sup>11</sup>, koje se prema slavenskoj legendi nazivaju *Čeh*, *Leh* i *Meh*. Stoga što početak naziva *bi-* zbuñujuće podsjeća na *dva*, neki ga zbog triju posuda neosnovano nazivaju *trilikumom*.

Od svih tih naziva jedino je *čaša* hrvatska riječ, postojala je u praslavenskom (a možda je to i najstariji naziv posude iz koje se pije, jer potječe još iz sanskrt), sve ostale su posuđenice.

Posude iz kojih se pije bile su nekada glinene, drvene, u rimsko doba olovne ili kositrene, a samo one najskuplje bile su staklene. Od kasnoga srednjega vijeka prevladavaju staklene. U nekim srednjoeuropskim zemljama rabe se i porculanske ili od kovine, često s poklopcima i bogato ukrašene slikama, reljefima ili okovom.

U samoborskom kraju su se većinom rabili nazivi *čaša*, *pehar*, *kupa* i *glas*, te obredni *bilikum*. Često puta kao umanjene: *čašica*, *peharček*, *kupica* i *glažek*, što, kako je već rečeno, ne znači da su malene. Obujam je tih posuda bio obično pola pinte (*holba*), ili četvrt pinte (*frtaljč*), a dolaskom litre ustalilo se krajem 19. st. na čaše od 2 dL. Pojavom pakiranih pića u 20. st. počelo se posluživati i izravno piti piće u raznim bocama, pod razgovornim i većinom nepouzdanim nazivima: *velika*, *mala*, *litrena*, *politrena*, *butelja* (oko 0,7 L) i sl.

## Posude iz kojih se piju žestoka pića

Najstariji i najopćenitiji nazivi posudica za pijenje žestokih pića su: *čašica*, *stamprl* (njem. *Stämpfeli*, *Stampperl*), *glažek*

(njem. *Gläschen*: čašica, staklenčica), *sajtlj* ili *satljik* (prema njem. austrijski *Seidel*, lat. *situla*: čaša), *frakl*, *fraklić* ili *fićok* (prema njem. bavarskom *Frackele*: čaša), većinom četvrtina *sajtljika*, a pod zadnje 0,05 do 0,125 L., te *čokanj* i *čokanjčić* (tur. *čokal*).

Obujam posudica za žestoka pića bio je neki manji dio pinte (obično 0,3 do 0,4 dL, najviše do 1,25 dL). U samoborskom kraju su se od davnina rabili nazivi *čašica* i *stamprl*, a još početkom 20. st. *sajtlj*, *frakl* i iznimno *čokanj*. *Klokočec* je, zbog klokotavog ispijanja kroz suženo grlo, bio šaljivi razgovorni naziv za *frakl* u obliku bočice.

## Posude iz kojih se pije pivo

Posude za pivo uvijek su imale posebne nazive i posebne obujme, osobito pod utjecajem „pivskih zemalja“ (Njemačke, Austrije, Švicarske). Bile su to ponajprije *pivska čaša* i *krigla*.

*Pivska čaša* je uvijek bila nešto veća od vinske čaše, nekada četvrtina pinte, odnosno polovica holbe, dakle oko 0,35 L, danas obično 0,3 L.

*Krigla* (prema njem. *Krug*: vrč; umanjena *Kruegel*: vrčić) gotovo redovito je naziv posude za ispijanje piva, prvotno vrčić od pola *pinte* (tj. oko 0,7 L), danas većinom od 0,5 L. Valja uzeti u obzir da krigle u raznim zemljama i raznim prigodama imaju i drugačije vrijednosti. Tako se na znamenitom *Oktoberfestu* u Münchenu pivo redovito pije iz krigla obujma 1 L. U nekim alemanjsko govorećim dijelovima Švicarske i Njemačke, osobito u seoskim *birchhausima*, rabi se naziv *štan-ga* (njem. *Stange*, umanjena *Stängel*) za pivsku čašu obujma 0,2 L ili 0,3 L, ponegdje i za kriglu, a u studentskom žargonu u Austriji za kriglu od 0,5 L.

Polovicom 20. st. pivo se počelo pakirati i prodavati u staklenim bocama, a krajem 20. st. u plastičnim bocama i aluminijskim limenkama, obujma u rasponu 0,2 do 2 L, iz kojih se nekada i izravno pije. U samoborskom kraju su se od davnina rabili nazivi (*pivska*) *čaša* i *krigla*, jednako kako se i danas rabe.

<sup>10</sup> Danas gotovo redovito samo naziv za liturgijsku posudu.

<sup>11</sup> Spojene posude za piće potječu još iz antike, većinom u svetom broju *tri*, a grčki se nazivaju *kernos*.

## Zaključak

Spomenuli smo niz posuda u kojima se čuva, prenosi ili prevozi pića, posuda iz kojih se natače, i najviše onih iz kojih se pije, a ponajprije one koje su zbog trgovanja pićem morale biti umjerene u nekim mjernim jedinicama obujma.

Vidi se kako je samo malo naziva posuda za pića izvorno hrvatski. Znatno je više naziva koji su posuđenice iz susjed-

nih jezika, mnogi su od njih odavno ušli u hrvatski jezik i današnjem govorniku ne zvuče kao strane. To obilje posuđenica iz europskih jezika trag su više od tisuću godina trgovačkih, kulturnih i političkih veza sa susjednim narodima. Slikovito možemo zaključiti kako su, barem što se tiče pića i ispijanja, naši stari od davnina bili u Europi, a i ta je Europa *takaj od navek bila pri nam!*

## Literatura

- [1] Ivan Krst. Tkalčić, *Povjestni spomenici slob. kralj. grada Zagreba prijestolnice Kraljevine dalmatinsko-hrvatsko-slavonske*. Svezak prvi. Brzotiskom K. Albrechta, Zagreb 1889.
- [2] Milan Lang, *Samobor – narodni život i običaji*. JAZU, Zagreb 1915. (preisak: HNS, Samobor 1992.)
- [3] Emilij Laszowski, *Stari i novi Zagreb*. Braća Hrvatskog Zmaja, Zagreb 1925. (preisak: Školska knjiga, Zagreb 1994.)
- [4] Zlatko Herkov, *Naše stare mjere i utezi*. Školska knjiga, Zagreb 1973.
- [5] Dragutin Hirc, *Stari Zagreb – Kaptol i Donji grad*. Matica hrvatska, Zagreb 2008.
- [6] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb \*2008.
- [7] Zvonimir Jakobović, *Pinta s gledišta mjerne jedinice (uz obljetnicu obnovljene Pinte)*. Gazophylacium, god. IV. br. 3-4/2009., str.171-173.
- [8] Tomislav Ladan, *Život riječi*. Novela media, Zagreb 2009.

# Hrvatska i *Konvencija o metru*<sup>1</sup>

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ

**U**Hrvatskoj se *Konvencija o metru* primjenjuje od doba njezina donošenja, tj. od 1876. godine. Ipak, Hrvatska je imala dug i poseban put dok je krajem 2008. godine postala punopravnom potpisnicom toga važnog međunarodnog mjeriteljskog dokumentu. Time se Republika Hrvatska još jednim korakom priključila skupu uređenih država. Taj je iznimni događaju ovih godina u našoj javnosti ostao gotovo nezapažen, možda i stoga što je *Metarski sustav jedinica* u nas prihvaćen prije više od 130 godina, a prastare mjerne jedinice zaboravljene u tih četiri-pet naraštaja.

## Prastare mjerne jedinice

Mjerenje, načini mjerenja i mjerne jedinice su zbog osobite važnosti za društveni poredak (razmjenu dobara i usluga, raspodjelu uroda, ulova ili plijena, plaćanje poreza i drugih dažbina, izmjeru zemljišta i dr.) u ljudskim društvima od davnina dogovarani i uređivani, a u uređenim društvima i propisivani prvim zakonima. Zakonitost mjernih jedinica u korijenima je društvene primjene mjeriteljstva od tih prvih ljudskih zajednica sve do današnjih država i suvremenoga globaliziranoga svijeta.

Mjerenje je rijetko područje ljudskoga djelovanja u kojem je gotovo potpuno postignuto međunarodno jedinstvo. Osnova toga suvremenog svjetskog mjernog jedinstva je međunarodni dogovor nastao 1875. godine pod nazivom *Konvencija o metru*. Njime se po svijetu proširio *Metarski sustav jedinica*, koji je 1960. godine prerastao u *Međunarodni sustav jedinica* (skraćeno *SI*, prema franc. *Systeme International d'Unités*) koji se danas primjenjuje u gotovo cijelom svijetu, a kojim je ujednačeno navođenje mjernih podataka u gotovo cijelom svijetu.



Prastare mjerne jedinice duljine bile su većinom nazvane prema dijelovima ljudskoga tijela: prst, palac, stopa, lakat itd. – Leonardov crtež čovjeka prema razmjerima antičkoga rimskog arhitekta Vitruvija

<sup>1</sup> Članak je objavljen u časopisu *Hrvatska revija* br. 3, 2013., str. 90-94.

Ustaljivanje se mjernih jedinica (duljine, ploštine, obujma, mase, vremena i dr.), od pamtivijeka provodilo na nekoliko načina. Ponajprije je to ustaljivano *običajima*, potom *dogovorima* neke društvene skupine, a u organiziranim društvima *propisima* nekoga autoriteta, obično vladara, vjerskog poglavara i sl. Tako ustaljene polazne mjerne jedinice i njihove mjere, tzv. *pramjere*, objavljivale su se proglasima, propisima, zakonima, te svima na znanje izlagale na javnim mjestima: trgovima, javnim spomenicima, u hramovima, javnim zgradama i sl.

Ustaljene su mjerne jedinice i njihove mjere, koliko nam je poznato ponajprije nastajale u prvim organiziranim državama Mezopotamije, a iz njih su se trgovinom, seobama, ratovima i drugim dodirima među ljudima širile svijetom.

Polazne se jedinice definiralo oslanjanjem na neke prirodne uzorke ili ih se povezivalo s autoritetima. Tako je, na primjer, mjerna jedinica duljine *prst* prvotno bio širina ljudskoga prsta, a potom je pouzdanije definiran kao ukupna duljina četiriju zrna nasumce uzetih iz ječmenoga klasa. Jedinice su ojačavane i nazivima oslonjenim na autoritete: *kraljevske jedinice*, *hramske jedinice* i sl. Podrijetlo se nekih mjernih jedinica pripisivalo bogovima, polubogovima, junacima, važnim precima, legendarnim pojedincima i dr. Takve nazive i podrijetla ne treba shvaćati doslovno, oni su ponajprije trebali osnažiti autoritarnost tih jedinica.

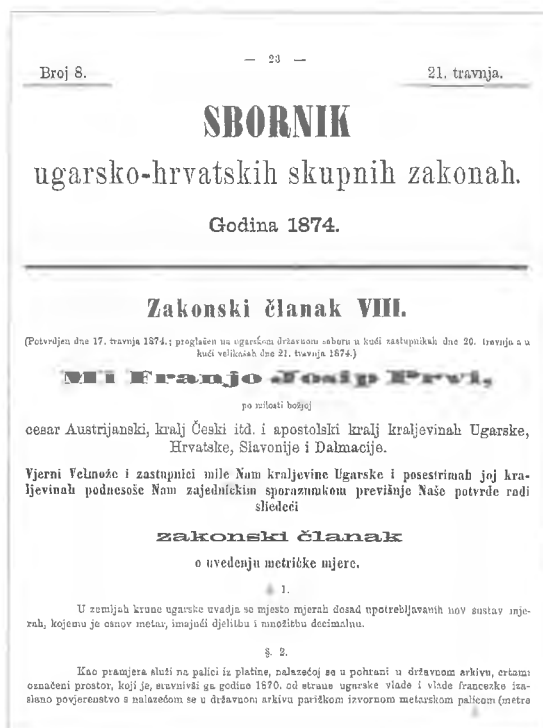
O postojanju, nazivima, vrijednostima i uporabi tih prastarih mjernih jedinica saznajemo izravno iz usmenih predaja, starih zapisa i natpisa, iz njihovih sačuvanih ostvarenja mjernim štapovima, urezima na spomenicima, posudama, utezima i dr., a posredno iz izmjera građevina, uporabnih ili ukrasnih predmeta i sl., koje se pronalaze pri arheološkim istraživanjima.

U prošlosti su mjerne jedinice, slično kao i novac, bile znak samosvojnosti, pa je gotovo svaki grad kao uređena ljudska zajednica imao svoje mjerne jedinice, kako se to nekada nazivalo *svoje mjere i utege*. Ujednačenost mjerenja je ovisila o veličini zajednice i njezinoga područja. Tako je Rimsko carstvo uspostavilo mjerno jedinstvo na velikom području tada poznatoga svijeta. Njegovim raspadom raspalo se i mjerno jedinstvo koje se samo u tragovima zadržalo u ljekarništvu europskih zemalja tokom srednjega i prvih stoljeća novoga vijeka. Do prije samo dva stoljeća u Europi je vladala danas nezamisliva raznolikost mjernih jedinica. Upotrebljavale su se stotine različitih *lakata*, *rifova* i *aršina*, deseci *funti* i raznih *mjerica* obujma, sve različiti od mjesta do mjesta, od vremena do vremena, te različiti za razna dobra i primjene. [2], [3], [8]

Porastom prometa, ponajprije željeznicom i brodovima, u početcima industrijske proizvodnje ta je raznolikost mjernih jedinica i slijedno mjernih podataka postajala sve većom poteškoćom, pa se, ponajprije u svijetu znanosti i primjene znanstvenih spoznaja, potom industrije, prometa i trgovine, pojavila zamisao i potreba za međunarodnim mjernim jedinstvom.

## Prapovijest metra

Početak novovjekovlja među znanstvenicima, osobito geodetima i astronomima, tinjala je zamisao o općenitim mjernim jedinicama, ponajprije duljine, ploštine, obujma i mase, osnovanim na prirodnim pramjerama.



Prva stranica zakonskoga članka o uvođenju Metarskoga sustava u Ugarskoj i Hrvatskoj

Jedna od zamisli je bila oslanjanje na mjernu jedinicu vremena *sekundu*, koja je već bila jasno definirana na astronomskoj osnovi, kao 86 400-ti dio dana (24 sata po 60 minuta od po 60 sekunda). Engleski filozof, biskup i državnik John Wilkins (1614. – 1672.) je u jednom eseju iz 1668. godine predložio da *opća jedinica duljine* (engl. *universal measure*) bude duljina sekundnoga njihala, tj. njihala kojemu je poluperioda titranja jedna sekunda. Još je nizozemski matematičar, fizičar i astronom Christiaan Huygens (1629. – 1695.) izveo ovisnost periode titranja matematičkoga njihala o duljini niti i gravitacijskom ubrzanju, te na osnovu toga konstruirao sat s njihalom. On je i odredio duljinu sekundnoga njihala na srednjoj geografskoj širini, u današnjoj jedinici 0,997 m. Talijanski znanstvenik, arhitekt i izumitelj Tito Livio Burattini (1617. – 1781.) je 1675. godine u djelu *Misura universale* predložio naziv takve jedinice *opća mjera* (tal. *metro cattolico*, prema grč. *μετρον καθολικον*, *metron katholikon*).

Druga je zamisao bila da se jedinica duljine osloni na neku izmjeru na Zemlji, pa se predlagalo da to bude stanoviti dio duljine podnevnika (meridijana), odnosno njegova luka između ekvatora i pola. Mnogi su znanstvenici davali prednost ovome drugom prijedlogu, jer duljina sekundnoga njihala ovisi i gravitacijskom ubrzanju, a to znači da se nešto razlikuje od mjesta do mjesta.

## Počeci međunarodnoga mjernog jedinstva

Zamisao o stvaranju jedinstvenoga sustava mjernih jedinica, s načelom *A tous les temps, à tous les peuples* (franc., *Za sva vremena, za sve narode*), neovisnoga o strukama, zemljama, kra-

ljevima i vremenima, bila je jedna od tekovina Francuske revolucije na kraju 18. st. Prijedlog je uvođenja takvog sustava 8. svibnja 1790. *Ustavotvornoj skupštini* obrazložio francuski znanstvenik, državnik i diplomat, biskup Charles Maurice de Talleyrand-Perigord (1754. – 1838.). Skupština je razradbu povjerila *Francuskoj akademiji* koja je imenovala odbor od tada najuglednijih znanstvenika. Početni su zahtjevi bili da polazne mjerne jedinice budu osnovane na *prirodnim pramjerama*, da se iz njih na jednostavan način izvode druge jedinice, da za svaku mjernu veličinu postoji samo jedna mjerna jedinica, a da se od nje tvore veće i manje jedinice *decimalnim putem*. Odlučeno je da se nova mjerna jedinica duljine nazove *metar* (prema grč. μέτρον, *metron*: mjera). *Narodna skupština* je 30. ožujka 1791. na osnovi prijedloga *Francuske akademije* odlučila da se kao osnova za metar uzme 10-milijuntni dio podnevničkoga kvadranta koji prolazi kroz Pariz.

Kako je iz političkih razloga valjalo što prije uvesti novi sustav mjernih jedinica, ne čekajući konačne rezultate mjerenja duljine luka podnevnika, donesen je 7. travnja 1795. zakon, koji je uveo decimalni *Metarski sustav* osnovan na jedinici duljine *metar* na osnovi dotadašnjih geodetskih podataka, te iz njega izvedenih jedinica ploštine *ar*, obujma *litra* i mase *gram*. Platinski prametar izrađen je 23. lipnja 1799. i pohranjen u *Nacionalnom arhivu*, a *Narodna skupština* odobrila ga je 10. prosinca 1799. Taj je prametar stoga nazivan *arhivskim metrom*.

Uvođenje novog mjernog sustava i u Francuskoj je išlo vrlo sporo. Stoga je 1837. god. donesen zakon koji je propisao da je od 1. siječnja 1840. to jedini zakonit mjerni sustav. Njegovih su pet glavnih jedinica bili *metar*, *četvorni metar*, *kubni metar*, *gram* i novčana jedinica *franak*, a preporučene su izvedene jedinice *ar* i *kubni decimetar*.

Taj se prvi metarski sustav i pored praktičnosti teško prihvaćao u drugim zemljama, jer je bio oslonjen na francuske pramjere i francusko zakonodavstvo. *Francuske mjere*, kako su tada još nazivali *Metarski sustav*, postupno su se širile Europom, pa su ih Belgija, Luksemburg i Nizozemska prihvatile još 1816. godine, a do 1875. godine 25 zemalja, uglavnom europskih, svojim je zakonima uvelo *Metarski sustav*. Sredinom 19. st. došla su dva važna poticaja za uvođenje jedinstvenog svjetskog mjernog sustava, kao osnove industrijalizacije, međunarodne trgovine, prometa te primjene tehničkih izuma i razmjene znanstvenih informacija.

Održane su dvije međunarodne izložbe, jedna 1851. godine u Londonu i druga 1867. godine u Parizu, na kojima je bila očita potreba uvođenja jedinstvenoga mjernoga sustava. Također je 1867. godine održana u Berlinu *Međunarodna geodetska konferencija*, koja je između ostaloga preporučila:

- U svrhu definiranja mjerne jedinice zajedničke svim europskim zemljama za sva vremena, Konferencija preporučuje izradbu novoga europskoga prametra. Duljina tog europskoga prametra neka se što manje razlikuje od pariškoga arhivskoga metra.
- Izradbu novog prametra i usporedbu s njegovim kopijama, namijenjenim raznim zemljama, neka vodi jedna međunarodna komisija u kojoj će sve zainteresirane države imati svoje predstavnike.
- Konferencija se zalaže za osnivanje europskoga međunarodnog ureda za utege i mjere.

Na osnovi tih prijedloga je francuska vlada za 8. kolovoza 1870. sazvala *Međunarodnu komisiju za metar*, na kojoj su uslijed rata između Francuske i Njemačke bili nazočni predstavnici samo 15 zemalja od pozvane 24 zemlje. Slijedeće je zasjedanje bilo 24. rujna 1872., na kojoj su bili predstavnici 30 zemalja, među njima i 11 zemalja iz obiju Amerika, na kojoj je doneseno niz rezolucija o *Metarskom sustavu* te preporučeno osnivanje *Međunarodnoga ureda za utege i mjere*. Konferencija nije mogla donijeti neke odluke, jer su izaslanici bili stručnjaci i znanstvenici, a ne opunomoćeni diplomati. [2]

## Potpisivanje Konvencije o metru

*Diplomatska konferencija o metru* okupila je 20. svibnja 1875. opunomoćenih 17 predstavnika 20 zemalja<sup>2</sup>, koji su potpisali međunarodni dogovor pod nazivom *Konvencija o metru* (franc. *Convention du Metre*), prevedena i kao *Dogovor o metru*, radi osiguranja međunarodnoga jedinstva mjera i usavršavanje *Metarskoga sustava*. U ime Austro-Ugarske konven-



Rukom pisani izvorni dokument Konvencije o metru – prva stranica

<sup>2</sup> Razlika u broju izaslanika i država je stoga što su složene države Austro-Ugarska, pa Švedska i Norveška, te Portugal i Alžir u međunarodnim poslovima djelovale zajednički.





Konvencija završava nadnevkom te potpisima punomoćnika. Zbog abecednoga poretka država na prvom je mjestu za Austro-Ugarsku potpisao grof Apponyi

ciju je potpisao opunomoćeni i izvanredni veleposlanik, ugarski grof Apponyi.

Konvencijom o metru ustanovljeno je nekoliko međunarodnih tijela, njihova ustrojstva, nadležnosti i financiranje. Glavno je tijelo *Opća konferencija za utege i mjere*, koju čine predstavnici vlada država ugovornica, a sastaje se svake četiri godine do šest godina. Izvršno tijelo je *Međunarodni odbor za utege i mjere*, a čini ga jedanaest članova koje bira *Opća konferencija*, te brojni savjetodavni odbori. Vrhunsko međunarodno mjeriteljsko središte je *Međunarodni ured za utege i mjere s uredima i laboratorijima* te sedamdesetak namještenika.

Nadnevak potpisivanja *Konvencije o metru* 20. svibnja, od 2000. godine se obilježava kao *Međunarodni dan mjeriteljstva*.

### Nove mjere.

Zakonom od 17. travnja 1874, stvorenim na hrvatsko-ugarskom saboru, uvadjaju se u sve zemlje krune ugarske, dakle i kod nas, posve nove mjere.

Od nove godine 1876 morat će svatko, koji što prodaje, robu svoju mjeriti ovom novom mjerom, i to ne samo pravi trgovac, nego baš i seljak, prodajući žito ili vino ili druge svoje plodine. Kazao sam naročito, da će se morati ta nova mjera upotrebljavati, jer pomenuti zakon određuje naročito, tko bi se od nove godine 1876 usudio drugom se mjerom služiti u javnom prometu, to jest kad što prodaje ili kuptje, da će mu se uzeti njegova mjera, pa će mu se još i udariti globa sve do 100 forintih, i ako nemože platiti, zatvorit će se.

Od ovud će svatko razumjeti, kako je prieko potrebno baš svakomu i slijednjemu, da nauči potanko poznavati te nove mjere, koje su posve različite od dosadašnjih; a poznati jih treba stranom da se ukloniš globi, stranom da te tko neprevari.

Kako je „Danica“ namijenjena svagdašnjim potrebam našega naroda, drži za svoju dužnost priskočiti u pomoć u tom pogledu svojim štiocem evo ovim naputkom.

Početak opsežnoga napisa Bogoslava Šuleka u Danici – Koledaru i ljetopisu za 1876. [1], koji je primjer kako je Metarski sustav uz zakone, propise i školske knjige u prvim godinama njegove primjene u Hrvatskoj, promican i u popularnim publikacijama

## Sjedište Međunarodnog ureda

Prema 3. članku *Konvencije o metru* francuska se vlada obvezala osigurati uvjete rada međunarodnih tijela. Stoga je za sjedište *Međunarodnog ureda* stavila na raspolaganje zgradu sa zemljištem dvorca *Pavillon de Breteuil*, gdje je smješten i danas. Od 1969. godine dvorac ima eksteritorijalni status, slično kao zgrade veleposlanstava.

Posjed se nalazi u mjestancu Sevresu, desetak kilometara zapadno od središta Pariza, na putu za Versailles, na nešto više od četiri hektara u šumovitom *Parc de Saint-Cloud*. Zgrada je sagrađena 1672. godine, a dvorac je današnji naziv dobio 1743. godine po Abbe de Breteuillu, članu vrlo ugledne francuske plemićke obitelji, te njegovom puno slavnijem nećaku, francuskom diplomatu Louisu-Augustu le Tonnelieru baronu de Breteuilu (1730. – 1807.), kojima je dvorac bio službeno sjedište.

Mjestance Sevres (koje valja razlikovati od departmana *Deux-Sevres* na zapadu Francuske) ima nešto više od dvadeset tisuća stanovnika, a poznato je po proizvodnji porculana naziva *nog sevres*, pa je tu i nacionalni muzej porculana. [6]

## Definicije metra

Metar je u doba nastanka *Konvencije o metru* bio definiran francuskom pramjerom. Ubrzo se pristupilo izradbi međunarodnog *prametra*. Izrađen je 1889. godine kao štap od platine i iridija, presjeka u obliku slova X da se smanje izobličennja pri postavljanju na dvama osloncima, a bio je u uporabi do uvođenja *Međunarodnog sustava* 1960. godine.

U nastojanju definiranja osnovnih jedinica pomoću prirodnih pramjera 1960. godine metar je bio definiran valnom duljinom zračenja pobuđenog plina kriptonu. Od 1983. godine metar je definiran brzinom svjetlosti, jednom od najpouzdanijih prirodnih stalnica:

»Metar je duljina puta koji svjetlost prijeđe u vakuumu za vrijeme jednog 299 792 458-og dijela sekunde.«



Međunarodni prametar bio je oslonac metra od 1889. do 1960. godine. Pohranjen je i danas u Međunarodnom uredu za mjere i utege kao muzejski primjerak. Pokraj njega je međunarodni prakilogram, koji je i danas oslonac svih kilograma, iako se radi na novoj definiciji, koja ne bi bila oslonjenoj na tvarnu pramjeru



Pavillon de Breteuil u Sevresu pokraj Pariza, sjedište Međunarodnoga ureda za utege i mjere

Tako metar nije vezan na tvarnu pramjeru, nego na prirodnu pojavu, pa se može ostvariti bilo kada i bilo gdje, te tako na Zemlji i izvan nje izrađivati i upotrebljavati pouzdane mjere duljine. [3]

## Hrvatska posredno pristupila Konvenciji o metru

U doba potpisivanja *Konvencije o metru* Hrvatska je bila u sastavu Austro-Ugarske Monarhije kao jedna od »zemalja krune ugarske«, dakle u posebnu državopravnom odnosu s Ugarskom. Stoga je *Metarski sustav* uveden zakonom zajedničkoga ugarsko-hrvatskoga sabora od 17. travnja 1874. (dakle više od godinu dana prije potpisivanja *Konvencije o metru*), kojega 1. članak glasi:

»U zemljah krune ugarske uvadja se mjesto mjerah do sad upotrebljavanih nov sustav mjerah, kojemu je osnov metar, imajući djelitbu i množitbu decimalnu.«

Novi se *Metarski sustav* u ugarskom dijelu Monarhije, dakle i u Hrvatskoj, počeo upotrebljavati 1. siječnja 1876. god. Isti je sabor 13. lipnja 1876. donio:

»Zakonski članak XXX. zajedničkoga ugarsko-hrvatskoga sabora tičući se naknadnoga kredita za godinu 1876. potrebita za podignuće i uzdržavanja internacionalnoga metričkoga ureda.«

Ministarstvu za poljodjelstvo, obrt i trgovinu daje se poseban kredit za troškove uspostavljanja »internacionalnoga metričkoga ureda« u Parizu do vrijednosti od 9364 forinte i 80 novčića (vrijednosti tadašnjih 23 412 franaka) i za uzdržavanje toga ureda u 1876. godini 1756 forinta (4390 franaka). [4], [7]

Tako je Hrvatska, budući je bila sastavnicom Austro-Ugarske Monarhije, supotpisnica *Konvencije o metru* u prvoj skupini

država, te je novčano doprinijela podizanju i uzdržavanju *Međunarodnoga ureda*, a svojim zakonima propisala uporabu *Metarskoga sustava*. Nove su mjerne jedinice već u prvim godinama prihvaćene u svim područjima primjene, izuzev zemljišnih knjiga gdje su stare mjerne jedinice ploštine zemljišta (*četvorni hvat, jutro, ral, dunum* i dr.) zamijenjene nakon više od stoljeća, tek u posljednjem desetljeću 20. stoljeća. Nazivi nekih starih mjernih jedinica, kao što su *col, hvat, lakat, aršin, pinta, polič, holba, frakl, čokanj, oka* i sl., ostali su samo u tragovima u razgovornom jeziku, te kao stilsko obilježje u nekim književnim tekstovima. [3], [1]

Tijekom 20. st. hrvatsko je mjeriteljstvo dijelilo sudbinu mjeriteljstva državnih tvorevina koje su nastajale i nestajale na ovim prostorima.

## Zakonsko mjeriteljstvo nakon osamostaljenja Republike Hrvatske

U času osamostaljenja Republike Hrvatske 8. listopada 1991. god. nastavljen je kontinuitet zakonskog mjeriteljstva *Zakonom o preuzimanju zakona o mjernim jedinicama i mjerilima*. Ubrzo je osnovan *Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo*, te je 1993. godine donesen prvi hrvatski *Zakon o mjernim jedinicama*. Temeljem *Zakona o mjeriteljstvu* iz 2003. god. donesen je *Pravilnik o mjernim jedinicama* usklađen sa smjernicama Europske unije [3]. Upravo je u pripremi novi *Zakon o mjeriteljstvu*.

Iako se sve zakonsko mjeriteljstvo u Republici Hrvatskoj preko međunarodnih normi i preporuka osnivalo na *Konvenciji o metru*, diplomatsko je pristupanje tome dogovoru potrajalo nekoliko godina.

## Republika Hrvatska pristupila Konvenciji o metru

Nakon svih potrebnih diplomatskih priprema Republika Hrvatska je 2008. god. pristupila *Konvenciji o metru*. O tome je 21. studenoga 2008. Hrvatski sabor donio *Zakon o potvrđivanju Konvencije o metru*<sup>3</sup>, kojega prvi članak glasi:

»Potvrđuje se Konvencija o metru, sklopljena u Parizu 20. svibnja 1875., dopunjena na četvrtoj Općoj konferenciji za utege i mjere 1907. godine i 6. listopada 1921. u Sevresu, u izvorniku na francuskom jeziku.«

Sastavni dio toga zakona je tekst *Konvencije o metru* u prijevodu na hrvatski jezik, a prilog izvornik na francuskom jeziku.

Prvi članak konvencije u prijevodu glasi:

<sup>3</sup> Narodne novine – Međunarodni ugovori, br. 10 od 12. prosinca 2008.

### Članak 1. (1875.)

»Visoke ugovorne strane obvezuju se na osnivanje i održavanje, o zajedničkom trošku, znanstvenog i stalnog Međunarodnog ureda za utege i mjere («Bureau international des poids et mesures») sa sjedištem u Parizu.«

Slijedom *Konvencije o metru* međuvladina organizacija *Opća konferencija za utege i mjere (CGPM)* danas okuplja 56

zemalja članica (među njima je od 2008. i Hrvatska) i 37 pridruženih država i ekonomskih unija (stanje 10. kolovoza 2012.)<sup>4</sup>.

Tako je Republika Hrvatska, iako je slijedom povijesnih okolnosti primjenjivala *Konvenciju o metru* od doba njezina međunarodnoga donošenja 1875. godine, te u samim počecima sudjelovala u plaćanju uspostave i održavanja *Međunarodnoga ureda za utege i mjere*, sada i formalno kao samostalna i suverena država pristupila tome međunarodnom dogovoru kao ravnopravna članica.

## Literatura

- [1] Bogoslav Šulek, *Nove mjere*. Danica – Koledar i ljetopis za 1876., str. 159-170.
- [2] Marijan Brezinščak, *Mjerenje i računanje u tehnici i znanosti*. Školska knjiga, Zagreb 1971.
- [3] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 1981., 1988., 1991., 2008.
- [4] Z. J., *Leksikon mjernih veličina*. Školska knjiga, Zagreb 2009.
- [5] Stanislav Viker, *Korijeni hrvatskog zakonskog mjeriteljstva*. Mjeriteljski vjesnik, br. 2, 3, 4, 6 i 8/1992., 2 i 3/1993.
- [6] Z. J., *Dogovor o metru*. DZNM Glasilo br. 5-6/1998., str. 78-84.
- [7] S. V., *Zakonsko mjeriteljstvo hrvatskih zemalja od 1853. do 1875.* Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb 1998.
- [8] Z. J., *Od lakta do metra*. Svijet po mjeri, 1./2012., str. 129-131.

<sup>4</sup> Aktualni podatci o CGPM-u se mogu naći na web-stranici: [http://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Conference\\_on\\_Weights\\_and\\_Measures](http://en.wikipedia.org/wiki/General_Conference_on_Weights_and_Measures)

# Od lakta do metra

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIC

**M**etar je osnovna mjerna jedinica *Metarskog sustava*, danas *Međunarodnog sustava mjernih jedinica*. Njegov je naziv i u naslovu *Konvencije o metru*, osnovnog međunarodnog dogovora kojim je uspostavljeno svjetsko mjerno jedinstvo. Prati se definicije i pramjere jedinica duljine, od najstarijeg poznatog nipurskog lakta, staroga gotovo pet tisućljeća, preko drugih povijesnih lakata, uključujući dubrovački lakat, do današnjega metra i njegovog uvođenja u Hrvatskoj u 19. st.

Lakat i metar omeđuju gotovo pettisućljetno razdoblje mjerenja. Lakat spada u najstarije mjerne jedinice duljine. Rabio se više od četiri tisućljeća, sve dok njega i druge stare jedinice nije u 19. st. zamijenio metar. Spominje se u mnogim starim izvorima, među njime i na prvim stranicama Biblije u izmjerama Noine arke<sup>1</sup>. S laktom je povezan i niz starih manjih i većih tzv. *antropometrijskih mjernih jedinica duljine*, oslonjenim na izmjere ljudskoga tijela. Metar je, uz njegove decimalne višekratnike i nižekratnike (kilometar, decimetar, centimetar, milimetar itd.), gotovo jedina zakonita mjerna jedinica<sup>2</sup> u većini svijeta, samo uz poneke iznimke<sup>3</sup>.

## Lakti i druge prastare jedinice

**Nipurski lakat** je najstarija pronađena duljinska pramjera, kojom je ostvarena mjerna jedinica duljine, danas također nazivana *nipurskim laktom*. Pronađen je 1916. godine pri arheološkim istraživanjima u ruševinama jednoga hrama sumerskoga grada *Nipura* (sumerski *Nibur*) jugoistočno od Bagdada, u današnjem Iraku. Datiran je na oko 2650. godina pr. Kr. Danas je pohranjen u Arheološkom muzeju u Carigradu.

Pramjera nipurskaog lakta je štap od bakrene slitine, mase 45,5 kg, sa šest urezanih oznaka na različitim razmacima, među kojima su i dva razmaka<sup>4</sup> od oko 51,8 cm. Procijenjeno je da oni ostvaruju *lakat* srednje duljine 51,83 cm, koji se dijelio na 30 *palaca* (vrijednosti 1,727 7 cm). Među razmacima je i manja jedinica *stopa*, koja sadržava 16 palaca (vrijednosti 27,643 cm), a duljina je cijeloga štapa približno 4 stope (tj. 110,573 cm). Na štapu su i raz-

Tablični kalkulatori, kao što je MS Excel, jedna su od najpopularnijih programskih aplikacija koja je našla široku primjenu u raznim djelatnostima, a često se primjenjuju i u DrP reguliranom okruženju kao što su laboratoriji za nadzor nad kvalitetom i procesni laboratoriji u proizvodnji.

Nipurski lakat u Arheološkom muzeju u Carigradu



<sup>1</sup> Knjiga Postanka, 6, 15-16.

<sup>2</sup> Pravilnik o mjernim jedinicama. NN br. 2, od 4. siječnja 2007.

<sup>3</sup> Zakonite su iznimne jedinice *morska milja* u pomorskom i zračnom prometu i *astronomska jedinica* u astronomiji, a u zemljama engleskog govornog područja rabe se i tradicijske mjerne jedinice.

<sup>4</sup> Sve vrijednosti će se zbog jednostavnosti navoditi samo *srednjim vrijednostima*, bez naznake pogriješke mjerenja.

maci između oznaka od 12 palaca (koji se u antici također rabio pod nazivom *dodrans*), te od 18 palaca, koji se rabio pod nazivom *druzijska stopa*. Prikazani su i dva razmaka od po četiri palca, koji čine *šaku*, a 12 šaka čine tzv. *megalitski koračaj* (vrijednosti 82,93 cm).

Ta pramjera nipurskog lakat prikazuje dakle cijeli složeni sustav jedinica duljine. One su bile osnova mjernih jedinica duljine u kulturama bliskoga Istoka i Sredozemlja, koje su u mnogočemu nasljedovale babilonsku.

**Egipatski kraljevski lakat** koji se tisućljećima rabio u drevnome Egiptu, potječe od nipurskoga lakta. Pridjevak *kraljevski* označavao je autoritet koji ga je propisao. *Stari kraljevski lakat* iznosio je  $20 \times \sqrt{2/28} \approx 1,01015$  nipurskih lakata (tj. 52,388 cm), a *kraljevski lakat* iznosio je  $20 \times \sqrt{2/28}$  starih kraljevskih lakata (tj. 52,920 cm). Sadržan je u izmjerama stepenaste piramide faraona Džozera, oko 2700 god. pr. Kr.

Egipatski kraljevski lakat bio je ostvaren kamenom pramjerom. Iz njega su se razvili lakti drugih sredozemnih kultura.

**Biblijski lakti** se spominju na nizu mjesta u Bibliji, prvi puta već na samom početku Biblije. U Starom zavjetu spominje se *lakat* vrijednosti oko 45 cm, dakle znatno kraći od nipurskoga i egipatskoga, koji se dijelio na 6 dlanova. Stariji *dulji lakat* koji je »za jedan dlan dulji od običnoga lakta«<sup>5</sup>, dakle dugačak 7 dlanova, vrijednosti 52,5 cm, bio je sličan drevnom egipatskom *kraljevskom laktu*. Procjenjuje se kako je lakat koji se spominje u Novom zavjetu bio duljine oko 55 cm.

**Rimski lakat** je bio mjerna jedinica duljine cjelovitoga antropometrijskoga sustava mjernih jedinica (prst, palac, pedalj, lakat .....). Opisao ga je rimski arhitekt Vitruvije u svom znamenitom djelu o arhitekturi<sup>6</sup>. Te se jedinice od Vitruvija do Leonarda da Vincija nastojalo uskladiti s idealnim izmjerama duljina dijelova ljudskog tijela.

Polazna jedinica je bio *prst* (lat. *digitus*), definiran kao ukupna duljina četiriju ječmenih zrna, procijenjen na 1,85 cm. Veća su jedinice bile *palac* (lat. *pollex* ili *uncia*) vrijednosti 1 i 1/3 prsta, tj. 2,47 cm, *pedalj* ili *šaka* (lat. *palmus*) vrijednosti 4 prsta, tj. 7,40 cm, a potom *stopa* (lat. *pes*) vrijednosti 4 ped-



Leonardov crtež čovjeka prema Vitruvijevim razmjerima

<sup>5</sup> Ezekijel, 40, 5.

<sup>6</sup> Marko Vitruvije Polio (lat. *Marcus Vitruvius Pollio*; 80-70. pr. Kr. – 15.), rimski pisac i arhitekt, prvi teoretičar arhitekture, dotadašnja znanja skupio u *Deset knjiga o arhitekturi* (lat. *De architectura libri decem*).

lja, tj. 29,60 cm, te *lakat* (lat. *cubitus*) vrijednosti 6 pedalja, tj. 44,40 cm i dr. Iz rimskih su mjernih jedinica nastajale srednjovjekovne mjerne jedinice europskih zemalja, sličnih naziva, ali mjesno i vremenski prilično različitih vrijednosti. Trag je nekih od njih u današnjim angloameričkim jedinicama duljine.

Pramjere mjernih jedinica duljine, većinom u obliku metalnih štapova, izlagane su na javnim mjestima samostalnih gradova (trgovima, hramovima, spomenicima, zidinama i sl.), među ostalim i kao znak samosvojnosti.

**Hrvatski lakat** nazivan i *hrvatski ref* (mađ. *röf*) navodi se u starijim izvorima, ali je do danas nepoznate vrijednosti. Vjerojatno je bio sličan rimskom laktu, kao što su i mnoge druge srednjovjekovne europske mjerne jedinice bile slične rimskima.

**Dubrovački lakat** bio je službena mjerna jedinica Dubrovačke Republike. Osnivao se na razmaku od lakta do vrha prstiju na kipu viteza Orlanda. Ta je duljina ponovljena uklesanom dužinom u podnožju spomenika, a metalna pramjera, prema kojoj su izradivane uporabne mjere lakta, čuvala se u palači Sponza. Vrijednost mu je 51,2 cm, dakle neznatno je kraći od drevnog nipurskog lakta. I danas stoji u središtu Dubrovnik, kao znak njegove nekadašnje samosvojnosti.



Prof. A.J. Wallard (ravnatelj BIPM od 2004 do 2010 g.) uspoređuje svoj lakat s dubrovačkim laktom koji se nalazi na Orlandovom stupu

**Turski lakat** ili *aršin* (tatarski preko turskoga, *arşyn*) bio je jedinica duljine u bliskoj Aziji, rabio se u zemljama Osmanškoga carstva, a trgovinom i u susjednim zemljama. Postojali su vremenski, mjesno i uporabno različiti aršini, na primjer, graditeljski, trgovački i krojački, svi vrijednosti između 65 cm i 75 cm. Aršin se u hrvatskom jeziku zadržao kao zastarjela posuđenica, ponajprije u raznim iztekama.

**Bečki lakat** ili *bečki rif* (njem. *Elle*) bio je službena mjerna jedinica u zemljama Habsburške Monarhije, dakle i u Hrvatskoj. Posljednji puta je definiran pramjerom 1853. godine. Pramjere raznih austrijskih mjernih jedinica duljine i danas se nalaze na vanjskom zidu katedrale sv. Stjepana u Beču. Ukinut je 1876. godine pri uvođenju *Metarskoga sustava*, kada je navedeno kako mu je vrijednost 0,777 m. Uz njega se rabio *bečki hvat* ili *klafter* (njem. *Klafter*) vrijednosti 1,896 48 m, koju se

u obliku četvornog hvata, vrijednosti 3,6 četvornih metara zadržao za izmjeru zemljišta gotovo do današnjih dana.

## Metar

**Francuski metar.** Stare mjerne jedinice su se kroz povijest mjesno i vremenski, često i iz političkih razloga, često mijenjale, slično kao i novčane jedinice. Želja da se uvedu jedinstvene mjerne jedinice, neovisne o carevima i kraljevima, tinjala je među znanstvenicima u prvim stoljećima novovjekovlja. Ostvarena je nakon Francuske revolucije uvođenjem mjernih jedinica »za sva vremena, za sve narode« ostvarenih na temelju prirodnih pramjera osnovnih jedinica duljine, mase i vremena. Veće i manje jedinice tvore se od tada sustavno, decimalnim omjerima<sup>7</sup>.

Francuska nacionalna skupština je 8. svibnja 1790. odlučila da se nova mjerna jedinica duljine nazove *metar* (prema grčkom *metron*: mjera), te da bude jednaka duljini njihala kojemu je poluperioda jedna sekunda. Kako je ta duljina ovisna i o gravitacijskom ubrzanju na mjestu mjerenja, ista je skupština 30. ožujka 1791., na prijedlog *Francuske akademije*, odlučila da se kao osnova za metar uzme 10-milijuntni dio meridijanskog kvadranta koji prolazi kroz Pariz, a to je duljina između ekvatora i sjevernoga pola. Organizirano je 1791. godine i novo mjerenje luka meridijana, koje se zbog ratnih prilika odužilo, a rezultate je dvije godine obrađivalo 26 europskih znanstvenika.

**Metarski sustav.** Kako je iz političkih razloga valjalo što prije uvesti novi sustav mjernih jedinica, ne čekajući konačne rezultate mjerenja donesen je 7. travnja 1795. zakon, koji je uveo decimalni *Metarski sustav* osnovan na jedinici duljine *metar* na osnovi dotadašnjih podataka, te iz njega izvedene jedinice ploštine *ar*, obujma *litra* i mase *gram*. Iste je godine načinjena priremena mjedena pramjera metra. Platinski prametar izrađen je 23. lipnja 1799. i pohranjen u Nacionalnom arhivu, a Francuska nacionalna skupština odobrila ga je 10. prosinca 1799. Taj je prametar stoga nazivan *arhivskim metrom*.

Metarski sustav mjernih jedinica širio se po cijelom svijetu. Uvidjelo se prednosti jedinstvenog mjernog sustava, osobito uslijed razvoja prometa, industrije i tehničkih dostignuća. Nakon višegodišnjih priprema pristupilo se međunarodnom dogovoru.

**Konvencija o metru.** *Diplomatska konferencija o metru* okupila je 20. svibnja 1875. opunomoćene predstavnike 17 zemalja, koji su potpisali međunarodni dogovor pod nazivom *Konvencija o metru* (franc. *Convention du Metre*) radi osiguranja međunarodnog jedinstva mjera i usavršavanje Metarskoga sustava.

*Konvencijom o metru* ustanovljeno je nekoliko međunarodnih tijela, njihova ustrojstva, nadležnosti i financiranje. Glavno je tijelo *Opća konferencija za utege i mjere*, koju čine predstavnici vlada država ugovornica, a sastaje se svake četiri godine. Izvršno tijelo je *Međunarodni odbor za utege i mjere*, a čini ga jedanaest članova koje bira *Opća konferencija*, te brojni savjetodavni odbori. Vrhunsko međunarodno mjeriteljsko središte

je *Međunarodni ured za utege i mjere*, sa sjedištem u Sevresu pokraj Pariza.

U doba potpisivanja *Konvencije o metru* Hrvatska je bila u sastavu Austro-Ugarske Monarhije kao jedna od »zemalja krune ugarske«, dakle u posebnu državno-pravnom odnosu s Ugarskom. Stoga je *Metarski sustav* uveden zakonom zajedničkog hrvatsko-ugarskoga sabora od 17. travnja 1874., a stupio je na snagu 1. siječnja 1876. god.

Tako je Hrvatska, budući je bila sastavnicom Austro-Ugarske Monarhije, supotpisnica *Konvencije o metru* u prvoj skupini država, te je tada i novčano doprinijela podizanju i uzdržavanju Međunarodnoga ureda, a svojim zakonima propisala uporabu *Metarskoga sustava*.

Osamostaljenjem Republika Hrvatska je nakon svih potrebnih diplomatskih priprema 2008. godine pristupila *Konvenciji o metru* kao punopravna ugovornica. O tome je 21. studenoga 2008. Hrvatski sabor donio *Zakon o potvrđivanju Konvencije o metru*. Danas *Konvencija o metru* okuplja 56 zemalja ugovarateljica i 37 pridruženih zemalja.

**Definicije metra.** U doba nastanka *Konvencije o metru* metar je bio definiran francuskom pramjerom. Ubrzo se pristupilo izradbi međunarodnog prametra. Izrađen je 1889. godine kao štap od platine i iridija, presjeka u obliku slova X da se smanje izobličenja pri postavljanju na dvama osloncima, a bio je u uporabi do uvođenja *Međunarodnog sustava* 1960. godine.

U nastojanju definiranja osnovnih jedinica pomoću prirodnih pramjera 1960. godine metar je definiran valnom duljinom zračenja pobuđenog kriptonu.

Od 1983. godine metar je definiran brzinom svjetlosti, jednom od najpouzdanijih prirodnih konstanti:

Metar je duljina puta koji svjetlost prijeđe u vakuumu za vrijeme jednog 299 792 458-og dijela sekunde.

Tako metar nije vezan na tvornu pramjeru, nego na prirodnu pojavu, pa se može ostvariti bilo kada i bilo gdje, te tako izrađivati i upotrebljavati pouzdane mjere duljine.



*Međunarodni prametar pohranjen i danas u Međunarodnom uredu za mjere i utege, bio je oslonac metra od 1899. do 1960. godine*

<sup>7</sup> Z. Jakobović, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.

# Integrirani sustav upravljanja „Model Štampar“



## ISO 9001 / ISO 14001 / ISO IEC 17025 / ISO 15189

- Sustav upravljanja kvalitetom - Certifikat ISO 9001:2008 (BVQ - 2014.-2017.)
- Sustav upravljanja okolišem - Certifikat ISO 14001:2004 (BVQ - 2014.-2017.) **Eko-škola**
- Akreditacija ispitnih laboratorija ISO/IEC17025 (HAA - 2003.-2018.)
- Akreditacija medicinskih laboratorija ISO 15189 (HAA – 2015.-2020.)

## ISO/IEC17025 - Pregled broja ispitnih metoda i parametara

**343 metode / 160 metoda (30 % fleksibilno područje)**

**1256 parametara / 619 akreditirano**

# Od karata do kilograma

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ

**V**aga je jedan od najstarijih mjernih uređaja. Načelo je vage uspoređivanje težina tijela na jednome određenom mjestu u gravitacijskom polju. Težina tijela  $G$  razmjerna je masi  $m$  tijela i gravitacijskom ubrzanju  $g$ , pa se mjerenja s promjenom mjesta u gravitacijskome polju (a u bestežinskome stanju iščezava)

$$G = m \cdot g.$$

Kako je masa tijela neovisna o gravitaciji, rezultat se vaganja izražava *masom* u nekim *mjernim jedinicama mase*. Ipak, zbog te razmjernosti između težine i mase, u običnome životu često dolazi do miješanja (a do prije malo više od stotinjak godina nije se ni razlikovalo), pa se govori o *težini tijela*, a izražava se *mjernim jedinicama mase*<sup>1</sup>. To, osim neispravnoga nazivanja, ne prouzrokuje pogreške jer su na jednome mjestu težine tijela i njihove mase izravno i jednoznačno razmjerne.

Prvotne su se vage upotrebljavale još prije desetak tisuća godina. Vjerojatno su se osnivale na jarmenici na ramenima za nošenje tereta u dvjema košarama, kako se to i danas radi na Srednjem i Dalekom azijskom istoku. Najstarije vage bile su vodoravne poluge, ovješene ili oslonjene u sredini, s dvjema zdjelicama na krajevima, jedna za predmet koji se važe, a druga za utege. Crteži takvih vaga nalaze se još na staroegipatskim spomenicima. Vage su se razvijale u nekoliko smjerova: po namjeni kao jednostavne vage za mjerenja u trgovini, kao izdržljive vage u obrtničkim radionicama, industriji i prometu te kao precizne vage za mjerenja u fizici, kemiji, ljekarništvu, zlatarstvu, draguljarstvu.

Po izvedbi su razvijene vage s jednakim krakovima, vage s različitim krakovima i vage sa sustavom poluga. [3]



Vaga jednakih krakova na jednoj srednjovjekovnoj ilustraciji

Odmjeravanje mase ili težine tijela jedan je od postupaka za ustanovljivanje „koliko neke stvari ima“. Najstariji način takvoga „odmjeravanja“ subjektivna je procjena držanjem predmeta u ruci ili uspoređivanje težine dvaju predmeta držanjem u dvjema rukama. Za objektivna su mjerenja već potrebne naprave: vage i uteži.

Vagama se nazivaju i *dinamometri* u kojima se težina predmeta uspoređuje s napetošću opruge. Pokaznike takvih vaga zbog razlike u gravitaciji na pojedinim mjestima valja svaki puta prije mjerenja dovesti u početni položaj.

Uravnoteženje vage vidi se na položaju poluge ili neke kazaljke. Posljednjih desetljeća razvijene su vage s elektroničkim pretvornicima i brojčanim pokaznicima.

*Vaga* i *vaganje* od davnina su istoznačnice općenito za mjere i mjerenje, pa je i vaga u rukama uosobljena *Pravde* znak objektivnoga uspoređivanja.

<sup>1</sup>Tako je svojedobno postupio i DIN 1305 nazvavši te pojmove *Masse*, *Gewicht als Wägebgebnis*, tj. *masa*, *težina kao rezultat vaganja*, a silu je nazvao *Gewichtskraft*, tj. težinska sila.



**Utezi** su ostvarene mjere jedinica mase. Ipak, kako su osobito važni za mjerenje mase isticali su se među ostalim mjerama i posebnim nazivom, tako da vrhunska mjeriteljska ustanova, osnovana još u 19. st., i danas nosi naziv *Međunarodni ured za utege i mjere* (franc. *Bureau international des poids et mesures*).

*Prvotni utezi* bili su predmeti poznati sudionicima vaganja: odabrani kamen, plodovi ili neke rukotvorine. Tako se, na primjer, još u Antici za vaganje izradaka od plemenitih kovina i dragulja rabilo sjemenke rogača (grč. *κεράτιον keration*: roščić) koje su podjednake u svim plodovima. Feničani su trgovinom uporabu takva utega proširili po cijelome Sredozemlju. Nazivali su taj uteg *karat*<sup>2</sup> ili nekom inačicom u pojedinim jezicima.

Mjerna jedinica *karat* osnovana na tome utegu rabi se do danas. U različitim su se zemljama i u razna vremena rabili različiti karati, u rasponu 188,500...207,353 mg. Rabila se i manja jedinica *zrnice*, vrijednosti  $\frac{1}{4}$  karata.

Uz mnoge mjesne i vremenske promijene *Udruženje draguljara* u Parizu 1871. godine predložilo je ujednačeni karat, vrijednosti 0,205 g (koji će poslije biti nazvan *starim karatom*). Nakon toga je, na temelju prijedloga *Povjerenstva za instrumente i rad Međunarodnog odbora za utege i mjere* 1907. godine međunarodno definiran tzv. *metrički karat*, vrijednosti  $2 \times 10^{-4}$  kg = 0,2 g = 200 mg.

Danas je *metrički karat* zakonita, iznimno dopuštena mjerna jedinica za izražavanje mase dijamanata, bisera i dragoga kamena<sup>3</sup>.

Prvi su se utezi izrađivali kao namjenski predmeti od pečene gline, kamena ili metala. Ustalilo se da su veći utezi većinom u obliku valjaka s prikladnom ručkom za hvatanje, a oni manji u obliku pločica. Utezi za javnu uporabu ostvarenje su neke mjerne jedinice mase ili njezina višekratnika ili nižekratnika, pa je na njemu taj podatak jasno napisan te ovjeren žigom onoga tko ga je umjerio. Povijesne utege u starim mjernim jedinicama nalazimo pri arheološkim istraživanjima, a poneki su sačuvani i u muzejima i tematskim zbirkama.

Svaka je kultura imala svoje jedinice mase (do 20. st. nazivane *težinom*). Za nas su zanimljive jedinice mase drevnoga Rima koje su doprle gotovo do naših dana jer su se na njih oslanjale srednjovjekovne europske mjerne jedinice mase, osobito u ljekarništvu [1]. Bile su to *libra*, *uncia* (1/12 libre), *sicilius* (1/4 uncie), *sextula* ili *solidus* (1 i 1/2 siciliusa), *dragma* (1 i 1/3 sextula) i dr.

Do uvođenja *Metarskoga sustava* i njegove mjerne jedinice mase *kilograma* upotrebljavale su se brojne stare jedinice mase. Tako je još i danas u nekim zemljama engleskoga govornog područja, odakle nam se na pakovinama u trgovini „vraćaju“ funte, unce i dr.

Jedna od često upotrebljivanih mjernih jedinica mase stoljećima je bila *funta* oslonjena na rimsku *libru* te njezina manja jedinica *unca*, oslonjena na rimsku *unciu*.

<sup>2</sup>Neki smatraju kako naziv možda potječe od indijske riječi *kuara*, naziva sjemenke jedne mahunarke (leguminoze) koja se kao i sjemenka rogača rabila kao uteg. [2]

<sup>3</sup>Valja razlikovati istoimenu brojčanu jedinicu *karat*, u značenju 1/24 masenoga udjela zlata u zlatnoj slitini.

## Funta

*Funta* (lat. *libra*) bila je u doba drevnoga Rima prvotno vrijednosti = 333,3434 g. Prema latinskome nazivu *pondus* za uteg nastao je naziv u mnogim europskim jezicima: njem. *Pfund*, engl. *pound*, hrv. *funta* itd. Danas se u engleskome govornom području još rabi UK funta i US funta (engl. *pound*; znak lb, prema lat. *libra*), vrijednosti lb ≈ 453,592 37 g, a dijeli se na 16 unca (engl. *ounce*; znak oz) od 28,349 5 g.

U nas se tijekom srednjega vijeka i novovjekovlja rabilo nekoliko funti. Do 16 st. upotrebljavala se *bečka ljekarnička funta* vrijednosti ≈ 333,2125 g, a do 1761. godine vrijednosti ≈ 353,628 g. Dijelila se na 12 *ljekarničkih unča*. Godine 1761. uvedena je *nova ljekarnička funta* vrijednosti ≈ 420 g, izjednačena s 12 trgovačkih unča. *Građanska ili trgovačka funta* bila je vrijednosti 560 g, definirana s 19 starih ljekarničkih unča, a dijelila se na 16 *trgovačkih unča* (po 35 g). [5]

Te su funte i druge „mjere težine“ posljednji put u Austrijskom Carstvu definirane ujednačavanjem mjerenja *Cesarskom naredbom* iz 1853. godine. [4]

U našim se istočnim krajevima rabila i (*turska*) *oka*, jedinica obujma i mase orijentalnoga podrijetla, vrijednosti 1,282 kg, odnosno toliko litara.

Uvođenjem Metarskoga sustava *Zakonskim člankom VIII. 1874. zajedničkoga hrvatsko-ugarskoga sabora ob uvođenju metričke mjere*, koji je stupio na snagu 1. siječnja 1876. razne mjerne jedinice mase zamijenjene su kilogramom, odnosno njegovim nižekratnicima, u sljedećim vrijednostima:

bečka funta = 0,56006 kg  
ljekarnička funta = 0,42004 kg  
carinska funta = 0,5 kg  
bečka marka = 0,28067 kg  
bečka centa = 56,006 g  
carinska centa = 50 kg  
bečki lot = 17,502 g  
bečki karat = 0,20597 g  
dukat (zlatni) = 3,4909 g

*Zakonskim člankom* iz 1891. godine definiran je kilogram (izvorni tekst):

»Temeljnomo mjerom težine, dotično mase služi ona masa tjelela u obliku valjka, koje se nalazi u pohrani u državnom arhivu, te je pod nadzorom u Parizu stolujućega međunarodnoga metarskoga povjerenstva napravljeno iz 90 dielevah težine platine i 10 dielovah težine iridiuma, te sravnjeno izvornim kilogramom (kilogramme prototype), nalazećim se u međunarodnoj pohrani u prostorijah međunarodnog metarskog povjerenstva. Masa istog iznaša 1 kg. + 0\*056 mg., to jest 1 kg. i petdeset i šest tisućinah miligrama.«

Prelaskom na metarske jedinice 1876. godine stare su jedinice otišle u zaborav, ali se njihovi tragovi još mogu naći u sta-



*Vaga nejednakih krakova s pomičnim utegom, tzv. kantar, stoljećima se rabila na tržišnicama*

rijoj literaturi, starim ljekarničkim, obrtničkim i kuharskim receptima, starim izrekama i sl.

U to su doba vage nejednakih krakova s pomičnim utegom, tzv. *kantari*, koje su se rabile u trgovini, prepravljane „u kućnoj radinosti“ s *funti* i *oka* u *kilogram*e, često i nevjesto, te su se još dugo upotrebljavale i na tržnicama, sve do polovice 20. st. kada su prisilno izbačene iz uporabe.

## Kilogram

Kilogram (znak kg) jedna je od sedam osnovnih jedinica Međunarodnoga sustava. Njegova definicija glasi:

Kilogram je masa međunarodnoga *prakilograma*, koji je pohranjen u Međunarodnom uredu za utege i mjere.

Kilogram je istodobno i naziv utega od jednoga kilograma.

Od svih osnovnih jedinica kilogram je danas najjednostavnije definiran. Ljudskim je dogovorom to masa jednoga određenog utega. S mjeriteljskoga stajališta ta definicija ima niz nedostataka: to je jedan predmet koji može na različite načine biti oštećen ili uništen, on se duljim vremenom svakako mijenja, nije oslonjen na neki univerzalni prirodni oslonac, svi se utezi moraju s njime izravno ili posredno umjeriti itd. Stoga se radi na suvremenom pouzdanijem definiranju kilograma.

Povijest je kilograma međutim znatno složenija od njegove definicije. Niz je znanstvenika, među njima i engleski filozof John Wilkins (1614. – 1672.), predlagalo da se mjerna definicija mase osloni na gustoću vode kao najrasprostranjenije tvari. Stoga je još u začetcima Metarskoga sustava, koji je potaknuo francuski kralj Luj XVI (1754. – 1793.), za jedinicu mase predložena 1793. godine jedinica *grave* (prema lat. *gravitas*: težina; znak G). Bila je definirana litrom vode pri 4°C kada je voda najveće gustoće. Grave nikada nije ušao u uporabu, nego je 1795. predložen za osnovnu jedinicu mase *gram* (prema grč. *γράμμα*, *gramma*: mala težina; znak g) definiran kubnim centimetrom vode na ledištu. Gram je nespretno odabran, za svakodnevnu je uporabu premalen, a voda je nepriljučna za pramjeru. Stoga je predložena tisuću puta veća jedinica *kilogram* (prema grč. *χίλιοι*, *kilioi*: tisuću; znak k), pa mu je znak kg. Kilogram je definiran masom kubnoga decimetra vode najveće gustoće, tj. pri 4°C. Etalon kilograma ili *prakilogram*<sup>4</sup> izrađen je 1799. godine kao valjak od platine (poslije je ustanovljeno da je neznatno veće mase od kubnoga decimetra vode), a budući da je predstavljen i pohranjen u Arhivu republike, nazvan je *arhivskim kilogramom*.

Zanimljivo je, kako toj novoj jedinici mase nije dan poseban, već upotrijebljen naziv *grave*, nego je ostavljen izvedeni naziv decimalnoga višekratnika od grama *kilogram*, što je ostalo. To nam i danas čini poteškoću jer se od njega ne mogu tvoriti nazivi decimalnih višekratnika i nižekratnika (jer bi se dva puta upotrijebio predmetak, što je nespretno, pa bi na primjer tisuću kilograma bilo *kilokilogram*), a jednako tako ne mogu tvoriti ni znakovi (znak bi bio kkg). Razlog je tomu danas neobičan. Riječ *grave* podsjećala je na njemačku grofovsku titulu (njem. *Graf*, franc. *count*), što je u doba Francuske revolucije bilo politički nepriljučno!

Pri potpisivanju *Konvencije o metru* 1875. godine odlučeno je da se izradi novi *međunarodni prakilogram*. Stoga je 1879. godine izrađen uteg od slitine platine i iridija u obliku valjka visine jednake promjeru (39,17 mm). Izrađena su tri primjerka, od kojih je onaj koji je bio najbliži *arhivskom kilogramu* 1883. odabran za međunarodnu pramjeru, a 1889. godine formalno proglašen *međunarodnim prakilogramom*. Od preostala dva primjerka jedan je odabran kao *svjedok* (franc. *témoin*) međunarodnoga prakilograma, a jedan je dodijeljen Francuskoj kao nacionalni etalon.

Potom je izrađeno četrdesetak etalona kilograma, od kojih je u nekoliko koraka još pet proglašeno svjedocima, a tri se rabe kao radni etaloni. Kopije koje su podijeljene zemljama potpisnicama postale su *nacionalnim prakilogramima*. Do 2003. godine izrađeno je ukupno 84 etalona kilograma. Svi se etaloni povremeno posredno uspoređuju s međunarodnim prakilogramom i međusobno vrlo preciznim postupcima, a masa im se iskazuje u odnosu prema međunarodnome prakilogramu.

Danas su taj *međunarodni prakilogram* (nazvan IPK prema engl. *international prototype kilogram*) i njegovih šest *svjedoka* pohranjeni u podzemnom trezoru *Međunarodnoga ureda za utege i mjere* u Sevresu pokraj Pariza. Svjedoci i radni etaloni iznimno se rijetko vrlo preciznim postupcima umjeravaju s prakilogramom i međusobno. U stotinu godina umjereni su samo četiri puta. Nacionalni prakilogrami umjeravaju se s radnim etalonima, a samo iznimno rijetko sa svjedocima.

Nakon osamostaljenja Republike Hrvatske i pokretanja ratifikacije *Konvencije o metru* i Hrvatska je dobila svoju kopiju etalona kilograma, koja je sada službeni hrvatski državni etalon mase – *hrvatski prakilogram*. Uspoređen s međunarodnim prakilogramom masa je hrvatskoga prakilograma  $m = 1 \text{ kg} - 0,12 \text{ mg} \pm 0,10 \text{ mg}$ .

Već se neko vrijeme nastoji kilogram definirati nekom od prirodnih konstanti<sup>5</sup> te se očekuje kako će na Općoj konferenciji za utege i mjere 2014. godine biti donesena neka odluka.



Međunarodni kilogram i nekadašnji prametar (koji je danas samo muzejski primjerak) u Međunarodnom uredu za utege i mjere



Hrvatski prakilogram, državni etalon mase koji je pohranjen u Državnome zavodu za mjeriteljstvo

<sup>4</sup> Etalone mi nazivamo i pramjerama, pa tako i etalone kilograma (franc. *prototype du kilogramme*, engl. *prototype kilogram*) prakilogramima.

<sup>5</sup> V. R. Davis, *Predložena promjena definicije kilograma: Posljedice za zakonsko mjeriteljstvo*. Svijet po mjeri 1(2012)1, str. 135-141.

## Literatura

- [1] Zlatko Herkov, *Naše stare mjere i utezi*. Školska knjiga, Zagreb 1973.
- [2] Ljudevit Barić, *Mjere u draguljarstvu i zlatarstvu*. Informatica museologica, 1-1979., str. 41-47.
- [3] Marijan Brezinščak, Zvonimir Jakobović, Zvonimir Šoljić, *Vage i utezi*. Tehnička enciklopedija LZMK, Zagreb 1997.
- [4] Stanislav Viker, *Zakonsko mjeriteljstvo Hrvatskih zemalja od 1853. do 1875*. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb 1998.
- [5] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.
- [6] Vjera Lopac, *Težina i sila teža – teškoće sa značenjima i definicijama*. Metodčki ogledi 19 (1912) 2, str. 147–164.

# Od jutra do hektara

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ

Ploština se mjeri posredno, mjerenjem stanica pravilnih likova (kvadrata, pravokutnika, trokuta) kojim se aproksimira ploha te izračunavanjem njihovih ploština. Ploština se zemljišta, ponajprije tzv. *poljodjelskih površina* te šuma i građevinskoga zemljišta, u prošlosti određivala, točnije procjenjivala, na nekoliko domišljatih načina:

- slobodnom procjenom, postupkom „od oka“ ili „mjerenjem okom“:

„Oveći zemljišni prostor, a osobito prigodom razvida medjah, nije se mjerom mjerio, njegov obseg obično bi okom prosudili (mansurare visu).« [1]

- opsegom mjerenoga zemljišta izraženoga pri obilasku brojem koračaja, mjernim štapovima kojih je duljina bila poznata samo tadašnjim korisnicima te vremenom obilaska pješaka ili konjanika
- trajanjem obradbe zemljišta kopanjem, oranjem, košenjem ili sječom usjeva, grmlja ili drveća
- količinom (masom ili obujmom) sjemena potrebnoga da se uobičajenim postupcima zasije (za urod žitarica držalo se kako je oko sedam puta veći od uloženoga sjemena).

Ovisno o postupcima mjerenja tijekom povijesti su definirane brojne mjerne jedinice ploštine zemljišta, vrlo često različite za različito zemljište: za obradivo zemljište, ispaše, sjenokoše, vinograde, voćnjake, šume, krčevine i dr. U nazivima se tih jedinica često nalazi trag njihova značenja. Kako je ploština zemljišta vrlo važan podatak o posjedovanju, zabilježen u zemljišnim knjigama, to se taj podatak uporno prenosi i nakon njegove formalne promjene. Dokaz su tome podatci u našim zemljišnim knjigama, koji su sve do kraja 20. st. ostali u starim i nezakonitim mjernim jedinicama, iz straha da se ne povrijede imovinska prava. Tek se od kraja 20. st. mijenjaju četvorni hvati, jutra, rali i dr. u četvorne metre, are i hektare.

Danas se zemljište, osobito veće površine, mjeri geodetskim instrumentima i postupcima izmjere stranica trokuta, tzv. *triangulacijom*.

## Prastare jedinice ploštine zemljišta

Jedna od najrasprostranjenijih mjernih jedinica ploštine zemljišta u doba drevnoga Rima, proširena po cijelom Carstvu, bio je *juger*. Brojni su nazivi jedinica ploštine zemljišta koji su se u nas rabili tijekom čitave povijesti u dokumentima na latinskom, talijanskom, njemačkom ili hrvatskom jeziku te u brojnim i različitim prijevodima. Neke su od najstarijih mjernih jedinica ploštine zemljišta u našim krajevima bile:

- **vreteno** ili *ral*, (lat. *aratrum*: plug; ili *juger*, *jugerum*, prema *jugum*: jaram, par volova), prastara mjerna jedinica ploštine obradivoga zemljišta i žirodnih šuma. Definiran je prvotno pravokutnikom duljine stra-

Mjerenje ploštine zemljišta od pamtivijeka bio je vrlo važan postupak pri utvrđivanju i razgraničenju posjeda, njegovoj uporabi ili trgovanju zemljištem. U najstarijim su kulturama bili, ovisno o svrsi, namjeni i podneblju, pomno razrađeni ti postupci. O važnosti tih postupaka govori i naziv grane matematike geometrija, doslovno zemljomjerstvo (grč. *γεω*, *geo*: Zemlja + *μετρία*, *metria*: mjerenje), koja je započela postupcima izmjere ploštine zemljišta.



Mjerenje zemljišta mjernim štapovima u Čakovcu – ilustracija iz 17. st.



Mjerna vrpca za klasičnu izmjeru zemljišta

nice 240 i širine 120 rimskih stopa, tj. vrijednosti 2 524 m<sup>2</sup>. Vrijednost mu se mijenjala, sve do pojave mjerne jedinice *jutro*.

- **orgija**, *orgia* (grč. *οργια*, *orgyia*, lat. *orgyia*<sup>1</sup>: hvat), prastara mjerna jedinica *duljine*, izvorno stotinka olimpijskoga *stadiona*, vrijednosti 1,92 m. U srednjemu je vijeku u Europi, pa tako i u Hrvatskoj, to latinski naziv za *hvat*, vrijednosti u rasponu od *riječkoga hvata* (1,738 m) do *venecijanskoga duljeg hvata* (2,0852 m). Rabila se i kao jedinica *ploštine zemljišta*, većinom bez poblizhe oznake *četvorna*<sup>2</sup>, vrijednosti: (*četvorna*) *orgija* = (1/2000) *jutra* = 0,8 *čhv* = 2,88 m<sup>2</sup>.
- **pertika**, *drvo* (prema lat. *pertica*: motka, palica), prastara mjerna jedinica *duljine*, vrijednosti oko 4 ... 7 stopa, tj. ~ 1,5 ... 2,5 m. Upotrebljavala se i (*četvorna*) *pertika* kao jedinica *ploštine zemljišta*, vrijednosti oko 2,25 ... 6,25 m<sup>2</sup>.
- **rozga** (prasl., kolar, motka, palica), prastara domaća mjerna jedinica *duljine*, u Dalmaciji vrijednosti sedam mletačkih stopa, tj. 2,434 m. Upotrebljavala se i (*četvorna*) *rozga* kao jedinica *ploštine zemljišta*, vrijednosti oko 6 m<sup>2</sup>.
- **vagan**, *dervenjka*<sup>3</sup>, *varićak*, izvorno mjerne jedinice *obujma*, mjesno i vremenski vrlo različitih vrijednosti, od oko 12 do oko 60 litara. Pri izražavanju ploštine obradivoga zemljišta sjemenom potrebnim za zasijavanje rabile su se kao tzv. *sjemenske* ili *sjetvene mjere* ili *mjere usjeva*. Procjenjuje se da je *sjemenska dervenjka* bila malo veća od četvrtine hektara<sup>4</sup>, a *sjemenski varićak* oko 520 m<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Valja ju razlikovati od sličnozvučnice (grč. *οργια*, *orgia*), naziva nekađasnje žrtvene raskalašene svečanosti.

<sup>2</sup> Jednako kao što smo mi još nedavno *četvorni hvat* nazivali samo *hvatom*.

<sup>3</sup> Naziv *dervenjka* ili *dervenska* vjerojatno stoga što je mjera bila izrađena kao drvena bačvica.

<sup>4</sup> *Urbarium* – od *posztavklyenyia szelischia kmetzskoga* iz 1774. godine, u kojem se *posunszka dervenyka szétve* rabi kao jedinica ploštine za *orane zemlye, szenokosse* i *grunte*.

U starim se zemljišnim knjigama, urbarima, darovnicama, oporukama, trgovačkim ugovorima i sl. nalaze često nejasne ili nama danas nerazumljive „mjerne jedinice“.

## Jedinice ploštine zemljišta do naših dana

Od mnogih starih mjernih jedinica ploštine zemljišta do naših su se dana ustrajnošću pamćenja i zemljišnih knjiga još nedavno u nas rabile mjerne jedinice ploštine zemljišta *četvorni hvat*, *jutro* ili *ral* i *lanac*, a u istočnim krajevima i *dunum*, sljedećih značenja:

- **četvorni hvat** (razgovorno često neispravni samo *hvat*, uobičajeni znak *čhv*), prastara mjerna jedinica *ploštine zemljišta*, vrijednosti *čhv* = 3,596652 m<sup>2</sup> ≈ 3,6 m<sup>2</sup>. Izveden je kvadriranjem jedinice *duljine hvat* = 1,896 m. Upotrebljavao se kao jedinica ploštine u zemljišnim knjigama u Austro-Ugarskoj. U austrijskome su dijelu 1873. godine svi podatci u zemljišnim knjigama pretvoreni u metarske jedinice, a u ugarskome dijelu (u kojem je bila Hrvatska) to nije učinjeno, pa su u većemu dijelu Hrvatske do kraja 20. st. zemljišne knjige imale podatke u *četvornim hvatima* i *jutrima*.
- **lanac**, prastara mjerna jedinica *ploštine zemljišta*, vrijednosti 2 000 *čhv* = 7 193,3 m<sup>2</sup> = 0,719 33 ha, odnosno ha = 1,390 lanaca.



Klasični teodolit, geodetski instrument za određivanje kutova između pravaca u postupku triangulacije



Računalno upravljani elektronički teodolit s daljinomjerom, tzv. totalna stanica ili tahimetar



Totalna stanica pri izmjeri zemljišta

- **jutro**, *ral*, *dan oranja* (lat. *jugerum*, njem. *Joch*, *Morgen*, mađ. *hold*), prastara domaća jedinica *ploštine* zemljišta, vrijednosti  $1600 \text{ čhv} = 5\,754,64 \text{ m}^2 = 0,575\,464 \text{ ha}$ . Razvila se iz *vretena* (rimskoga *jugera*), a u davnini je bilo različitih vrijednosti, u rasponu od oko 2 000 do oko 9 000  $\text{m}^2$ . Normirana je tek 1785. godine pod nazivom *bečko* ili *katastarsko jutro*. Postojalo je još starije, manje *mađarsko jutro* (mađ. *magyar hold*) vrijednosti  $1200 \text{ čhv} = 4\,315 \text{ m}^2 = 0,431\,598 \text{ ha}$ .
- **dunum** (*dulum*, *dan oranja*; prema tur. *donüm*), prastara mjerna jedinica *ploštine* zemljišta. Riječ je orijentalnoga podrijetla, a svojedobno se *dunum* odmjerao kao kvadrat sa stranicama od 40 koračaja, što je iznosilo oko 900  $\text{m}^2$ . U posljednje je vrijeme bio vrijednosti  $1000 \text{ m}^2 = 0,1 \text{ ha}$ .

## Metarske jedinice ploštine zemljišta

Uvođenjem *Metarskoga sustava* uvedene su i mjerne jedinice ploštine proizašle iz metra:

- **čtvorni metar**, kadšto i *kvadratni metar*, razgovorno i neispravno samo *kvadrat* (znak  $\text{m}^2$ ), mjerna jedinica *ploštine* u *Međunarodnom sustavu* (SI). Rabi se za izražavanje manjih ploština zemljišta, ponajprije okućni-

ca, vrtova, parkova i sl. Čtvorni metar posljednje je desetljeće zbog uređenja zemljišnih knjiga, ali i zbog smjene naraštaja u razgovornome jeziku istisnuo tradicijsku jedinicu *čtvorni hvat*.

- **ar** (prema lat. *area*, ravnina, površina; znak a), iznimno dopuštena jedinica *ploštine* zemljišta, vrijednosti  $\text{ar} = 100 \text{ m}^2$ . Ar je određen još u prvim danima primjene *Metarskoga sustava* 1795. godine kao ploština kvadrata sa stranicama 10 m. Ar i *hektar* neki dokumenti ograničavaju općenito na *zemljište* [BIPM, 2006], a neki na *obradivo zemljište* i *građevinsko zemljište* [Smjernice EU].
- **hektar** (znak ha), nastao kao decimalni višekratnik iznimno dopuštene jedinice *ploštine* zemljišta ar, vrijednosti  $\text{ha} = 100 \text{ a} = 10\,000 \text{ m}^2$ . Iznimno se od prvih dana rabi naziv *hektar* iako bi sustavni naziv bio *hektoar*. Stoga ga i suvremeni dokumenti određuju kao poseban naziv jedinice, a ne decimalni višekratnik! Najčešća je mjerna jedinica za izražavanje ploština polja, livada, voćnjaka, vinograda, šuma i drugih *poljodjelskih površina*.

Prema hektaru se izražava urod, prinos, agrotehnički postupci, poticaji i davanja. Hektar je posljednje desetljeće zbog uređenja zemljišnih knjiga, ali i zbog smjene naraštaja u razgovornome jeziku potisnuo u povijest tradicijske mjerne jedinice *jutro* i *ral*.

## Literatura

- [1] Ivan Krst. Tkalčić, *Povjestni spomenici slob. kralj. grada Zagreba prijestolnice Kraljevine dalmatinsko-hrvatsko-slavonske*. Svezak prvi. Brzotiskom K. Albrechta, Zagreb 1889.
- [2] Zlatko Herkov, *Naše stare mjere i utezi*. Školska knjiga, Zagreb 1973.
- [3] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.

## Laboratorijsko vaganje i analiza

Visoka preciznost    Brzina    Sigurnost    Zajamčena kvaliteta

- Mikro vage i ultra-mikro vage
- Analitičke i precizne vage i utezi
- Sustavi za doziranje Quantos
- Analizatori vlage i suhe tvari
- Pipete – jednokanalne i višekanalne
- Mjerači pH/vodljivosti/otopljenog kisika/ISE
- Mjerači gustoće/indeksa refrakcije
- Titratori
- Termalna analiza, određivanje termalnih vrijednosti
- Automatska kemija
- Softverska rješenja
- Servisna podrška



► [www.mt.com](http://www.mt.com)

**METTLER TOLEDO**

# Od pinte do litre

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ



Od davnina su se za mjerenje obujma tekućina te sipkih i zrnatih tvari upotrebljavale razne priručne ili namjenski izrađene mjere, mjericice, tzv. *šuplje mjere*, danas bismo rekli *mjerne posude*.

Vjerojatno je najstarija takva „mjera“ bio *gršt*<sup>1</sup> (stari naziv za zaobljenu šaku) ili *pregršt* (sastavljene dvije zaobljene šake), čime u nedostatku posudice zahvaćamo na izvoru vodu za piti ili pri umivanju, potom zrnje, pijesak, snijeg itd. Pregršt se kao mjera spominje još u Bibliji, a predmetak mu je *pre-* znatno poslije dao stilski preneseno značenje: *puno, obilje*<sup>2</sup>.

Potom su se rabile razne priručne „mjere“: ljuške plodova te kućice ili oklopi životinja (pola orahove ljuške, lupinke jaja, kućice školjki, oklop kornjače, šupli rog i dr.).

I danas rabimo razne neodređene, ali u nekoj sredini ili prilici poznate „mjere“, kao što su žlice, žličice, lončići, šalice, čaše i sl. U laboratorijima i kućanstvima rabe se *graduirane* staklene mjerne posude, tzv. *menzure* (lat. *mensura*: mjera, mjerica) s ucrtanom ljestvicom obujma.

Ustaljenjem mjerenja u trgovini još u starim kulturama Mezopotamije upotrebljavale su se, dogovorom ili propisom, *umjerene posude* od gline, kovina ili kamena. One koje su služile kao *pramjere* izlagale su se svima na znanje na javnim mjestima (trgovima, tržnicama, hramovima i sl.).

Stare mjerne jedinice često su bile za različite tvari, mjesno i vremenski vrlo različitih vrijednosti, a katkad ih valja razumjeti samo opisno, uz neke, "svima znane" uvjete. Tako i mi danas odmjeravamo sol, šećer, sirupe i sl. *žlicama, žličicama*, kupujemo vino na *boce* (misleći prešutno na *velike boce* od 1 L ili *male boce*, tzv. *butelje* od oko 0,7 L), ili pivo (misleći na *velike boce* od 0,5 L ili *male boce* od 0,25 L ili sl.) te druga pića, a pijemo na *čaše* ili *šalice*, misleći većinom na one od 2 dL, *krigle* itd.

Valja napomenuti kako su mjere obujma napunjene vodom katkad bile i osnova utega za vaganje, pa su u starim dokumentima neki navodi nepouzdana, možda se odnose na obujam, a možda na masu. Tako se uzrečica *oka zlata* vjerojatno odnosi na masu jednaku masi jedne oke vode, a ne na obujam od jedne oke.

Ostvarenja mjernih jedinica obujma bile su mjerne posude, mjere, mjerice, cimente, u prošlosti sve nazivane *šupljim mjerama*, izrađene od drva, pečene gline, keramike, kamena, stakla, kovine. Punile su se tekućinom do ucrtane oznake na posudi ili *razom*, tj. do vrha posude, a sipkim tvarima *razom* ili preko toga, tzv. *navrškom*, s trešnjom ili bez trešnje, što se pri mjerenju uvijek moralo naglasiti.

Veće su se mjere rabile za mjerenje vina, ulja, žitarica i sl., manje u svakodnevnici, većinom za pića u gostionama, na tržnicama i sl., a one najmanje u ljekarništvu. [8]

Svojstvo se stvari „koliko nečega ima“ izražava na tri načina: brojem sastavnica (ako je riječ o podjednakim stvarima, na primjer plodovima, jajima i sl.), obujmom te stvari (ako je riječ o tekućinama, sipkaj ili zrnatoj stvari, na primjer vodi, brašnu, zrnju) ili masom te stvari, nekada nazivanom težinom (za što je potrebna oprema: vaga i utezi).

<sup>1</sup> Praslav. i sveslav. *gršt*: otvorena ruka za primanje (v. Petar Skok, *Etimologijski rječnik* ..... JAZU, Zagreb 1971.)

<sup>2</sup> Biblija: *pregršt pepela* (Izl. 9, 8), *pregršt brašna* (1 Kr. 17, 12) (v. Nives Opačić, *Pregršt dobrih želja*. Vijenac 287, od 3. ožujka 2005.).





Rimska staklena čaša za piće (3. st. pr. Kr.) od koje vjerojatno potječe pinta



Starinska drvena pinta ili bukara iz okolice Omiša



Krigle piva na Oktoberfestu u Münchenu

Gotovo su do naših dana doprle mjerne jedinice obujma drevnoga Rima jer su se na njih oslanjale srednjovjekovne europske mjerne jedinice obujma, osobito u ljekarništvu. Bile su to za tekućine *amphora* (26,26 L), *urna* (1/2 amphore), *congius* (1/4 urne) i dr., a za suhe tvari *modius* (8,754 L), *semodius* (1/2 modiusa), *sextarius* (1/8 semodiusa) i dr. [4]

U nas su se tijekom kasnoga srednjeg vijeka i prvih stoljeća novoga vijeka također rabile mnoge jedinice obujma i njihove *šuplje mjere*, neke vlastite, a mnoge su nastale u dodirima sa susjednim narodima. Gotovo je svaki trgovački gradić imao vlastiti sustav takvih mjera, koje su stoga nosile kao pridjevak naziv toga grada ili posjeda (zagrebačka pinta, varaždinsko vjedro, bakarski bokal, riječki kabao, bibrirski, lovranski, mošćenički ili veprinački baril i dr.). [3]

Pramjere „šupljih mjera“, a potom i sve umjerene posude nazivale su se *kamenicama*, a sve do 2. polovice 19. st. *cimentama*<sup>3</sup>. Postupak se umjeravanja nazivao *cimentiranjem*<sup>4</sup> (novolat. *cimentatio*: umjeravanje)<sup>5</sup>, a uredi za umjeravanje nazivali su se *cimentovnicama*.

Takvih je kamenih *šupljih mjera* u Hrvatskoj sačuvano na trgovima istarskih i primorskih gradića (Gračišće, Pićan, Sveti Petar u Šumi, Bakar i dr.), dok su u kontinentalnome dijelu *šuplje mejure* nestale jer su bile drvene, a sačuvane su rijetke kamene, kao što je *medvedgradska kamenica* i još nekoliko primjeraka u muzejima.

Jedna od osobito često upotrebljivanih mjernih jedinica obujma stoljećima je bila *pinta*.

## Pinta

*Pinta* je bila srednjovjekovna mjerne jedinica *obujma* za mjerjenje tekućina te sipkih i zrnatih tvari (vina, ulja, brašna, zrnja,

sjemenja i sl.). Naziv vjerojatno potječe iz srednjovjekovnoga latinskog jezika, u obliku *picta* (prema *pingere*: bojiti, slikati, risati), a odnosi se na ucrtanu oznaku razine tekućine u mjernoj posudi. U pučkome latinskom poprimio je oblik *pincta*, a prvotno se odnosio na umjerenu posudu ili *cimentu*, danas bismo rekli *mjericu*. Takve se čaše s oznakom obujma i danas rabe u gostionicama. U starofrancuskome je bio oblik *pinta*, a iz njega je naziv ušao u mnoge europske jezike (novolat., tal. i španj. *pinta*, franc. *pinte*, njem. *Pinte*, engl. *pint*). Naziv navode još stari hrvatski rječnici iz 17. i 18. st. u obliku *pint*, a tumače latinskim: *pinta*, *mensura vini*, tj. pinta, vinska mjera (Habdelićev *Dikcionar* iz 1670. godine, Belostenčev *Gazofilacij* iz 1740. godine, dovršen do 1675. godine).

Pinta se kao mjerna jedinica rabila u mnogim europskim zemljama, mjesno, vremenski i za različite tvari u različitim vrijednostima, većinom u rasponu od oko 0,5 L do oko 3 L, iznimno i znatno više. Tako je *starofrancuska pinta* bila vrijednosti 0,952 L. Uvođenjem *Metarskoga sustava* tijekom 19. st., sve su te stare pinte napuštene osim u zemljama engleskoga govornoga područja gdje se nekoliko pinti rabi i danas.

Pinta je u nas prvi puta zabilježena u jednom dokumentu na latinskome jeziku 1360. godine u Zagrebu, a 1588. godine na hrvatskome jeziku u Varaždinu.

Prvotno je pinta bila definirana obujmom određene *mase* (nekada se to nazivalo *težinom*) vode. Najstarija poznata udomačena pinta bila je *starohrvatska* ili *zagrebačka pinta*, do 1773. godine vrijednosti oko 3,124 L, a poslije oko 3,332 L te *zagorska pinta* i *varaždinska pinta* danas nepoznatih vrijednosti.

U nas se rabila i znatno manja *madžarska* ili *požunska pinta* vrijednosti oko 1,666 L, i *bečka pinta* (u Hrvatskoj nazivana *mjeračom* ili *bokalom*), koja je ujednačavanjem mjernih jedinica u Austrijskom Carstvu od 1761. godine bila vrijednosti oko 1,415 L. Ta se *pinta* u nas od 18./19. st. nazivala turcizmom *oka*, poblizhe *bečka* ili *nova oka* (za razliku od *turske* ili *stare oke*).

Kako je hrvatska pinta bila oko dva puta veća od bečke i požunske pinte, to je (*hrvatski*) *polić*, kao pola hrvatske pinte, bio oko dva puta veći od raznih drugih polovičnih mjernih jedinica: (*bečke*) *holbe* (njem. *Halbe*: polovica) ili *polnjače*, ali i raznih *media* (lat. *medius*: polovičan), *krigli* (prema njem.

<sup>3</sup> U selima se kontinentalne Hrvatske donedavno svaka mjerica nazivala *cimentom*, što se znalo proširiti i na običan lončić koji nije umjeren.

<sup>4</sup> Nakon naziva *cimentiranje* rabio se od 2. polovice 19. st. pa doskora turcizam *baždarenje*, a tek je od 1990-ih ustaljen naziv *umjeravanje*.

<sup>5</sup> Bogoslav Sulek u *Rječniku znanstvenog nazivlja* iz 1874. godine navodi: (tal.) *cimentare*: kušati, ogledati.

*Krug*: vrč; umanjena *Krugel*: vrčić; stara jedinica *obujma* pića, prvotno vrčić od pola *pinte*, tj. - 0,7 L). Mihael Šilobod u *Arithmetici horvatszkoj* iz 1758. godine navodi dvije dvostruko različite pinte, ali ih ne razlikuje nazivom, misleći pri tome vjerojatno na *hrvatsku pintu* i *požunsku pintu*.

Zanimljiv je podatak koji se navodi u [1]:

„Mjera za tekućinu, kao za vino i pivo ..... bijaše mjera (menzura). ..... uzevši na um onaj kaptolski statut, dok su još kanonici dobivali piće iz zajedničkog podruma, da pojedinac na dan zahtijevati može jednu mjeru, to bi tada u današnje doba bila isto što i stari naš polić ..... . Od mjere bijaše jošte manja mjera: pol mjere (medio mensura) t. j. holba .....“ i dalje „..... p i n t a ili dvie mjere; .....

Dakle *mjera* je u starim tekstovima općenito naziv za osnovnu jedinicu obujma, a posebno naziv za pola *hrvatske pinte*, tj. *hrvatski polić*, vrijednosti dvije *holbe*. Tako navodi i [2]: neke „..... namirnice prodavale su se na *holbe* tj. ½ polića, .....

Jedan drugi izvor navodi [7]:

„Tekućine su mjerili *mjerom*, koja bijaše valjda isto što i *poliće*. Pol mjere zvala se *holba*, četvrt mjere bio je jednak *sajtleku*, dvie mjere zvale se *pinta*, pet mjera *kabal*.“

U jednome se zakonskom dokumentu na latinskome jeziku iz 1836. godine, za Požešku, Virovitičku i Srijemsku županiju propisuje kako posjednik od svakoga vjedra mošta može uzeti namiru od *unica tantum pinta* (samo jednu pintu), dok se u prijevodu na hrvatski iz toga doba to navodi: „samo jednu oku (*poliće*) ili dvie holbe požunske mjere.“ To je potvrda da su se za požunsku pintu rabili i nazivi *poliće* i *oka* te da je *poliće* dva puta veći od *holbe*. Zato je neispravno *holbu*, *mediu* ili *krigl* prevoditi kao *poliće* (kako piše i u nekim našim suvremenim rječnicima) jer su one dvostruko manje (iako nazivi znače isto)!



Starinski bakrač od dvadeset litara (franc. double decalitre: dvostruka dekalitra)

U narodu su se, osobito u kajkavskim pjesmama i uzrečicama, rabile i umanjene: *pintek*, *pintik* i *holbica*, pa su se tako u jeziku zadržale do danas, na primjer u poznatoj kajkavskoj pjesmi *Pošel budem v goricu, zel si budem holbicu* ..... . Pri tome *holbica* ili *kupica* (*kupičica*, *glazek*) ne moraju značiti *mala holba* ili *mala kupa* jer su u zemljama i jezicima oko Alpa uvriježene umanjene koje ne moraju značiti da je to nešto maleno, nego se jednostavno tako govori počevši od hrvatske čakavštine i kajkavštine (*tatek*, *mamek*, *pesek*, *picek* itd.) sve do švicarskoga njemačkog (u prijevodu: *trgovinica*, *poštica*, *uličica*, itd.).

## Mjerice pinte i njezina druga značenja

Osim kamenih ili metalnih *pramjera pinte* jeftine uporabne mjerice pinte bile su drvene kupice, bačvice ili kačice kakve se i danas izrađuju za pakiranje sira ili kao suvenirni, a na sajmovima se i u *klijetima* iz njih i pije.

Zato se za *bačvara* rabio danas gotovo zaboravljen naziv *pintar* ili *pinter*<sup>6</sup>, koji je postojao i u drugim jezicima, nekada je bio osobito uobičajen u njemačkome, pa neki te nazive proglašavaju germanizmima. Ipak, još Belostenčev *Gazofilacij* ima u hrvatskome stupcu nazive *pintar* (uz dodatak: *bachvar*) i *pintarszki bat*, dakle Belostenec ih je u 17. st. smatrao hrvatskim nazivima!

Nadalje, vjerojatno po sličnosti s bačvom u srednjovjekovlju mali je brod nazivan *pintom*. Tako je *Pinta* bio jedan od triju Kolumbovih brodova (ostala su dva bili *Santa Maria* i *Nina*) na prvome putovanju u Ameriku 1492. godine.

*Pinta* je, dakle, bio i općenit naziv za mjericu, kupicu, vrč, bokal, bačvicu, bukaru, čašu, ponajprije za pića. Još Juraj Habledić 1674. godine navodi kako se vino ispija iz *pintene* ali *polpintene kupe*.

Zato se *pinta* uz značenje *kupice* za ispijanje vina rabila i kao naziv veselih društava vlastele u Hrvatskome zagorju opisanih u djelima Ksavera Šandora Gjalškoga i Miroslava Krlež. U nekim je krajevima *pinta* razgovorno bila naziv za lokal u kojem se samo pije, danas bismo rekli  *pivnica*, za razliku od gostionice u kojoj se i jede. *Pinta* se do danas u Hrvatskoj zadržala samo kao naziv nekih ugostiteljskih objekata, potom kao naziv *Udruge za očuvanje, obnovu i korištenje kulturnog blaga PINTA*, osnovane 1694., obnovljene 1988., te u nazivu *PINTE* – udruge vinogradara i voćara u Novome Marofu (osnovane 1999.), ali se većinom zaboravilo što je izvorno značila. [9]

## Nestanak pinti

*Pinta* ili *bečka oka* te druge stare šuplje mjere u Hrvatskoj službeno su napuštene pri uvođenju *Metarskoga sustava* 1875. godine. U »*Zakonskom članku VIII. 1874. zajedničkoga hr-*

<sup>6</sup> Iz toga su slijedila i prezimena *Pintar*, *Pinter*, *Pintarić*, *Pinterić*, *Pinterović* i dr.



Laboratorijske menzure s ljestvicama obujma

vatsko-ugarskoga sabora ob uvedjenju metričke mjere» naziv *pinta* više se ni ne pojavljuje, nego se rabi naziv *bečka oka* koji se do tada u nas udomaćio. Stare su jedinice zamijenjene nešto manjom *litrom* ili nešto većim *hektolitrom* [6], u odnosu:

- bečka oka = 1,4147 L
- ugarska pol oka = 0,8484 L
- ugarsko vjedro = 0,5430 hL
- bečki vagan = 0,6149 hL
- požunski vagan = 0,6253 hL

Ipak, *oka* se ustrajnošću još rabila desetljećima poslije toga, zbog navike, zadržanih mjernih posuda i boca, a posebno zbog trgovine s istočnim susjedstvom, u kojemu se još rabila *turska* ili *stara oka*, pod zadnje vrijednosti 1,282 L, dakle ~ 10 % manja. Te su se oke na tržnicama u našim istočnim krajevima sporadično rabile do polovice 20. st., pa je njihovo mijesanje bila često podloga za nadmudrivanje. Na primjer, rakija ili vino izlagali su se u većoj boci od jedne *bečke oke* (1,415 L), a iz bačve se neopreznom kupcu odmjeravalo manjom bocom od jedne *turske oke* (1,282 L), dakle 0,133 L na štetu kupca!

## Litra

*Litra* (grč.-lat. *litra*, rimska jedinica mase (težine) i novca; znakovi L ili l), zakonita je i iznimno dopuštena mjerna jedinica obujma, poseban je naziv za kubni decimetar, dakle  $L = \text{dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$ .

Litra je definirana još 1795. godine pri uvođenju *Metarskoga sustava* u Francuskoj. Poseban je naziv jednoga od prvih decimalnih nižekratnika jedinica. Njome su zamijenjene stare jedinice obujma, ponajprije *pinta* i slične jedinice. Masa litre vode poslužila je kao osnova za određivanje *kilograma*, za koji je ubrzo izrađen uteg kao pramjera, a i danas je kilogram definiran tzv. *prakilogramom*, utegom koji je pohranjen u *Međunarodnom uredu za utege i mjere*. Od litre se od prvih dana tvore decimalni višekratnici i nižekratnici, od kojih su najviše u uporabi *hektolitar* (hL, hl), *decilitar* (dL, dl) i *mililitra* (mL, ml).

U hrvatskome je jeziku litra gramatički dvorodna. Ustalilo se da je osnovni naziv u ženskome gramatičkom rodu (*litra*), a u nekim nazivima višekratnika i nižekratnika pojavljuje se bez neke pravilnosti i u muškome gramatičkom rodu (*hektolitar*, *decilitar*). [5]

Litra danas ima dva zakonita znaka (L ili l) što je iznimka jer se općenito nastoji da svaka mjerna jedinica ima jedan naziv i jedan znak. Kurentno slovo (l) tradicijski je znak, ali je on tipografski nepouzdan jer je u jednostavnim tipografskim pismima jednak ili sličan brojkici 1. Prije tri desetljeća uvedeno je kao znak verzalno slovo (L), ali zbog duge tradicije ostavljeno je do daljnjega kao znak i kurentno slovo.

Uvođenjem litre krajem 19. st. zaboravljene su stare mjerne jedinice obujma i njihove *šuplje mjere*. Ipak poneki se njihov trag nalazi u nekim, tzv. *pakovinskim jedinicama obujma*. Tako je trag *pinte* u boci koju danas nazivamo *buteljom*, vrijednosti oko 0,7 L (tj. oko 0,5 pinte), u kojoj se često pakira vino, a u nekim zemljama i pivo, ili u nazivu *krigla* za veću čašu za pivo<sup>7</sup> bez obzira na to što je već više od stoljeća umjerena u litri ili nekome njezinu dijelu.

## Literatura

- [1] Ivan Krst. Tkalčić, *Povjestni spomenici slob. kralj. grada Zagreba prijestolnice Kraljevine dalmatinsko-hrvatsko-slavonske*. Svezak prvi. Brzotiskom K. Albrechta, Zagreb 1889.
- [2] Emilij Laszowski, *Stari i novi Zagreb*. Braća Hrvatskog Zmaja, Zagreb 1925. (pretisak: Školska knjiga, Zagreb 1994.)
- [3] Zlatko Herkov, *Mjere Hrvatskog primorja*. Historijski arhiv u Rijeci i Pazinu, Rijeka 1971.
- [4] Z. H., *Naše stare mjere i utezi*. Školska knjiga, Zagreb 1973.
- [5] Zvonimir Jakobović, *Litra i izvedenice*. Jezik 44(1996)2, str. 75-76.
- [6] Sanislav Viker, *Zakonsko mjeriteljstvo Hrvatskih zemalja od 1853. do 1875*. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb 1998.
- [7] Dragutin Hirc, *Stari Zagreb – Kaptol i Donji grad*. Matica hrvatska, Zagreb 2008.
- [8] Z. J., *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.
- [9] Z. J., *Pinta s gledišta mjerne jedinice (uz obljetnicu obnovljene Pinte)*. Gazophylacium, god. IV. br. 3-4/2009., str.171-173.

# Od dana do sekunde

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ

**D**an ima tri značenja koja se međusobno dodiruju, isprepliću, a u svakodnevnome se životu većinom ne luče. Dan je *prirodna pojava*, u redovitosti svojega ponavljanja *sastavnica je kalendara*, a njegovo je trajanje *prirodna mjerna jedinica vremena*.



Složeni astronomski sat na vijećnici u Ulmu, s 12-satnim pokaznikom na kojemu su sati označeni rimskim brojkama od I. do XII. te s 24-satnim pokaznikom na kojemu su sati označeni arapskim brojkama (2 × 12) iznad kojih kruže četiri kazaljke



Sat iz 1443. godine na fi rentinskoj katedrali s 24-satnim pokaznikom na kojemu su sati označeni rimskim brojkama od I. do XXIII. (Paolo Uccello, talijanski slikar)



Sat na vanjskome zidu zvjezdarnice u Greenwichu pokraj Londona, s 24-satnim pokaznikom na kojemu je ponoć označena nulom, a ostali sati rimskim brojkama od I. do XXIII., pokretan je električnim impulsima s glavnoga sata u unutrašnjosti (danas ga pokreće suvremenija, a ne izvorna naprava), prvi je sat koji je javnosti pokazivao griničko vrijeme (Charles Shepherd, engleski precizni urar, 1852. godine)

Dan je na Zemlji prirodni vremenski odsječak koji se u jednolikom trajanju redovito ponavlja u nepreglednome nizu. U njegovu se ritmu odvija život velikoga broja živih bića, pa tako i čovjeka. Naši se životni procesi neumoljivo odvijaju jednolikim ritmom i kad nismo u prirodnome okruženju, nego smo zatvoreni u nekom prostoru ili smo poletjeli izvan naše Zemlje. Stoga je naš svakodnevni osobni, društveni i djelatni život podređen danu. Dan je bio i polazište sekunde, osnovne mjerne jedinice SI-ja.

## Dan kao prirodna pojava

Dan je posljedica vrtnje Zemlje oko njezine osi, traje jedan ciklus te vrtnje, a zapaža se prividnim kruženjem Sunca i vrtnjom nebeskoga svoda. Određuju ga izlazak, putovanje, zalazak i ponovni izlazak Sunca te ponavljanje toga događanja. Ta je pojava toliko dojmiva da se duboko usjekla u čovjekovu misao, dala je osnovu svekolikoga ljudskoga ponašanja i djelovanja te postala osnovom mitskim, religijskim, kulturnim, umjetničkim, znanstvenim i drugim stajalištima.

Jedna je od prvih činjenica našega svijeta, koju je čovjek morao ustanoviti pri rađanju svijesti, kako Sunce prividno izlazi na jednoj strani obzora – na istoku, potom putuje preko neba i zalazi na drugoj strani obzora – na zapadu.

Posljedice su *obdanica* i *noć* sa svojim dojmivim pojavnostima *svjetla* i *tame*. Sljedeća je čovjekova spoznaja morala biti *pravilnost* kako se obdanica i noć redovito smjenjuju u podjednakim trajanjima. Iz toga slijedi zaključak: „ako je sada noć, *onda* će uskoro nastupiti obdanica“. Pri tome je *domišljajem* ili *intuicijom* (lat. *intus*: unutra, u duši) primijenjen prvi logički postupak zaključivanja: *ako – onda!*

Pojavnost dana zapažena je, promatrana i tumačena od prvoga razumnog čovjekova ponašanja, od prvih civilizacija, do danas. Dan se spominje u najstarijim opisima svijeta. Već na prvoj stranici Biblije stoji u opisu stvaranja: „*Svje-*



Vremenska kugla na tornju zvjezdarnice u Greenwichu podiže se točno u podne

tlost prozva Bog dan, a tamu prozva noć. Tako bude večer, pa jutro – dan prvi.<sup>1</sup>

Naziv *dan* (praslav. *dǫnǫ*<sup>2</sup>, prema indoeur. *din*: svijetao) u hrvatskome je jeziku, kao i u mnogim drugim jezicima<sup>3</sup>, dvoznačan. *Puni dan*, *cijeli dan* ili *dan u širem smislu* znači cijeli ciklus Zemljine vrtnje (danas razgovorno kažemo i *24 sata*). Cesto znači samo *svijetli* ili *vidljivi dio dana*, *polovicu punoga dana*, *dan u užemu smislu* ili *obdanicu*<sup>4</sup>.

Uz neke pridjeve i u složenicama *dan* ima mnoga posebna značenja: *svoj dan*, *radni dan*, *slobodni dan*, *veliki dan*, *lijepi dan*, *sretan dan*, *težak dan*, *u onaj dan*, *sudnji dan*, *dan gnjeva* itd., a složenice su *blagdan*, *spomendan*, *rođendan*, *imendan* i dr. U mnogim jezicima postoje pozdravi oblika *dobar dan*, *ugodan dan*, *lijep dan!*

Određeni se dan pobliže odnosi prema sadašnjemu trenutku: *prekjučer*, *jučer*, *danas*, *sutra*, *prekosutra* i sl.

## Dan kao sastavnica kalendara

Dan se kao sastavnica kalendara obilježava nazivom u tjednu: *ponedjeljak*, *utorak*, *srijeda* itd., te rednim brojem dana u kalendarskome mjesecu, kalendarskoj godini ili određenom kalendaru<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> Knjiga Postanka, 1–5.

<sup>2</sup> Od zastarjeloga genitiva *dne* tvore se mnoge izvedenice: *dnevni*, *podne*, *dnevnica*, *dnevnik* i dr.

<sup>3</sup> U malo jezika postoje jednoznačni nazivi. U hrvatskome je to *obdanica* za svijetli dio dana, a u ruskom, u kojem osim riječi *день*: dan, postoji i riječ *цѣлѣкѣ* kao poseban naziv za puni dan.

<sup>4</sup> Riječ *ob dan* zabilježena je još u Belostenčevu *Gazofilaciju* iz 17. st., *obdan* u Habeličevu *Dikcionaru* iz 1670., a *obdanica* u Sulekovu *Rječniku znanstvenoga nazivlja* iz 1874./75.

<sup>5</sup> O kalendaru vidi detaljnije: Mirko Vuković, Zvonimir Jakobić, *Povijest zapadnoga kalendara (1)*. Svijet po mjeri br. 1, travanj 2013., str. 89–98, i (2). br. 2, lipanj 2013., str. 91–98.

Najčešće je određivanje dana *nadnevak* ili *datum*<sup>6</sup>, u kojem se danas uobičajeno navode tri podatka: redni broj dana u kalendarskom mjesecu (napisan arapskim brojkama), pripadni kalendarski mjesec (nazivom<sup>7</sup> ili rednim brojem u godini napisanim arapskim ili sve rjeđe rimskim brojkama), te redni broj godine, ponajčešće gregorijanskoga kalendara (napisan arapskim, a samo iznimno rimskim brojkama).

Redosljed podataka o danu navedenih u nadnevku brojčano može biti *rastući* (dan, mjesec i godina), kako je uobičajeno u većem dijelu Europe, *opadajući* (godina, mjesec, dan), kako se rabilo u starim dokumentima, i kako danas preporučuju međunarodne norme, te mješoviti (mjesec, dan, godina), kako se rabi u engleskome govornom području.

Navođenje mjeseca nazivom pouzdanije je nego navođenje brojem. Na, primjer, izjava „odlazim na put *petog sedmog*“, na hrvatskom znači *5. srpnja*, ali neoprezno prevedena na engleski značit će *7. svibnja!*

Samo se iznimno i razgovorno dan označuje relativno, prema nekom drugom danu, blagdanu, prazniku, događaju i sl., na primjer: *drugi dan Božića*, *treći dan od početka škole*, *peti dan putovanja* i sl.

U astronomiji se primjenjuje tzv. *julijanski dan*<sup>8</sup> ili *julijanski nadnevak* (JD ili JDN, prema engl. *Julian Day Number*), koji valja razlikovati od nadnevka po julijanskome kalendaru! To je apsolutni redni broj nekoga dana od određenoga trenutka u davnoj prošlosti. Za to je odabran trenutak podudaranja triju kalendarskih ciklusa, što je posljednji puta bilo 1. siječnja 4713. pr. Kr.

## Dijelovi dana

U danu kao prirodnoj pojavi postoje uočljivi dijelovi, odnosno trenutci: *zora* (*osvit*, *svanuće*, *praskozorje*)<sup>9</sup>, *izlazak Sunca*, *podne*, *zalazak Sunca*, *suton* (*sumrak*), *ponoć*<sup>10</sup>. Prirodni su dijelovi dana *obdanica* i *noć*, koji su na većemu dijelu Zemljine površine tijekom godine različitih trajanja, jednakih samo dva puta godišnje, u vrijeme proljetne i jesenske ravnodnevnice.

<sup>6</sup> Naziv *datum*, koji je ušao u većinu jezika, potječe od formule u srednjovjekovnim dokumentima na latinskom jeziku, *datum in .....*: dano u ....., iza čega je obično stajao naziv mjesta, podatak o danu u obliku rednoga broja dana i naziva mjeseca ili pripadnoga blagdana, te podatak o godini *AD* (*Anno Domini*: godine gospodnje), ili „*godine našeg vladanja*“ i sl. Stoga je datum svojedobno sadržavao i podatak o mjestu, dok se danas taj podatak često ispušta.

<sup>7</sup> Hrvatski je rijedak jezik u kojem se rabe tradicijski nazivi mjeseci: *siječanj*, *veljača* itd. U većini se jezika rabe nazivi prema latinskom. Nevolje je u njima što četiri mjeseca imaju „krive“ nazive, koji potječu iz staroga rimskog kalendara: deveti se mjesec u godini naziva *septembar* (tj. sedmak), deseti *oktobar* (osmak), jedanaesti *novembar* (devetnjak) a dvanaesti *decembar* (desetnjak), no danas ljudi više ne misle na ta prvotna značenja.

<sup>8</sup> Sustav je predložio Joseph Justus Scaliger (1540. – 1609.), francuski znanstvenik, osnivač znanstvene kronologije; navodno ga je nazvao prema svojem ocu Juliusu.

<sup>9</sup> Sva četiri naziva imaju i prošireno značenje *početka*.

<sup>10</sup> Da je naziv *ponoć* nastao sažimanjem *pola noći* (a ne *poslije noći*), vidi se u nazivu prve božićne mise *polnoćka*.

Obdanica je najdulja u doba ljetnoga, a najkraća u doba zimskog suncostaja, dok je noć obratno. Dijelovi su obdanice *jutro, prije podneva (prije podne, dopodne), poslije podneva (poslije podne, popodne) i večer*. Trajanje tih dijelova ovisi o geografskoj širini, godišnjem dobu i kraju (more, ravnica, brda).

## Dan kao mjerna jedinica

Mnoge su ljudske djelatnosti vremenski odmjeravane danom. Tisućljećima se čovjekova djelatnost odvijala većinom za vrijeme obdanice. Kako su njezini prirodni dijelovi promjenljivi, pokazala se u organiziranom životu potreba za nekim jednolikim dijeljenjem obdanice. Njezin se tijekom opaža po prividnome kretanju Sunca te po kretanju sjene predmeta i promjeni njezine duljine.

U najstarijim civilizacijama Mezopotamije nastala je podjela polukružnice koju tijekom obdanice opisuje sjena okomitoga štapa. Ta je polukružnica podijeljena na tada uobičajeni broj *dvanaest*. Vrijeme za koje sjena štapa prijeđe dvanaestinu polukružnice usvojeno je kao umjetni dio obdanice. Budući da

je obdanica po ljeti dulja, a po zimi kraća, to su i ljetni sati bili dulji od zimskih. Potom se prešlo na dvanaestinu polovice *srednjega sunčanog dana*.

U hrvatskome nema izvornoga naziva za taj umjetni dio dana, nego se rabe posuđenice *sat* (tur. *saat*, prema arap. *sāʿ*) i *ura* (njem. Uhr, prema lat. *hora*). U hrvatskome su jeziku to i nazivi napravila<sup>11</sup> za mjerenje vremena, dok se naziv stručnjaka *urar* tvori samo od *ure*.

Trag je podjele obdanice na 12 dijelova vrlo dubok. I danas imamo većinom analogne pokaznike na satu podijeljene na 12 sati.

Noć se dugo nije tako dijelila, nego se ravnalo prema prividnome okretanju zvjezdanoga neba. U nekim se kulturama i noć dijelila na 12 sati, jednako kao i obdanica. Ipak, većinom se od davnina, pa sve do početka novovjekovlja, rabila vojnička podjela noći na *četiri straže*, vremena koja su se odre-

đivala ophodima, molitvama, izgaranjem svjetiljka, prema zvezdama ili vrlo često slobodnom procjenom.

## Početak dana

Dan je u različitim kulturama različito počinjao. U nekim je kulturama počinjao ujutro, u nekima uvečer, a u nekima u ponoć. Tako još i danas u islamskome kalendaru dan počinje sutonom, a u židovskome je kalendaru to danas ustaljeno na 18 sati mjesnoga vremena. Sati se nisu brojili od početka dana, nego većinom od početka obdanice, tj. jutra (kako se i danas radi u nekim kulturama), pa je tako podnevu bilo pridruženo doba od 6 sati<sup>12</sup>, a večeri od 12 sati.

Tek se tako mogu razumjeti stari zapisi. Tako evanđelja izvješćuju o Isusovoj smrti<sup>13</sup>, kako je u razapet u petak, a oko *šestoga sata* (tj. oko podneva) nastala je tama, kako je Isus izdahnuo oko *devetoga sata* (danas bismo rekli oko tri sata poslije podne), te kako je, da ne bi na židovski blagdan *sabat* (subota) ostao na križu, odmah skinut s križa i položen u grob jer »subota je već osvitala« (tj. bio je suton petka, dakle početak subote).

Početak se dana počeo računati od ponoći tek od ranoga novovjekovlja, te tako i brojiti sate pridružujući punomu danu  $2 \times 12$  sati (prvotno 12 sati obdanice i 12 sati noći), tj. 24 sata<sup>14</sup>. Trag je neovisne podjele dana i noći u našem običaju podjele dana na dva puta po 12 sati s početcima brojenja u ponoć i u podne, što mora biti popraćeno dodatnim podatkom »prije podneva« ili »poslije podneva«. Kratice iz latinskih naziva za taj su podatak do danas zadržane u engleskome jeziku, kao *a. m.* i *p. m.* od lat. *ante meridiem*: prije podneva, i *post meridiem*: poslije podneva (prema lat. *meridies*: podne, jug).

Važni trenutci dana su *podne*, trenutak kad je Sunce najviše (gornja kulminacija Sunca) i *ponoć*, trenutak na polovici noći (donja kulminacija Sunca).

Ponoć je, kao suprotnost podnevu, neobičan trenutak. To je trenutak kojem su pridružene dvije vrijednosti: 24:00:00 sati prethodnoga dana i 0:00:00 sati nastupajućega dana! Da se izbjegne ta dvojnost u nekim je zemljama običaj da se za potrebe voznih redova prometala i sl. umjesto ponoći navodi doba 23:59 sati prethodnoga dana i 0:01 sati nastupajućega dana.

Ponoći su od davnina pridruživana mnoga značenja: u ponoć obilježavamo trenutak Isusova rođenja, u ponoć slavimo odlazak *stare* i početak *nove* godine i dr. Dobu oko ponoći u praznovjerjima se pridružuje pojava *mračnih sila*: duhova, vještica, vukodlaka, vragova i dr. Stoga je ponoć čest objekt usmene i pisane književnosti te drugih umjetnosti.

Zbog prividnoga gibanja Sunca doba se dana mijenjaju sa zemljopisnom duljinom. Mjesno vrijeme kasni idući prema



Elizabetin toranj zgrade britanskoga parlamenta (Palace of Westminster) sa satom Big Ben (prvotno je to bio naziv najvećega od pet zvona u tornju) iz 1859. godine, najpoznatija je znamenitost Ujedinjenoga Kraljevstva

<sup>11</sup> Naziv *dobnjak*, predložen u 19. st., nije zaživio.

<sup>12</sup> U drevnome Rimu podne se uz *meridies*: sredina dana, razgovorno nazivalo i *hora sexta*: šesti sat, od čega je u nekim romanskim jezicima *siesta*: podnevni počinak, počinak po objedu, a preneseno: izležavanje, ljenčarenje; mjesna je posuđenica i u hrvatskome jeziku.

<sup>13</sup> Na primjer, Luka; 23 – 44 do 54.

<sup>14</sup> Točnije, *sunčani*, *solarni* ili *sinodički dan* traje 24 sata, a *zvjezdani* ili *siderički dan* zbog pomicanja Zemlje po njezinoj putanji traje 23 sata i 56 minuta.



Kula Lotrščak na zagrebačkome Gornjem gradu s koje danas Grički top pucnjem upravljanim iz Geofizičkoga zavoda objavljuje točno podne; prvotno je bio na zgradi Geofizičkoga zavoda, a puca od 1. siječnja 1877. godine

zapadu 4 minute za svaki stupanj zemljopisne duljine, tj. cijeli sat za 15 stupnjeva. Tako, na primjer, mjesno vrijeme u zapadnim dijelovima Hrvatske kasni iza mjesnoga vremena u istočnim dijelovima dvadesetak minuta. Kad je u Rovinju mjesno podne, u Iloku je ono već prošlo prije dvadesetak minuta. Istodobnost podneva osnova je zamišljenih kružnica zemljopisne mreže na Zemljinoj površini nazvanih *podnevnicima* ili *meridijanima*.

Do 19. st. svako je naselje imalo svoje mjesno vrijeme, određeno sunčanim satom. Pri sporom putovanju pješice, konjem ili kočijom te se razlike nisu zamjećivale. Točno se vrijeme u pojedinim mjestima objavljivalo svakodnevno, osobito u podne, a često i ujutro i uvečer, zvučnim znakovima (trubama, sirenama, crkvenim zvonima, pucnjavom<sup>15</sup>, smjenom počasnih straža i sl., a u starijim europskim gradovima pojavljivanjem nekih figura na crkvenim ili gradskim zvoncima, vijećnicama i dr.). Ponegdje je to još polovicom 20. st. bilo u mjesno, a ne u službeno podne! U nekim se lukama od 19. st. u podne podižu na jarbole veliki baloni, tzv. *vremenske kugle*, koji točno u sekundu postižu najveću visinu, pa navigatori po njima usklađuju svoje brodske kronometre. Prva je takva kugla bila postavljena 1829. godine u luci u Portsmouthu.

Mjesno se doba dana može rabiti samo na nekom uskom području. Za organizirani ljudski život treba uskladiti vrijeme na širemu području. Stoga su ljudi već od davnina uveli za neko područje *službeno* ili *građansko vrijeme* (lat. *hora legalis*), koje je danas određeno međunarodnim normama i državnim zakonima.

<sup>15</sup> Trag je toga u Zagrebu podnevni pucanj topa s gornjogradske kule Lotrščak.

Pojava željeznice među prvima je potaknula službeno ujednačavanje doba dana u pojedinim zemljama ili područjima. Na primjer, 1841. godine uvođenjem željeznice između Londona i Bristola (koji je zapadnije 230 km, što je kašnjenje mjesnog vremena od 11 minuta), primijetilo se da vlak iz Londona stiže u Bristol prema bristolskome mjesnom vremenu 11 minuta ranije. Zato su 1840-ih godina na željezničkim kolodvorima u Velikoj Britaniji postavljeni satovi s dvjema minutnim kazaljka: jednom prema mjesnome vremenu, a drugom prema „željezničkome vremenu“. To je „željezničko vrijeme“ 1847. godine oslonjeno na vrijeme u zvjezdarnici u Greenwichu pokraj Londona (pokrata GMT, prema engl. *Greenwich Mean Time*: griničko srednje vrijeme), kroz koju dogovorno prolazi nulti podnevnik. Od 1855. godine svi su javni satovi u Velikoj Britaniji morali pokazivati to normirano vrijeme.

Uz točno griničko vrijeme povezana je zanimljiva anegdota. Službenik zvjezdarnice u Greenwichu John Belville 1836. je godine uspostavio *vremensku službu*. On je svaki dan svoj džepni sat *Arnold* (izradak znamenitoga londonskog urara Johna Arnolda) ugadao prema satu zvjezdarnice, a poslije podne je u Londonu prodavao točno vrijeme. Bilo je oko 200 redovitih kupaca, ponajprije urara. Nakon njegove smrti 1856. godine posao je naslijedila njegova udovica. Njihova kći Ruth Belville (1854. – 1943.), koju su nazivali *Greenwich Time Lady*, nastavila je posao od 1892. godine sve do 1940. godine. Svakodnevno je, sve do svoje 86. godine, uporno putovala gotovo 20 km da bi u 9 h bila pred zvjezdarnicom, ugadala svoj *Arnold* prema satu zvjezdarnice te potom prodavala točno vrijeme iako su točno vrijeme druge tvrtke već prenosile telegrafom, a BBC je od 1926. godine točno vrijeme objavljivao u radijskome programu. Sat *Arnold* završio je kao izložak u prastaraj londonskoj urarskoj tvrtki *Worshipful Company of Clockmakers*.

Ubrzo se u cijelome svijetu počelo primjenjivati službeno vrijeme za pojedino zemljopisno područje, tzv. *područno* ili *zonsko vrijeme*, oslonjeno na početno *griničko srednje vrijeme*. Danas je osnova međunarodno normirano *usklađeno svjetsko*



Dubrovački gradski zvonik sa satom, na istočnoj strani Straduna, izgrađenom 1444. godine. Brojčani pokaznik sata (postavljen najvjerojatnije pri obnovi zvonika 1929. godine) čine dva četvrtasta otvora u zidu tornja na visini prvoga kata; u lijevom se otvoru sati pokazuju rimskim brojkama (od I. do XII.), a u desnom minute arapskim brojkama, u koracima od 5 minuta

vrijeme (engl. *Coordinated Universal Time*, pokrata. UTC, prema franc. *Universel Temps Coordonné*), nekadašnji GMT, a na njega se oslanjaju službena područna vremena. Tako je u većini europskih zemalja, pa tako i u Hrvatskoj, službeno srednjoeuropsko vrijeme CET = UTC + 1 h, a ljetno službeno vrijeme CEST = UTC + 2 h. Znači, u nas je podne kad je u Greenwichu po UTC-u tek 11 h (ljeti 10 h).

Od pojave radiodifuzije 1920-ih godina točno se vrijeme odašilje radiosignalima, što je današnjim naraštajima sasvim uobičajeno. Ipak, još je polovicom 20. st. bio običaj, osobito starijih ljudi, da i pokraj radiosignala svoje džepne satove svakom prilikom usklađuju sa satom prometnika na željezničkome kolodvoru. Danas, kad nam točno vrijeme stoji na raspolaganju ne samo na radiju i televiziju, nego u svakome trenutku automatski u računalnim mrežama i mrežama mobilne telefonije, izgleda nam neobičnim da se ne tako davno po točno službeno vrijeme išlo na željeznički kolodvor!

## Podjela sata

Sat se, jednako kao i kutni stupanj, još od starih kultura Mezopotamije dijeli po seksagezimalnome sustavu, dakle na 60, pa ponovno na 60 dijelova. Takva je podjela čvrsto ukorijenjena tisućljećima, pa ju je, iako nam je nesprijetna jer danas većinom rabimo decimalni sustav, gotovo nemoguće promijeniti<sup>16</sup>.

Nazivi dijelova sata potječu vjerojatno od Ptolomeja (2. st.), tako da je 60-i dio polazne jedinice vremena ili kuta nazivan latinski *pars minuta* (manji dio), od čega se zadržalo samo ono *minuta*, tj. *manji*, a 60-i dio minute nazivan je latinski *pars minuta secunda* (drugi manji dio), od čega se zadržalo samo ono *sekunda*, tj. *drugi*. U hrvatskome se jeziku u 19. st. pojavio za minutu i naziv *časak*.

Valja uočiti kako su i danas minuta i sekunda<sup>17</sup> nazivi dviju različitih mjernih jedinica, jedinice vremena i jedinice kuta. Zato suvremeno mjeriteljstvo razlikuje jedinice vremena: *minuta* (znak min) i *sekunda* (znak s), te jedinice kuta: *kutna minuta* (znak 1') i *kutna sekunda* (znak 1'')<sup>18</sup>.

## Definicije sekunde

Sekunda je prvotno definirana kao 60-i dio minute, potom 3600-ti dio sata, a oslanjanjem na astronomska mjerenja kao 86 400-ti dio srednjega Sunčeva dana.

Kako vrtnja Zemlje nije uvijek jednolika, uvedene su astronomski pouzdanije osnove: *zvjezdani dan*, *Sunčev dan* (oslonjeni na mjerenja prema nekoj zvijezdi stajačici, odnosno Suncu) te *tropska* ili *Sunčeva godina* (vrijeme između dvaju uzastopnih prolaza Zemlje kroz tzv. *proljetnu točku*).

<sup>16</sup> Pokušaj dijeljena sastavnica kalendara i jedinica vremena po decimalnome sustavu u doba Francuske revolucije 1792. godine nije uspio, te ga je Napoleon ukinuo 1806. godine.

<sup>17</sup> *Sekunda* je i naziv razlike u visini dvaju tonova dijatonske ljestvice.

<sup>18</sup> Neispravno je zamjenjivati te znakove, pa npr. trajanje neke pjesme ili športski rezultat umjesto ispravnoga 3 min i 20 s, označavati 3' i 20'' kako se katkad radi.

U doba međunarodnoga usvajanja *Metarskoga sustava* 1875. godine sekunda je bila definirana kao 86 400-ti dio srednjega Sunčeva dana, a poslije kao određeni dio tropske godine.

Sekunda je jedna od sedam osnovnih jedinica *Međunarodnoga sustava* (SI), a označava se znakom s. U času usvajanja SI-a 1960. godine sekunda je, prema preporukama *Međunarodne astronomske udruge* iz 1955. godine, bila definirana *tropskom godinom*:

„Sekunda je 1/31 556 925,974 7 dio tropske godine za godinu 1900. siječanj 0 u 12 sati efemeridnoga vremena“. Za razumijevanje te definicije treba i nešto znanja iz astronomije.

U nastojanjima da se sekunda što preciznije definira, ona danas nije oslonjena na dan i sat od kojih je potekla, nego pouzdanije na frekvenciju, odnosno periodu, određenoga elektromagnetskoga zračenja, za što se rabi cezijev etalon.

Današnja je definicija sekunde usvojena na *13. općoj konferenciji za utege i mjere* 1967./68. godine:

Sekunda je trajanje 9 192 631 770 perioda zračenja koje odgovara prijelazu između dviju hiperfinskih razina osnovnoga stanja atoma cezija 133. Pritom je atom cezija u osnovnome stanju na temperaturi od 0 K.

Višekratnici sekunde mogli bi biti decimalni, npr. *dekasekunda*, *kilosekunda* itd. Međutim, gotovo se ne rabe, nego se rabe tradicijske veće mjerne jedinice vremena (minuta, sat i dan), a po potrebi i sastavnice kalendara (tjedan, mjesec, godina itd.).

Nižekratnici sekunde su decimalni, npr. *decisekunda*, koja se obično naziva *desetinkom sekunde*, *centisekunda*, koja se obično naziva *stotinkom sekunde*, a tek se potom rabe normirani nazivi i znakovi: *milisekunda* (ms), *mikrosekunda* (μs) itd.

Danas su i druge mjerne jedinice vremena, ponajprije određene kao *iznimno dopuštene mjerne jedinice izvan SI-ja*, zakonite u većini zemalja oslonjene na *sekundu*:

- minuta (znak min) = 60 s
- sat (znak h) = 60 min = 3 600 s
- dan (znak d) = 24 h = 1440 min = 86 400 s

I tako, iako je povijesno gledano *sekunda* nastala posredno iz minute i sata od dana kao prirodne kao prirodne jedinice vremena, danas je *sekunda* osnovna mjerna jedinica vremena, a minuta, sat i dan mjeriteljski su oslonjeni na sekundu.

## Literatura

- [1] ..... , *Međunarodni sustav jedinica (SI)*. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb, prijevod <sup>(7)</sup>1998.
- [2] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.
- [3] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih veličina*. Školska knjiga, Zagreb 2009.
- [4] ..... , *Le Systeme international d' unites/The international System of Units*. BIPM, Sevres <sup>8</sup>2006.
- [5] Adam Hart-Davis, *Das Buch der Zeit*. Primus Verlag, Darmstadt 2012.



# SCAN

Automatika ■ informatika ■ procesno upravljanje

**S.C.A.N. je vodeći sistem integrator na području instrumentacije i sustava upravljanja.**

**Specijaliziran je za pružanje rješenja u procesnoj automatizaciji s naglaskom na:**

- postrojenja za proizvodnju nafte i plina, na kopnu i na moru
- rafinerije nafte
- naftni i plinski terminali
- plinovodi i naftovodi
- razna petrokemijska i kemijska postrojenja

**Naše osnovne djelatnosti su sljedeće:**

- projektiranje i konzultantske usluge iz područja instrumentacije, sustava upravljanja i sigurnosnih sustava
- integracija sustava upravljanja i Terminal Automation sustava
- održavanje instrumentacije, mjernih sustava i sustava upravljanja
- tehnička podrška našim principalima u regiji



[www.scan.hr](http://www.scan.hr)

# Od milimetra žive do paskala

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ

**T**lak je omjer sile i ploštine površine na koju ona djeluje. Prema tome, njegova je mjerna jedinica omjer jedinice sile i jedinice ploštine. Međutim, mjerenje tlaka počelo je znatno prije nego su osmišljeni sustavi mjernih jedinica, Stoga su povijesno nastale brojne jedinice tlaka, neke definirane mjernim instrumentima kojima se mjerio tlak, neovisno o drugim mjernim jedinicama.



Tlak općenito, a posebno neki tlakovi, kao što je atmosferski tlak, tlak u vodi, tlak u nekim napravama i postrojenjima, tlak u zračnicama kotača vozila te tlak tjelesnih tekućina, važni su podaci za proučavanje stanja i rada promatranoga sustava.

## Mjerni instrumenti

*Tlakomjeri* ili *manometri* (prema grč. *μανός*, *manós*: tanak, rijedak, lagan) su općeniti nazivi mjernih instrumenata za mjerenje tlaka plina, pare ili tekućine u nekom sustavu. Osnivaju se na hidrauličnim, mehaničkim ili električnim osjetnicima, a imaju nekoliko posebnih naziva.

*Tekućinski tlakomjeri* ili *manometri* su instrumenti za mjerenja tlaka u plinovima, parama i tekućinama na načelu spojenih posuda s tekućinom (obojenom vodom, vodenom otopinom alkohola ili živom<sup>1</sup>). Jedna od spojenih posuda spajala se na spremnik u kojemu se mjerio tlak, a on je remetio ravnotežu tekućine u spojenim posudama. Iz toga poremećaja procjenjivao se i na neki način mjerio tlak u spremniku.

*Barometar* (prema grč. *βαρής*, *baris*: težina, tlak + *μέτρον*, *mētron*: mjera) je instrument za mjerenje atmosferskoga tlaka, prvotno uspoređivanjem težina zračnoga stupa i barometarske tekućine.

Iz prvotnih tekućinskih tlakomjera i barometara potekle su i prve mjerne jedinice tlaka.

*Aneroidni barometar* ili *aneroid* (prema grč. *α-νηρός*, *a-neros*: ne-tekućinski) je posebna izvedba tlakomjera kojim se tlak zraka mjeri po promjeni obujma zatvorene posudice s elastičnom membranom (tzv. *Vidieva kutijica*). Izumio ga je 1844. godine Lucien Vidie (1805. – 1866.), francuski izumitelj, a 1881. godine usavršio i patentirao 1909. godine Gotthilf Lufft (1848. – 1921.), njemački izumitelj i osnivač današnje tvrtke *G. Lufft Mess- und Regeltechnik GmbH* iz Fellbacha u Njemačkoj.

<sup>1</sup> Klasični barometri (tlakomjeri) i termometri sa živom nakon tri stoljeća uporabe odlaze u povijest. Zbog velike opasnosti od onečišćenja živom pri razbijanju instrumenta te udisanja živinih para, od 10. travnja 2014. se prema europskoj Smjernici EU 2007/51/ više ne smiju na tržištu nalaziti termometri i tlakomjeri sa živom, te se ne smiju upotrebljavati u zdravstvenim ustanovama.

*Mehanički manometar* je tlakomjer kojim se mjeri tlak u nekom sustavu prema usporedbenom tlaku, većinom atmosferskom. Načinjen je sa savinutom cijevi, koja mijenja zakrivljenost promjenom tlaka u njoj, što se mehanički prenosi na neki pokaznik, većinom zakretnu kazaljku. Potom su konstruirani brojni drugi *mehanički tlakomjeri*. Primjenjuju se ponajprije za mjerenje tlaka u tehničkim sustavima (spremnici, cjevovodima, zračnicama kotača vozila, napuhanim čamcima i sl.).

*Elektronički* ili *digitalni tlakomjeri* mjere tlak nekim električnim osjetnikom, a rezultat se obrađuje elektronički i prikazuje brojčano na digitalnom pokazniku.

Rabe se i drugi nazivi, na primjer *diferencijalni tlakomjer* za mjerenje razlike tlakova između dvaju sustava, *vakuumetar* za mjerenje stupnja tehničkoga vakuuma, *medicinski tlakomjer* za mjerenje tlaka u krvožilnom sustavu i sl.

Mjerni uređaj koji i bilježi tlak, obično u nekom vremenu, naziva se *barografom*.



*Goetheov baroskop*

## Prvotna opažanja

Prva su opažanja promjene tlaka u plinovima obavljena spojenim posudama s tekućinom. Takve bi instrumente danas nazivali *tlakoskopima*, a ako se radi o opažanju promjena tlaka atmosferskoga zraka *baroskopima*, jer ne mjere nego samo pokazuju promjenu tlaka. Pretpostavlja se da je takvim instrumentima obavljao pokuse još Galileo Galilei (1564. – 1642.), talijanski matematičar, fizičar i filozof. Potom je Johann Wolfgang von Goethe (1749. – 1832.), znameniti njemački mislilac i književnik, opažao promjenu atmosferskoga tlaka posebnom napravom sa spojenim posudama s vodom, koja se danas naziva *Goetheovim barometrom* (točnije, to je *baroskop*).

**Evangelista Torricelli** (1608. – 1647.), talijanski fizičar i matematičar, Galilejev tajnik i nasljednik na katedri matematike na Sveučilištu u Pisi, konstruirao je 1643. godine za mjerenje

atmosferskoga tlaka tekućinski tlakomjer sa živom. Na njemu je mjerio visinu živina stupca koji drži ravnotežu stupcu zraka u atmosferi. Za mjernu jedinicu te ljestvice upotrijebio je mjernu jedinicu duljine. Poslije je, uvođenjem metarskih jedinica za to upotrijebljen *milimetar*, s naznakom o kojoj se tekućini radi (živi ili vodi).

Porastom visine iznad razine mora smanjuje se stupac zraka, a time i stupac žive, pa su barometri od prvih dana služili i za mjerenje visine iznad razine mora. Prije takvoga mjerenja mora se bilo računski, bilo ugađanjem barometra odrediti tlak na razini mora.

Prvi je barometar sa živom kao visinomjer upotrijebio Blaise Pascal (1623. – 1662.), francuski znanstvenik širokoga područja djelovanja, koji je 20. rujna 1648. pred brojnim uglednim svjedocima izmjerio razliku nadmorskih visina mjesta Clermont u Francuskoj i obližnjega brijega Puy de Dôme prema razlici tlaka zraka, i takvim jednostavnim mjerenjem



*Portret Evangelista Torricellija*  
(Lorenzo Lippi, oko 1647. godine)



*Portret Blaisea Pascala*  
(Francois II Quesnel 1691.)



*Povijesno Pascalovo mjerenje visine brijega barometrom 1648. godine (ilustracija iz knjige Novovjekni izumi II. Matica hrvatska, Zagreb 1883.)*



*Aneroidni meteorološki barometar*

ustanovio razliku visina s pogreškom od samo oko 1,5%. Pascal je također ustanovio da se tlak zraka mijenja s meteorološkim stanjem atmosfere.

Mjerenja atmosferskoga tlaka nastavili su i drugi, među njima René Descartes (1596. – 1650.), francuski znanstvenik, koji je poboljšao Torricellijev instrument. Instrument sa živom u staklenoj cijevi je 1665/66. godine Robert Bojl (1627. – 1692.), irski fizičar, nazvao *baroskopom*, a potom *barometrom*.

## Manometarske i barometarske jedinice tlaka

Prvotne su jedinice tlaka nastale izravno ili posredno prema mjerenjima na manometrima i barometrima.

**Milimetar stupca tekućine.** Prema mjerenju tekućinskim tlakomjerom nastala je barometarska mjerna jedinica *milimetar živina stupca* i *milimetar vodenoga stupca*.



*Starinski precizni živin barometar*

*Milimetar živina stupca* ili *milimetar stupca žive*, razgovorno i samo *milimetar žive* (znak mmHg), je najstarija mjerna jedinica tlaka. Na razini mora u normiranim okolnostima temperature i vlažnost zraka ravnotežu stupcu zraka u atmosferi drži stupac žive visok 760 mm, pa je tako tlak atmosferskoga zraka određen kao 760 mmHg.

U nekim se primjenama, osobito za izražavanje tlaka tjelesnih tekućina, ta mjerna jedinica tako uvriježila da je i danas zakonita, iznimno dopuštena jedinica izvan SI-a, za izražavanje tlakova tjelesnih tekućina:

*milimetar živina stupca* (znak mmHg) je iznimno dopuštena jedinica tlaka izvan SI, vrijednosti mmHg = 133,32 Pa.

*Milimetar vodenoga stupca*, *milimetar stupca vode* ili *milimetar vode* (znak mmH<sub>2</sub>O), stara je mjerna jedinica *tlaka*, definiran tlačenjem vodenoga stupca pri najvećoj gustoći vode (pri 4 °C) u tekućinskome manometru, uz normirano ubrzanje Zemljine teže. Približno je jednak *kilopondu po četvornome metru*, dakle mmH<sub>2</sub>O ≈ kp/m<sup>2</sup> = 9,806 65 Pa, dakle blizu 10 Pa. Primjenjivao se za manje tlakove. Danas je milimetar vodenoga stupca zastarjela, nezakonita mjerna jedinica.

**Tor** (znak Torr) stara je mjerna jedinica *tlaka*, nazvan prema Evangelisti Torricelliju. Prvotno je bio naziv za *milimetar živina stupca* (Torr = mmHg = 133,32 Pa). Potom je pouzdanije definiran<sup>2</sup> kao 760-i dio *normalne atmosfere*, dakle Torr = atm/760 = 101 325 Pa/760 ≈ 133,322 Pa. Razlika je „staroga“ i „novoga“ tora gotovo neznatna. Danas je to tor zastarjela, nezakonita mjerna jedinica.

**Normalna atmosfera**, *standardna atmosfera* ili *fizikalna atmosfera* (znak atm), stara je mjerna jedinica *tlaka*, vrijednosti približno jednake tlaku Zemljine atmosfere na morskoj razini. Svojedobno je bila definirana kao tlak od 760 mmHg, a posljednja je definicija bila atm = 101 325 Pa. Danas je normalna atmosfera zastarjela, nezakonita mjerna jedinica.

<sup>2</sup> Visina stupca žive ovisna je okolnostima: temperaturi i vlažnosti zraka te ubrzanju Zemljine teže.



Tehnički barometar za mjerenja tlaka u zračnicama kotača vozila



Zastarjeli živin medicinski tlakomjer

*atmosfera* (bar = 1,019 716 at). Stoga je i danas zadržan kao zakonita mjerna jedinica tlaka, sa slijedećom definicijom:

*bar* (znak bar) je iznimno dopuštena jedinica *tlaka* izvan SI, vrijednosti bar =  $10^5$  Pa.

Često se upotrebljava njegov decimalni niže-kratnik *milibar* (znak mbar), vrijednosti mbar =  $10^{-3}$  bara.

**Paskal** je izvedena mjerna SI-jedinica *tlaka* i *tlačnoga naprezanja*, nazvan po Blaiseu Pascalu, koji je još u 17. stoljeću prvi mjerio visine brjegovia i zgrada razlikom atmosferskih tlakova. Definiran je jedinicom sile *njutm* i ploštine *četvorni metar*:

*paskal* (znak Pa) je tlak što ga proizvodi jednoliko raspoređena sila od jednoga njutna koja okomito tlači plohu ploštine jedan četvorni metar, dakle paskal je njutm po četvornom metru ( $\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$ ).

## Jedinice tlaka osnovane na sili

Kako je tlak omjer sile i ploštine površine na koju sila tlači, neke su mjerne jedinice tlaka definirane silom i ploštinom.

**Tehnička atmosfera** (znak at), stara je mjerna jedinica *tlaka*, definiran silom u *kilopondima* koja okomito djeluje na površinu ploštine u *četvornim centimetrima*, dakle  $\text{at} = \text{kp}/\text{cm}^2 = 98\,066,5 \text{ Pa}$ . Prvotno se nazivala i *kilogramom (sile) po četvornom centimetru* (znak  $\text{kg}^*/\text{cm}^2$ ). Upotrebljavala se vrlo često u Tehničkom sustavu upravo u doba velikoga industrijskoga razvoja od početka 20. st., pa do uvođenja Međunarodnoga sustava 1970-ih godina. U tehničkoj je primjeni bila vrlo uvriježena (tlakovi u postrojenjima, spremnicima, cijevima, zračnicama i dr.). Praktično ju je zamijenila jedinica *bar*, vrlo bliske vrijednosti. Danas je tehnička atmosfera zastarjela, nezakonita mjerna jedinica.

**Bar** je mjerna jedinica *tlaka*, svojedobno definiran kao višekratnik cgs-jedinice tlaka, dakle silom u *dinima* i ploštinom u *četvornim centimetrima*, tj.  $\text{bar} = 10^6 \text{ dyn}/\text{cm}^2$ . U vrijeme uvođenja Međunarodnoga sustava jedinica bar se često upotrebljavao, jer je po vrijednosti vrlo blizak starim jedinicama tlaka *normalnoj atmosferi* ( $\text{bar} = 0,986\,923 \text{ atm}$ ) i *tehničkoj*

Za mnoge je primjene paskal po vrijednosti malena jedinica, dakle brojčane vrijednosti tlaka su velike. Stoga se često rabe njegovi višekratnici *hektopaskal* (znak hPa) i *kilopaskal* (znak kPa). Hektopaskal se zbog odnosa

$$\text{hPa} = 10^2 \text{ Pa} = 10^2 \times 10^{-5} \text{ bar} = 10^{-3} \text{ bar} = \text{mbar},$$

često zamjenjuje iznimno dopuštenom jedinicom *milibar* (znak mbar).



Suvremeni elektronički (digitalni) medicinski tlakomjer

### Usporedni pregled nekih jedinica tlaka<sup>1</sup>

Naziv	Znak	Izvorna definicija	Vrijednost u SI jedinici tlaka
milimetar živina stupca	mmHg	ljestvica na barometru sa živinom	133,32 Pa
milimetar vodenoga stupca	mmH <sub>2</sub> O	ljestvica na barometru s vodom (~ kp/m <sup>2</sup> )	9,806 65 Pa
tor	Torr	a) mmHg; b) atm/760	133,322 Pa
normalna ili fizikalna atmosfera	atm	760 mmHg	101 325 Pa
tehnička atmosfera	at	kp/cm <sup>2</sup>	98 066,5 Pa
bar	bar	10 <sup>6</sup> dyn/cm <sup>2</sup>	10 <sup>5</sup> Pa
funta po četvornome inču (engl. pound per square inch). <sup>(2)</sup>	psi	lb/in <sup>2</sup> ≈ 0,069 bara	6 894,76 Pa
paskal	Pa	N/m <sup>2</sup>	1 Pa

<sup>(1)</sup> Sjenčene su zakonite mjerne jedinice

<sup>(2)</sup> Dio je sustava angloameričkih mjernih jedinica

## Literatura

- [1] Marijan Brezinščak, *Mjerenje i računanje u tehnici i znanosti*. Tehnička knjiga, Zagreb 1971.
- [2] ....., *Medunarodni sustav jedinica (SI)*. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb, prijevod <sup>(7)</sup>1998.
- [3] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.
- [4] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih veličina*. Školska knjiga, Zagreb 2009.
- [5] ....., *Le Systeme international d' unites/The international System of Units*. BIPM, Sèvres <sup>(8)</sup>2006.

SIEMENS



Scale



Eye



Rotameter



Mass-flow



SITRANS  
FC430

[siemens.com/fc430](http://siemens.com/fc430)

# Evolution and efficiency in flow measurement

The new Coriolis compact class.

Answers for industry.

# Od termoskopa do kelvina

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ



Starinski sobni živin termometar  
(ilustracija iz knjige Novovjekni  
izumi II. Matica hrvatska,  
Zagreb 1883.)

Temperatura je važno svojstvo tvari, tijela i pojava u prirodi, te po tome i našega tijela. Čovjeku je osobito važna temperatura u njegovoj okolini i nastambama, te u mnogim postupcima obradbe hrane i materijala. Čovjek ima osjet temperature, koji je ovisan o stanju organizma, stoga je prilično nepouzdan. Ljudi su od davnina nastojali objektivnije i pouzdanije opažati, te potom i mjeriti temperaturu. Od različitih naprava za opažanje temperature, do mjernih instrumenata i postupaka mjerenja temperature bio je dug put.

**T**emperatura je stupanj toplinskoga stanja sustava. Izražava se na dva bitno različita načina. *Iskustvene temperature* ili *eksperimentalne temperature*, koje se razgovorno skraćeno nazivaju samo *temperaturom*, oslanjaju se na neka određena toplinska stanja sustava (tvari, tijela, pojava), podrobnije se nazivaju prema ljestvicama kojima se mjere, a kao mjerne veličine označavaju  $t$  ili  $\vartheta$ . *Termodinamička temperatura* (zastario naziv *apsolutna temperatura*) oslanja se na termodinamičke zakone, a kao mjerna veličina označava  $T$ .

*Termoskop* je uređaj na kojem se po nekom njegovom svojstvu opaža temperatura, a promjenom toga svojstva opaža se i promjena temperature. Poslije našega vrlo nepouzdanoga subjektivnog osjeta temperature (hladno, mlačno, toplo, vruće ..... ) najjednostavniji je termoskop voda. Njezina agregatna stanja (čvrsto i tekuće<sup>1</sup>) očito pokazuju da je njezina temperatura viša ili niža od ledišta, a kada su led i voda u smjesi, to je upravo ledište. Prve su laboratorijske termoskope izrađivali kemičari i alkemičari još u starome i srednjem vijeku. To je obično bio spremnik s nekom termometrijskom tvari, obično tekućinom (obojena vodena otopina alkohola, ulje, živa). Tekućina djelomično ispunjava i staklenu cjevčicu koja se na spremnik nastavljala. Promjena obujma tekućine s promjenom temperature vidi se po promjeni visine stupca tekućine u cjevčici.

Određivanjem neke temperaturne ljestvice po kojoj se mjeri promjena visine stupca tekućine nastaje tekućinski *termometar* ili *toplomjer*<sup>2</sup>. Pri tome se koraci ljestvice nazivaju *stupnjevima*, kakav je običaj bio u drevnom mjeriteljstvu. Temperaturne ljestvice<sup>3</sup> i njihovi stupnjevi nazivaju se prema znanstvenicima koji su ih svojedobno odredili. Prvi pokušaji mjerenja temperature nekim pridruženim ljestvicama pripisuju se u literaturi nekolicini znanstvenika, a konstrukcije termometara nekolicini graditelja mjernih instrumenata.

Za umjeravanje ljestvice primjenjuju se dva postupka. Prvi je odabiranje dviju umjernih temperatura za dvije umjerne točke na ljestvici, te linearna po-

<sup>1</sup> S parom kao plinovitim stanjem stvar je mnogo složenija, jer stanje ovisi o drugim okolnostima, ponajprije o tlaku.

<sup>2</sup> Naziv *toplomjer* današnjega govornika hrvatskoga jezika navodi na pomisao da je to instrument za mjerenje *toplina* (posebnoga oblika energije). Međutim, naziv potječe iz druge polovice 19. st., kada se pokušalo za *temperaturu* (engl. *temperature*, njem. *Temperatur*) uporabiti naziv *toplota* (B. Sulek, *Rječnik znanstvenog nazivlja* iz 1874/75.), za razliku od *toplina* (engl. *heat*, njem. *Wärme*). Zbog velike sličnosti tih dvaju naziva to se nije ustalilo, nego je posuđen naziv *temperatura* kao i u većini jezika. Prvi hrvatski Vrančićev *Rječnik* (1595. god.) ima samo naziv *toplina*, oba naziva *toplina* i *toplota* imaju još Belostenčev *Gazofilacij* i Habelićev *Dikcionar* iz 17. st. (lat. *calor*), ali je prevladao naziv *toplina* i njegove izvedenice (*toplinojmjer*, *toplinski* i dr.), a naziv *toplota* danas se ne rabi u suvremenom hrvatskom jeziku. Razgovorno se naziv *toplomjer* ponajprije rabi za instrument za mjerenje temperature ljudskoga tijela.

<sup>3</sup> *Temperaturna ljestvica* je širi pojam, dok se *termometarska ljestvica* odnosi samo na iskustvene temperature definirane nekim termometrom, a ne može se odnositi na termodinamičku temperaturu, jer ona nije definirana nikakvim termometrom nego termodinamičkim zakonima, niti na *Međunarodnu temperaturnu ljestvicu* koja je definirana nizom određenih temperatura.



djela ljestvice između tih umjernih točaka (uz pretpostavku jednolike promjene obujma termometrijske tvari s temperaturom) i nastavljanje takve podjele i izvan umjernih točaka. Drugi je odabiranje polazne umjerne temperature za osnovnu umjernu točku, te definiranje stupnjeva ljestvice razmjernom promjenom obujma termometrijske tvari s temperaturom<sup>4</sup>.

## Povijesne temperaturne ljestvice

**Newtonova ljestvica.** *Isaac Newton* (1643. – 1728.), engleski fizičar i matematičar, prvi je, koliko je poznato, oko 1700. godine pokušao umjeriti termoskop. Instrument je bio s lanenim uljem, mjerio je promjenu obujma ulja s promjenom temperature, a nazvao ga je *termometrom*. Prve su umjerne točke bile temperatura „zimskoga zraka“ i temperatura „užarenoga ugljena“. Ubrzo je uvidio da su te temperature nepouzdanе kao oslonci, pa ih je zamijenio s temperaturom taljenja snijega, pridružujući joj na ljestvici vrijednost nultoga „stupnja topline“ i vrelištem vode, pridružujući mu 33 „stupnja topline“. Newtonov termometar i ljestvica nisu ušli u primjenu.

**Rømerova ljestvica.** *Ole Christensen Rømer* (1644. – 1710.), danski astronom, osmislio je 1701. godine temperaturnu ljestvicu na tekućinskom termometru s alkoholom. Prva je umjerna točka bila na ledištu rasola (smjesa vode i kuhinjske soli), kojem je ljestvici pridružio nula stupnjeva (to je Celzijeva temperatura od  $-14,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), a druga na vrelištu vode, kojemu je pridružio 60 stupnjeva. Danas bi te stupnjeve nazivali *Rømerovim stupnjevima* i označavali ih  $^{\circ}\text{Rø}$ . U linearno razmjernoj takvoj ljestvici ledište je vode na  $7,5\text{ }^{\circ}\text{Rø}$ .

*Rømerova ljestvica* nije općenito prihvaćena, ali je za nju saznao G. D. Fahrenheit pri posjetu Danskoj 1708. godine.

**Fahrenheitova ljestvica.** *Gabriel Daniel Fahrenheit* (1686. – 1736.), njemački fizičar i graditelj mjernih instrumenata (barometara, visinomjera i termometara), umjerio je 1714.



Jedan od samo tri sačuvana izvorna Fahrenheitova termometra, načinjen nekoliko godina poslije 1714. godine (Muzej Boerhaave u Leidenu u Nizozemskoj)



Veliki termometar na tornju (Deutsche Museums, München, fotografija iz 1930.)

godine tekućinski termometar s vinskom žestom<sup>5</sup> kao termometrijskom tvari, tako da je za jednu umjernu točku ljestvice upotrijebio temperaturu rashladne smjese amonijeva klorida (stari trgovački naziv *salmijak*) i vodenoga leda po određenoj recepturi, te ju označio nula stupnjeva (to je Celzijeva temperatura od  $-17,78\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Za drugu je umjernu točku upotrijebio „normalnu temperaturu zdravoga ljudskoga tijela“ koju je prvotno označio sa 100 stupnjeva (to je Celzijeva temperatura od  $37,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), a poslije 96 stupnjeva. Ljestvicu je nastavio i izvan toga područja. U toj je ljestvici ledište vode na 32 stupnja, a vrelište na 212 stupnjeva. Znatno poslije ta je ljestvica nazvana *Fahrenheitovom ljestvicom*, a njezini stupnjevi *Fahrenheitovim stupnjevima* (znak  $^{\circ}\text{F}$ ). U povijesti je bilo i drugih naziva i označavanja, pa se tako i danas u engleskom govornom području Fahrenheitovi stupnjevi nazivaju samo *degree* ili *fahrenheit*, a često označavaju nenormiranim znakovima degF, F ili deg. Fahrenheit je poslije kao termometrijsku tvar upotrijebio živu<sup>6</sup>, ostavljajući raspodjelu i obilježavanje ljestvice kao na prvotnoj, ali ju je umjeravao na ledištu vode i vrelištu vode, kako se radi do danas.

Umjerne točke su na *Fahrenheitovoj ljestvici* ledište vode<sup>7</sup> na  $32\text{ }^{\circ}\text{F}$  i vrelište vode na  $212\text{ }^{\circ}\text{F}$ , a granična temperatura ljudskoga tijela iznosi  $98,6\text{ }^{\circ}\text{F}$ . Fahrenheitov stupanj je gotovo dvostruko manji od Celzijeva stupnja, tj.  $^{\circ}\text{C} = 1,8\text{ }^{\circ}\text{F}$ .

*Fahrenheitova temperatura* (razgovorno i *Fahrenheitova ljestvica*) i *Fahrenheitovi stupnjevi* i danas se tradicijski upotrebljaju

<sup>5</sup> Zesta je stariji naziv za *etanol* (obični alkohol, etilni alkohol, špirit).

<sup>6</sup> Klasični termometri i barometri (tlakomjeri) sa živom nakon tri stoljeća uporabe odlaze u povijest. Zbog velike opasnosti od onečišćenja živom pri razbijanju instrumenta te udisanja živinih para, od 10. travnja 2014. se prema europskoj Smjernici EU 2007/51/ više ne smiju na tržištu nalaziti termometri i tlakomjeri sa živom, te se ne smiju upotrebljavati u zdravstvenim ustanovama.

<sup>7</sup> U ovom se napisu zbog jednostavnosti upotrebljavaju skraćeni nazivi *ledište vode* i *vrelište vode* (točnije: *ledište i vrelište čiste vode pri normalnim okolnostima tlaka*), te *temperatura ljudskoga tijela* (točnije: *granična vanjska temperatura između fiziološki normalnoga i patološkoga stanja organizma*, koja iznosi  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ , što je na medicinskim termometrima jasno označeno).



*Tekućinski termometar za mjerenje temperature zraka s Celzijevom i Fahrenheitovom ljestvicom*



*Živin medicinski termometar (vidi 6. podrubnu bilješku)*

vaju u engleskom govornom području, dok je ta jedinica nezakonita u većini zemalja, pa tako i u Hrvatskoj.

Poteškoća je i u tome što se na engleskom razgovorno Celzijev stupanj naziva samo *centigrade*, a Fahrenheitov samo *degree*, što kod neupućenih lako uzrokuje zabunu.

Zbog velikoga utjecaja engleskoga jezika Fahrenheitova temperatura i Fahrenheitov stupanj još se često susreću na Internetu te mnogim aplikacijama na računalima, mobitelima i dr.

Zanimljivo je, da se brojčane vrijednosti Celzijeve i Fahrenheitove temperature podudaraju na  $-40$ , tj. Celzijeva temperatura od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  odgovara Fahrenheitovoj temperaturi od također  $-40\text{ }^{\circ}\text{F}$ , pa na sjeveru Amerike postoji poslovice da je „ciča zima kada se podudare celzij i fahrenheit!“

**Reaumurova ljestvica.** *René-Antoine de Réaumur* (1683. – 1757.), francuski znanstvenik širokoga područja djelovanja, odredio je 1730. godine temperaturnu ljestvicu na alkoholnome termometru. Osnovna je umjerna točka ljestvice bila na ledištu vode, obilježena s nula stupnjeva. Stupnjeve je odredio prema povećanju obujma alkohola za tisućinku, te je po tome vrelište vode bilo na 80 stupnjeva. Ti su se stupnjevi nazivali *Reaumurovim stupnjevima* i označavali  $^{\circ}\text{R}$ . Po tome su umjerne točke prvo na alkoholnom, a potom i na živinom termometru bile ledište vode označeno  $0\text{ }^{\circ}\text{R}$ , i vrelište vode označeno  $80\text{ }^{\circ}\text{R}$ .

*Reaumurova ljestvica* rabila se u većini europskih zemalja, ponajprije za mjerenje temperature zraka i vode u okruženju i stambenim te radnim prostorijama, sve do početka 20. st., iako je formalno ukinuta pri prijelazu na Metarski sustav jedinica. Dugo se održala osobito za mjerenje temperature mlijeka u nekim srednjoeuropskim siranama, jer je u recepturama sireva temperatura tradicijski bila navedena u Reaumurovim stupnjevima.

**Delisleova ljestvica.** *Joseph Nicolas Delisle* (1688. – 1768.), francuski fizičar i astronom, na poziv je ruskoga cara Petra Velikoga od 1732. godine radio u Rusiji. Iste je godine konstruirao tekućinski termometar sa živom. Osnovna je umjerna točka ljestvice bila na vrelištu vode označena s nula stupnjeva, a stupnjevi su bili određeni promjenom obujma žive za stotisućinku. Danas bi te stupnjeve nazivali *Delisleovim stupnjevima* i označavali ih  $^{\circ}\text{D}$ . *Josias Weitbrecht* (1702. – 1747.), njemački anatom, koji je od 1721. također radio u Rusiji, 1738. godine je kao drugu umjernu točku Delisleove ljestvice odabrao ledište vode, pridružujući mu vrijednost  $150\text{ }^{\circ}\text{D}$  ispod vrelišta.



*Elektronički medicinski termometar s digitalnim pokaznikom*



*Elektronički sobni termometar s digitalnim pokaznikom*

*Delisleova ljestvica* se rabila u Rusiji do polovica 19. stoljeća, ali šire nije bila prihvaćena.

**Rankineova ljestvica.** *William John Macquorn Rankine* (1820. – 1872.), škotski fizičar, upotrijebio je 1859. godine za termodinamičku temperaturu Fahrenheitovu ljestvicu s promijenjenim oznakama, pridružujući apsolutnoj nuli vrijednost nula stupnjeva (to je Fahrenheitova temperatura od  $-459,67^{\circ}\text{F}$ ), a ledištu vode  $491,67$  stupnjeva (to je Fahrenheitova temperatura od  $32^{\circ}\text{F}$ ). Ti su stupnjevi nazvani *Rankineovim stupnjevima* (engl. *degree Rankine*) a upotrebljavaju se brojni nenormirani znakovi:  $^{\circ}\text{R}$ ,  $^{\circ}\text{Ra}$ ,  $\text{deg R}$ ,  $^{\circ}\text{Rank}$ ,  $\text{R}$ .

Rankineovi i Fahrenheitovi stupnjevi su dakle jednaki, tj.  $^{\circ}\text{Ra} = ^{\circ}\text{F}$ , a Fahrenheitova temperatura je definirana termodinamičkom temperaturom u Rankineovim stupnjevima jednadžbom

$$\frac{t_{\text{F}}}{^{\circ}\text{F}} = \frac{T}{^{\circ}\text{Ra}} - 459,67.$$

*Rankineova ljestvica* i *Rankineov stupanj* upotrebljavali su se uglavnom u SAD.

# Povijesni pregled temperaturnih ljestvica

(u sjenčenim poljima su ljestvice sa zakonitim mjernim jedinicama)

Naziv ljestvice	Godina definiranja	Jedinica*	Umjerne temperature	Uporaba
Newtonova ljestvica	oko 1700.	Newtonov stupanj (°N)	– taljenje snijega (0 °N) – vrelište vode (33 °N)	Povijesna
Rømerova ljestvica	1701.	Rømerov stupanj (°Rø)	– ledište rasola (0 °Rø) – vrelište vode (60 °Rø)	Povijesna
Fahrenheitova ljestvica	1714.	Fahrenheitov stupanj (°F)	– ledište vode (32 °F) – vrelište vode (212 °F)	Englesko govorno područje
Reaumurova ljestvica	1730.	Reaumurov stupanj (°R)	– ledište vode (0 °R) – vrelište vode (80 °R)	Povijesna (Europa)
Delisleova ljestvica	1732.	Delisleov stupanj (°D)	– vrelište vode (0 °D) – ledište vode (150 °D)	Povijesna (Rusija)
Celzijeva ljestvica	1742.	Celzijev stupanj (°C)	– ledište vode (0 °C) – vrelište vode (100 °C)	Zakonita mjerna jedinica Celzijeve temperature
Kelvinova ljestvica	1848.	kelvin (K)	– apsolutna nula (0 K) – trojno stanje vode (273,16 K)	Zakonita mjerna jedinica termodinamičke temperature
Rankineova ljestvica	1859.	Rankineov stupanj (°Ra)	– apsolutna nula (0 °Ra) – trojno stanje vode (491,688 °Ra)	Uglavnom povijesna (SAD)

\* Prema suvremenim nazivima i znakovima

## Suvremene temperaturne ljestvice

**Celzijeva ljestvica.** *Anders Celsius*<sup>8</sup> (1701. – 1744.), švedski matematičar, fizičar i astronom, je 1742. godine na živinom termometru odabrao kao dvije umjerne temperature vrelište vode, pridružujući mu prvotno nula stupnjeva, i ledište vode, pridružujući mu prvotno 10, a potom 100 stupnjeva. On je prvi definirao da se te promjene agregatnih stanja računaju pri određenim okolnostima normiranoga tlaka zraka (po tadašnjem izražavanju na 760 mm živinoga stupca).

Ubrzo nakon Celzijeve smrti su prema nekim izvorima njegov student *Mårten Strömer* (1707. – 1770.), a prema drugim izvorima njegov prijatelj *Carl von Linné* (1707. – 1778.), švedski botaničar, zamijenili te oznake pridružujući na ljestvici ledištu vode nula stupnjeva, a vrelištu vode 100 stupnjeva. Time je povišenje temperature preglednije označeno i povećanjem brojčane vrijednosti u stupnjevima.

Celzijeva ljestvica se ubrzo počela upotrebljavati gotovo u cijelom svijetu. Sve druge jedinice iskustvenih temperatura su otišle u povijest, jedino se još u engleskom govornom području zadržala do danas Fahrenheitova ljestvica. Jedinica Celzijeve ljestvice se tijekom vremena i u raznim zemljama različito nazivala.

Stoga je *Međunarodni odbor za utege i mjere* (CIPM) 1948. godine od nekoliko naziva (*stodjelni stupanj*, *stotični stupanj* i *Celzijev stupanj*) odabrao naziv<sup>9</sup> *Celzijev stupanj*, te za njega znak °C.

<sup>8</sup> U hrvatskom se rabi i u obliku *Celzij*.

<sup>9</sup> Šteta je što tada nije načinjeno kao pri nazivima drugih mjernih jedinica, pa se odabrala izvedenica iz imena *celzij* i za nju znak C (tada bi znak mjerne jedinice *kulon* trebao biti Co), kako je poslije učinjeno za mjernu jedinicu *kelvin*. Međutim, htjelo se poštivati tradiciju, a

Pri osnivanju Međunarodnoga sustava jedinica (SI), Celzijev stupanj je razvrstan u *iznimno dopuštene jedinice izvan SI*.

Danas je *Celzijev stupanj* (nazivan i *Celsiusov stupanj*, *stupanj Celsiusa*, *stupanj Celzija*, *celzij*; engl. *degree Celsius*; znak °C), definiran kao jedina posebna SI-jedinica:

Celzijev stupanj je posebna SI-jedinica *Celzijeve temperature* jednaka kelvinu (°C = K).

Zbog razlike ishodišta ljestvica termodinamičke i Celzijeve temperature isto je temperaturno stanje iskazano termodinamičkom temperaturom  $T$  (u kelvinima) i Celzijevom temperaturom  $t_C$  (u Celzijevim stupnjevima) različitim za vrijednost ledišta vode, tj. za  $T_0 = 273,15$  K. Celzijeva temperatura je definirana kao razlika termodinamičke temperature  $T$  i temperature ledišta vode, tj.  $t_C = T - T_0$ , odnosno

$$\frac{t_C}{^{\circ}\text{F}} = \frac{T}{^{\circ}\text{Ra}} - 459,67$$

**Kelvinova ljestvica.** *William Thomson lord Kelvin* (1824. – 1907.), engleski fizičar vrlo širokog područja rada, definiciju je temperature oslonio na termodinamičke zakone, iz kojih između ostaloga slijedi da u prirodi postoji najniža moguća temperatura, kada je sustavu uzeta sva unutarnja energija. On je 1848. godine procijenio da je ta „apsolutna nula temperature“ na  $-273$  °C. Stoga je predložio da se *apsolutna tempera-*

donekle i engl. naziv *centigrade* za Celzijev stupanj, što je danas svakako poteškoća, jer se razgovorno jedinica ponekad naziva *celzijem*, a neispravno ponekad označava samo podignutim kružićem (što je znak mjerne jedinice kuta), ili samo slovom C (što je znak mjerne jedinice *kulon*)!



Bimetalni termometar s analognim pokaznikom za rashladne uređaje



Ubodni termometar s analognim pokaznikom za dubinsko mjerenje temperature hrane pri termičkoj obradbi



Ubodni termometar s digitalnim pokaznikom za dubinsko mjerenje temperature hrane u spremniku ili pri termičkoj obradbi

#### NEKE TEMPERATURE\*

(samo su u sjenčenim poljima navedene u zakonitim mjernim jedinicama)

	Iskustvena temperatura		Termodinamička temperatura	
	Fahrenheitova temperatura $t_F/^\circ\text{F}$	Celzijeva temperatura $t_C/^\circ\text{C}$	u kelvinima $T/\text{K}$	u stupnjevima Rankine $T/^\circ\text{R}$
Toplinsko stanje				
Vrelište vode	212	100	373,15	671,67
Granična temperatura ljudskoga tijela	98,6	37	310,15	558,27
Trojno stanje vode	32,02	0,01	273,16	491,69
Ledište vode	32	0	273,15	491,67
Temperatura određene rashladne smjese	0	17,78	255,37	459,67
Apsolutna nula	-459,67	-273,15	0	0

\*Neke su vrijednosti zaokružene. Tako, na primjer, najpreciznija mjerenja vrelištu vode u normiranim okolnostima pridružuju vrijednosti od 99,974 °C ili umjereno sa ITS-90 to je 99,9839 °C, što je za većinu primjena zanemarivo različito od 100 °C (samo oko 0,01%).

tura, poslije nazvana *termodinamičkom temperaturom*, izražava ljestvicom koja počinje na apsolutnoj nuli. Da ne uvodi nove stupnjeve (uz nekoliko koji su tada bili u uporabi), upotrijebio je Celzijevu ljestvicu, tako što je promijenio oznake da je početak (nula stupnjeva) na apsolutnoj nuli, a 273 stupnja na ledištu vode. U takvoj ljestvici nema negativnih vrijednosti temperature. Ubrzo je ta ljestvica nazvana *Kelvinovom ljestvicom*, a njezini stupnjevi *Kelvinovim stupnjevima* (znak °K), iako su jednaki Celzijevim stupnjevima.

U Engleskoj se svojedobno sporadično rabio „*stupanj apsolutne temperature*“ (znak °A), jednak Kelvinovu stupnju (°A = °K), ali je ljestvica bila pomaknuta, tako što je ledištu vode pridružena zaokružena vrijednost  $T_0 = 273,00$  °A (točno).

Opća konferencija za utege i mjere (CGPM) je 1954. godine definirala Kelvinovu ljestvicu, pridružujući temperaturi trojnoga stanja vode (tzv. *trojna točka*) vrijednost od 273,16 °K, koja je samo 0,01 °K iznad ledišta vode, ali se može odrediti znatno pouzdanije.

Pri usvajanju Međunarodnoga sustava mjernih jedinica (SI) 1960. godine stupanj kelvina je odabran kao jedna od tada šest osnovnih jedinica SI.

Naziv mjerne jedinice *Kelvinov stupanj* i njegov znak °K je CGPM 1967/68. godine zamijenjeno nazivom *kelvin* i znakom K, u definiciji:

Jedinica termodinamičke temperature je kelvin (znak K), koji je jednak 273,16-om dijelu termodinamičke temperature trojnoga stanja vode<sup>10, 11</sup>.

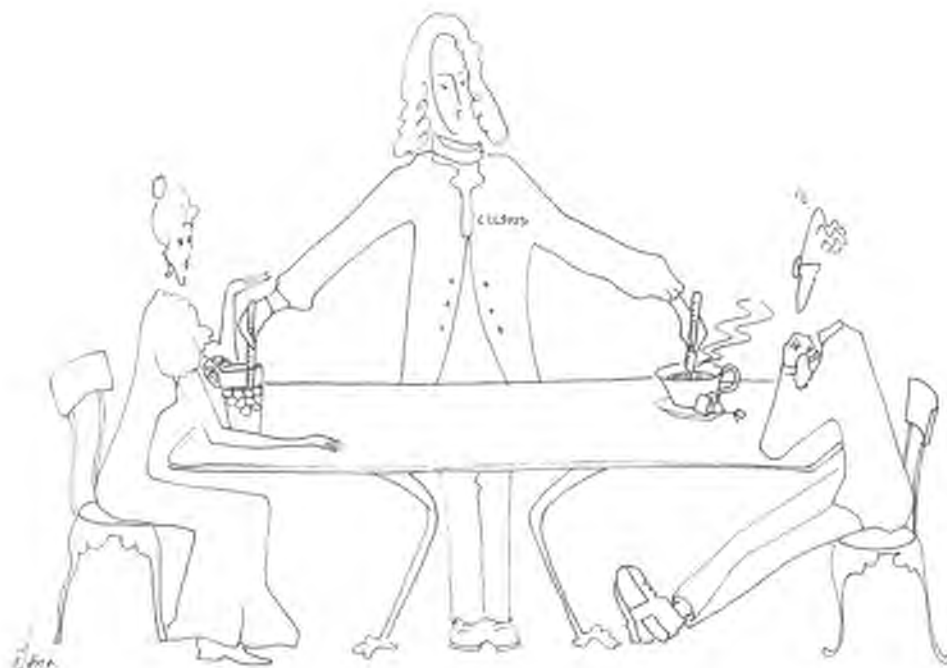
Zbog jednakosti °C = K, temperaturni odsječak, tj. razlika temperatura može se izražavati jednom ili drugom jedinicom. Dakle  $\Delta t/^\circ\text{C} = \Delta T/\text{K}$ . Na primjer, promjena temperature za 10 °C jednaka je promjeni temperature od 10 K.

## Usporedna uporaba Celzijeve i Kelvinove ljestvice

Celzijeva ljestvica *iskustvene temperature* s jedinicom *Celzijev stupanj* (°C) i Kelvinova ljestvica *termodinamičke temperature* s jedinicom *kelvin* (K) danas se podjednako upotrebljavaju.

<sup>10</sup> Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM) je 2005. godine odredio da je to voda određenoga izotopskog sastava, kao što je tzv. *oceanska voda*, točnije voda koja nastaje isparavanjem oceanske vode (VSMOW, prema engl. *Vienna Standard Mean Ocean Water*).

<sup>11</sup> Priprema se nova definicija jedinice *kelvin* pomoću Boltzmanove stalnice, ali ona neće imati nikakva utjecaja na praktičnu primjenu jedinica kelvin i Celzijev stupanj.



U primjeni termodinamičkih zakona prikladna je neovisno definirana *termodinamička temperatura*. U svakodnevnoj je primjeni prikladnija Celzijeva *iskustvena temperatura*, jer su brojčane vrijednosti mnogih temperatura (okoline, ljudskoga tijela itd.) izražene manjim brojevima, a *nula* ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) je leđište vode, jedna vrlo važna i uočljiva temperatura u prirodi!

Preračunavanje je tih temperatura vrlo jednostavno, jer su „koraci“ obiju ljestvica jednaki ( $^{\circ}\text{C} = \text{K}$ ). Pri izražavanju vrlo visokih temperatura, kakve su na Suncu i zvijezdama, gotovo je nevažno kojom se temperaturom izražava, jer je neznatna razlika, na primjer pri brojčanoj vrijednosti od 10 000 ta razlika samo oko 3%, što je unutar točnosti daljinskoga mjerenja tako visokih temperatura.

Neispravno je izjednačavati vrijednosti temperatura u pojedinim ljestvicama, kako se to često nalazi, pa pisati, na primjer,  $37\text{ }^{\circ}\text{C} = 310,15\text{ K}$ , jer to kao i bezbroj drugih mogućih „izjednačavanja“ ne odgovara osnovnoj jednadžbi  $^{\circ}\text{C} = \text{K}$ . Valja ispravno izraziti da Celzijevoj temperaturi od  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  **odgovara** termodinamička temperatura od 310,15 K, ili jednostavnije  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  **odgovara** 310,15 K.

Obje mjerne jedinice, kelvin i Celzijev stupanj, rabe se u *Međunarodnoj temperaturnoj ljestvici* iz 1990. godine (engl. *International Temperature Scale of 1990*; ITS-90), koja služi za usklađivanje svih termometrijskih mjerenja.

## Literatura

- [1] Marijan Brezinščak, *Mjerenje i računanje u tehnici i znanosti*. Tehnička knjiga, Zagreb 1971.
- [2] ....., *Međunarodni sustav jedinica (SI)*. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb, prijevod <sup>(7)</sup>1998.
- [3] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.
- [4] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih veličina*. Školska knjiga, Zagreb 2009.
- [5] ....., *Le Systeme international d' unites/The international System of Units*. BIPM, Sevres <sup>(8)</sup>2006.

# Od dina do njutna



dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ



Isaac Newton (1643. – 1727.)  
znanstveno oblikovao mehaniku,  
uveo pojam sile (portret Godfrey  
Kneller)

Sila je jedna od najvažnijih činjenica u našem materijalnom svijetu jer o djelovanju sila ovise mnoge prirodne pojave, jednako kao i naša djelovanja u materijalnome svijetu. Stoga je mjerenje sile i obradba tih rezultata ključni postupak u mnogim primjenama fizikalnih i kemijskih pojava, a navođenje vrijednosti sila vrlo važan podatak za procjenu učinka ili primjenu sila u tehnici.

**S**ila je opis međudjelovanja polja i tijela, pa je uzrok promjene stanja gibanja ili uzrok tlaka. U klasičnoj mehanici smatra se da su te dvije pojavnosti samo dva očitovanja sile. Stoga je ponajprije u mehanici, a potom i u drugim područjima fizike i tehnike sila vrlo važna mjerna veličina za opis međudjelovanja. Najpoznatija i neizbježna sila u prirodi posljedica je gravitacije, koja se očituje kao težina tijela u gravitacijskome polju.

Znanstvenu osnovu, prvotno nebeske mehanike u gibanju nebeskih tijela, a potom proširene na sva tijela, postavio je genijalni znanstvenik Isaac Newton (1643. – 1727.)<sup>1</sup> u svojem djelu *Matematička načela filozofije prirode* (lat. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*) iz 1687. godine.

Po jednome od triju temeljnih zakona te mehanike, tzv. 2. Newtonovu zakonu vremenska promjena stanja gibanja, tzv. ubrzanje ili akceleracija  $a$ , razmjerna je sili  $F$ , a koeficijent razmjernosti svojstvo je tijela koje je Newton nazvao masom<sup>2</sup>  $m$ . Ta se razmjernost obično izražava poznatom jednadžbom  $F = m \cdot a$ .

Za nas, koji živimo na Zemljinoj površini težina je gotovo stalna. Stoga su ljudi od pamtivijeka sile iskazivali uspoređujući ih s težinom  $G$  određenoga tijela mase  $m$ , pa su prvotno jedinice sile bile jednake jedinicama mase.

Težina je prema prethodnoj jednadžbi  $G = m \cdot g$ , pri čemu je  $g$  ubrzanje sile teže ili gravitacijsko ubrzanje koje tijelo dobiva pri slobodnome padu na Zemljinoj površini. Ubrzanje sile teže neznatno se mijenja promjenom položaja na Zemljinoj površini i nadmorskom visinom. Ipak, da se za definiciju sile izbjegniju te male promjene, za računanje je to ubrzanje normirano na vrijednost  $g_0$ , na morskoj površini i 45° geografske širine.

## Polazište za mjerenje sile

Za definiranje i mjerenje sile polazišta su prema već spomenutoj jednadžbi mjerne veličine masa, duljina i vrijeme, njihovo mjerenje te njihove pripadne mjerne jedinice.

Metarski sustav mjernih jedinica međunarodno je prihvaćen Konvencijom o metru 1875. godine. Njime su prihvaćene tzv. francuske jedinice, oslonjene većinom na francuske pramjere, ponajprije metra i kilograma. Nakon toga su se metarske jedinice i njihovi višekratnici i nižekratnici počeli sve više rabiti. Na nekima od njih osnovani su krajem 19. stoljeća i neki drugi sustavi mjernih jedinica.

Sila se izravno mjeri uređajima za uspoređivanje mjerene sile s nekom poznatom silom na načelu umjeravanja na dva načela: dinamometrima i vagama.

Konstruirano je niz dinamometara: *dinamometar s elastičnom oprugom* (tzv. *mehanički dinamometar*), *hidraulični dinamometar*, *pneumatski dinamometar*,

<sup>1</sup> Po gregotijanskome kalendaru (engl. *New Style*) iako se u literaturi iz toga doba nalaze i podatci po julijanskome kalendaru (engl. *Old Style*).

<sup>2</sup> Lat. *massa*: tijesto, gruda tijesta.



Prema predaji Newtonu je nakon pada jabuke „sijevnula“ zamisao o gravitacijskoj sili

električni dinamometar (elektrootporni, indukcijski, kapacitivni) i dr. Ako je ljestvica koja prikazuje deformaciju pod djelovanjem sile umjerena u jedinicama mase (kilogramima i dr.), dinamometar se naziva *dinamometarskom vagom*. Najjednostavnija je dinamometarska vaga *vaga s oprugom*. Pokazivanje dinamometarske vage ovisno je zbog različitoga ubrzanja sile teže  $g$  o položaju na Zemlji, za razliku od vage s utezima na kojoj nema toga utjecaja jer ubrzanje sile teže djeluje jednako i na uteg i na mjereno tijelo.

Vage uspoređuju sile s težinom umjerenih utega. Takvim uspoređivanjem težina nekoga tijela s težinom utega zbog razmjernosti se s masom i jednakog ubrzanja sile teže mogu uspoređivati masa tijela i masa utega te iskazivati u jedinicama mase (kilogramima i dr.).

## CGS jedinica sile *din*

CGS sustav, nazivan i *apsolutnim* ili *fizikalnim sustavom* mjernih jedinica, nastao je na prijedlog Carla Friedricha Gaussa (1777.–1855.), genijalnoga njemačkog matematičara i mnogostranoga znanstvenika i Wilhelma Webera (1804.–1891.), njemačkog fizičara, te *Britanskog društva za unaprjeđivanje znanosti*. Taj je sustav prihvaćen na *1. međunarodnom elektrotehničkom kongresu* u Parizu 1881. godine i tada je nazvan „*jedinstvenim sustavom sveukupne znanosti*“. Osnivao se na trima osnovnim jedinicama: duljine *centimetar* (stoti dio međunarodnoga *metra*), mase *gram* (tisućiti dio međunarodnoga *kilograma*) i vremena *sekunda* (tada još definirana srednjim Sunčevim danom).

Isti je kongres prihvatio i nazive triju izvedenih jedinica: jedinice sile *din* (izvorno *dyn*), jedinice energije i rada *erg* te jedinice snage *erg u sekundi*.

Jedinica *din* slijedila je iz 2. Newtonova zakona kao poseban naziv za gramcentimetar u kvadratnoj sekundi. Danas bi jedinicu *din* opisali:

**din** (prema grč. *dynamis*, sila; znak dyn) je stara jedinica sile u CGS-sustavu, vrijednosti  $\text{dyn} = \text{g} \cdot \text{cm}/\text{s}^2 = 10^{-5} \text{ N}$ .

Jedinica *din* rabila se ponajprije u fizici i fizikalnoj kemiji, a u prijedlogu Međunarodnoga sustava jedinica (SI) na 9. CGPM-u (1948.) bila je navedena kao iznimno dopuštena jedinica izvan SI. U većini zemalja jedinica *din* bila je iznimno dopuštena jedinica do kraja 1980. godine, a nakon toga je otišla u povijest.

## Jedinica sile Tehničkoga sustava *kilogram sile*, odnosno *kilopond*

Nakon potpisivanja *Konvencije o metru* za izradbu međunarodnih pramjera *metra* i *kilograma* trebalo je gotovo 14 godina, pa je tek *1. opća konferencija za utege i mjere* (CGPM) 1889. ozakonila *međunarodni prametar* kao pramjeru osnovne jedinice duljine i *međunarodni prakilogram* kao pramjeru osnovne jedinice mase.

Kako je u primjeni vladala povelika zbrka u primjeni pojmaja mjernih veličina *mase* i *težine* te njihovih mjernih jedinica, 3. CGPM je 1901. godine pojasnio razliku između njih sljedećim izjavama:

1. Kilogram je jedinica mase; on je jednak masi međunarodne pramjere kilograma.
2. Naziv *težina* označuje veličinu iste naravi kao *sila*. Težina tijela jednaka je umnošku njegove mase i ubrzanja sile teže. Posebno, *normirana težina* tijela jednaka je umnošku njegove mase i normiranoga ubrzanja sile teže.
3. Vrijednost koju je prihvatila *Međunarodna služba za utege i mjere* za normirano ubrzanje sile teže iznosi  $g_0 = 980,665 \text{ cm}/\text{s}^2$ , vrijednost koja je već utvrđena u zakonima nekih zemalja.

Za jedinicu sile uzela se *težina mase* od jednoga kilograma, pa se to prvo nazivalo *kilogramom sile*, a u tehničkoj primjeni skraćeno i samo *kilogramom*. To je prouzročilo često miješanje s jedinicom mase *kilogram*. Stoga se *kilogram sile* početkom 20. stoljeća označavao dodanom zvjezdicom ( $\text{kg}^*$ ), a bilo je i obrnutih primjera.

Na prijedlog Hoffmanna i Wallota iz 1934. godine njemački *Fizikalno-tehnički državni ured* (njem. *Physikalisch-Technische Reichanstalt*), kao službeni njemački laboratorij za norme, međunarodno je 1939. godine preporučio *kilopond* (znak kp) kao jedinicu sile definirane normiranom težinom jednoga kilograma. Tehnički je komitet 12 *Međunarodne organizacije za normizaciju ISO* (engl. *International Organisation for Standardisation*) 1955. i 1957. godine preporučio *kilogram sile* i *kilopond* kao istoznačnice, a *Savez njemačkih inženjera VDI* (njem. *Verein Deutscher Ingenieure*) 1958. je godine preporučio *kilopond* kao jedinicu sile.

*Kilopond* je decimalni višekratnik polazne jedinice *pond* (lat. *pondus*: težak; znak p), dakle

$$p = g \cdot g_0$$

$$\text{kp} = \text{kg} \cdot g_0$$

pri čemu je g znak grama, a kg znak kilograma. Danas bi jedinice *pond* i *kilopond* opisali:

**pond** (prema lat. *pondus*, uteg, teret, sila; znak p), stara je jedinica sile Tehničkoga sustava jedinica, svojedobno definiran kao normirana težina utega od jednoga grama, pa je nazivan i *gramom sile*, vrijednosti  $p = 10^{-3} \text{ kp} = 9,806\ 65 \times 10^{-3} \text{ N} \approx 10^{-2} \text{ N}$ .

**kilopond** (znak kp), stara osnovna jedinica sile u Tehničkom sustavu jedinica, prvotno nazivan i *kilogramom sile* i označavan  $\text{kg}^*$ , da bi se razlikovao od *kilograma*, jedinice mase. Svojedobno je definiran kao normirana težina utega od jednoga kilograma, vrijednosti  $\text{kp} = 9,806\ 65 \text{ N} \approx 10 \text{ N}$ .

Jasno je da vrijede odnosi:

$$\text{kp} = \text{kg}^* = 10^3 \text{ p}$$

Jedinica sile *pond* iznimno se rijeko rabila, ona je bila samo osnova decimalnih višekratnika, ponajprije *kiloponda* ( $\text{kp} = 10^3 \text{ p}$ ), koji je uz metar i sekundu bio jedna od triju osnovnih jedinica *Tehničkoga sustava*, te *megaponda* ( $\text{Mp} = 10^6 \text{ p} = 10^3 \text{ kp}$ ).

Jedinica sile *kilopond* bila je osnovna jedinica *Tehničkoga sustava*, te se na veliko rabila u tehničkoj primjeni, osobito strojarstvu, građevinarstvu, prometu i sl., sve do u drugu polovicu 20. stoljeća. Iznimno se rabila i jedinica *tona sile* ( $\tau^*$ ), vrijednosti  $10^3$  kiloponda = megapond.

Prednost je kiloponda bila u tome što su brojčane vrijednosti mase izražene u kilogramima i težine izražene u kilopondima jednake:

$$\text{m/kg} = \text{G/kp}$$

Slikovito rečeno: vreća cementa mase 50 kg teška je 50 kp. U primjeni je to bilo vrlo praktično. Ipak, dolazilo je do mijesanja naziva veličina *masa* i *težina* te jedinica *kilogram* i *kilopond*, što u konačnici nije prouzročilo pogreške, osobito pri uporabi brojčanih ili prilagođenih jednadžba što se u tehnici na veliko rabilo.

Bilo je pokušaja da se naziv *težina* ostavi kao istoznačnica naziva *masa*, a da se sila teža nazove *težnost*, *težinska sila* ili slično. Njemačka norma DIN svojedobno je preporučala da se *masa* naziva i *težina kao rezultat vaganja* (njem. *Masse, Gewicht als Wägeergebnis*), a posljedica gravitacije *težinska sila* (njem. *Gewichtskraft*). Nažalost takvi prijedlozi nisu prihvaćeni, pa se i danas često, posebno za dobra u trgovini, prijevozu i dr. govori o *težini*, a misli na *masu* i izražava u kilogramima, a ne u njutnima. Izričaj da je nešto „teško 10 kg“,

uistinu je skraćen izričaj, valjalo bi reći „teško **kao** 10 kilograma“. U stručnom izražavanju taj iskaz treba biti ispravan: „masa je 10 kilograma“.

Uvođenjem Metarskoga sustava krajem 19. stoljeća u Tehničkome sustavu, koji je nastao u okviru industrijske primjene i nije nikada međunarodno usvojen, kao jedinica mase usvojen je *kilogram*. Prošle su još godine dok se utvrdila jedinica sile koja slijedi u suvislome Metarskom sustavu.

## SI jedinica sile njutn

Uvođenjem Međunarodnoga sustava mjernih jedinica 1960. godine među prvim izvedenim SI jedinicama bila je jedinica sile *njutn* (znak N), nazvana po Isaacu Newtonu. Definicija njutna je:

**njutn** (engl. *newton*; znak N) je jedinica sile, izvedena SI jedinica, definiran silom koja tijelo mase jedan kilogram ubrza za jedan metar u kvadratnoj sekundi, dakle njutn je naziv za kilogrammetar u kvadratnoj sekundi ( $\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ ).

Jedinica *njutn* pojavila se u stručnoj literaturi početkom 20. stoljeća, ali je tek nakon 1960. godine ušla u širu tehničku primjenu, razmjerno brzo i stoga što je *njutn* osnova definicije SI jedinice tlaka i naprezanja *paskal*. U tehničkoj praksi rabe se i decimalni višekratnici i nižekratnici, ponajviše: *kilonjutn* (kN), *meganjutn* (MN), *milinjutn* (mN) i dr.



Dva bitno različita načina određivanja težine, a posredno mase u gravitacijskome polju; lijevo: vagom s utezima, desno: dinamometarskom vagom

### MEDUSOBNi ODNOSI JEDINICA SILE

	din (dyn)	kilopond (kp) ili kilogram sile ( $\text{kg}^*$ )	njutn (N)
din (dyn)	1	$(9,806\ 65 \times 10^5)^{-1} = 0,101\ 97 \times 10^{-5} \approx 10^{-6}$	$10^{-5}$
kilopond (kp) ili kilogram sile ( $\text{kg}^*$ )	$9,806\ 65 \times 10^5 \approx 10^6$	1	$9,806\ 65 \approx 10$
njutn (N)	$10^5$	$9,806\ 65^{-1} = 0,101\ 97 \approx 10^{-1}$	1





Dinamometar s elastičnom oprugom i analognom ljestuicom



Suvremeni dinamometar s digitalnim pokaznikom

Naraštaji tehničara i fizičara poslije 1980-ih godina prihvatili su SI jedinicu *njutn*, a stare jedinice sile *din*, *kilogram sile* i *kilopond* otišle su u povijest.

Ipak se radi mogućih podataka iz starije literature navode međusobni odnosi tih jedinica sile.

## Jedinice sile angloameričkoga skladnog sustava jedinica mehanike

U angloameričkoj literaturi doskora su se rabilo nekoliko jedinica sile u tzv. *angloameričkome skladnom sustavu jedinica mehanike*. Za to su potrebne angloameričke jedinice duljine i mase:

- osnovna jedinica duljine *yard*;  $yd = 0,914\ 4\ m$ ,
- jedinica duljine *foot*;  $ft = (1/3)\ yd = 0,304\ 8\ m$ ,
- osnovna jedinica mase *pound*;  $lb = 16\ oz = 0,453\ 6\ kg$ ,
- izvedena jedinica mase *ounce*;  $oz = (1/16)\ lb = 28,349\ 5\ g$ ,
- izvedene jedinica mase *UK ton*;  $UK\ ton = 2240\ lb$ ,
- izvedene jedinica mase *US (short) ton*;  $US\ sh\ t = 2000\ lb$ .

Uz to je potrebno normirano ubrzanje zemljine teže  $g_0 = 9,806\ 65\ m/s^2$ .

Angloameričke jedinice sile i njihove vrijednosti u njutnima navedene su u tablici.

JEDINICE SILE ANGLOAMERIČKOGA SKLADNOG SUSTAVA JEDINICA MEHANIKE

Naziv i znak	Definicija	Vrijednost
poundal (pdl)	$pdl = lb \cdot ft/s^2$	0,138 255 N
pound-force (lbf)	$lbf = lb \cdot g_0$	4,448 22 N
ounce-force (ozf)	$ozf = oz \cdot g_0 = lbf/16$	0,278 014 N
UK ton-force (UK tonf)	$UK\ tonf = 2240 \times lb \cdot g_0 = 2240 \times lbf$	9964,02 N
US ton-force (US tonf)	$US\ tonf = 2000 \times lb \cdot g_0$	8896,44 N



Zorna razlika mase i težine: astronaut na Mjesecu nosi na leđima opremu mase oko 84 kg, ali zbog šest puta manjega ubrzanja sile teže Mjeseca on osjeća težinu kao da na Zemlji nosi samo 13 kg

## Zaključak

Mukotržno definiranje i uporaba različitih jedinica sile tijekom više od stoljeća, upravo u doba nastanka suvremene tehnike i razvoja industrije, završeni su jasnom i nedvojbenom uporabom *njutna* kao jedine međunarodno normirane i zakonite jedinice sile.

## Literatura

- [1] Marijan Breziščak, *Mjerenje i računanje u tehničarima i znanosti*. Tehnička knjiga, Zagreb 1971.
- [2] ....., *Međunarodni sustav jedinica (SI)*. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb, prijevod <sup>(7)</sup>1998.
- [3] ....., *Le Systeme international d' unites/ The international System of Units*. BIPM, Sèvres <sup>8</sup>2006.
- [4] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.
- [5] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih veličina*. Školska knjiga, Zagreb 2009.

# Od erga do džula

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ



James Prescott Joule (1818. – 1889.), tijekom sredine 19. stoljeća je eksperimentalno ustanovio veze između mehaničkoga rada i topline te električne energije i topline

Energija i njeno pretvaranje u rad je jedna od najvažnijih pojava u našem materijalnom svijetu. O energiji ovise mnoge prirodne pojave, jednako kao i naša djelovanja u materijalnom svijetu. Stoga su mjerenje energije, uključujući i toplinu kao njenu posebnost, i rada kao njezine posljedice, te obradba tih rezultata iznimno važni u onome što ćemo poopćeno nazivati tehnikom.

**Energija** je jedno od osnovnih svojstava materijalnoga svijeta. Ona je uzrok mnogih prirodnih pojava i osnova mnogih tehničkih primjena. Energija se očituje u nizu posebnih oblika, koje se prema pojavama razvrstavaju na mehaničku energiju (potencijalnu i kinetičku), električnu, kemijsku i energiju zračenja. Pojedini oblici energije pretvaraju se u posebnim pojavama jedan u drugi.

**Toplina** je zbog svoje posebnosti do prije manje od jednoga stoljeća smatrana posebnom mjernom veličinom. Njezina je posebnost, pojednostavljeno rečeno, u tome što energija u drugim oblicima jednostavno i potpuno može preći u drugi oblik energije ili u rad, ali toplina nikada u potpunosti ne može preći u drugi oblik energije ili u rad.

**Rad** je posljedica djelovanja energije koja uzrokuje neku promjenu sustava. Stoga su ponajprije u mehanici, a potom i u drugim područjima fizike i tehnike, energija i rad vrlo važne mjerne veličine za opis pretvaranja energije u rad, i obratno rada u energiju kao temelja mnogih tehničkih primjena.

Znanstvena je sustavno istraživao energiju, toplinu i rad engleski fizičar James Prescott Joule (1818. – 1889.), proučavajući pretvorbu mehaničkoga rada i električne energije u toplinu. Ta su istraživanja razbistrila fizikalnu predodžbu ekvivalencije mehaničke energije, električne energije i topline te pretvaranja energije iz jednoga oblika u drugi.

U brojnim je pokusima u razdoblju 1834. – 1850. godine ustanovio da je za zagrijavanje 1 g vode za 1 °C (podrobnije s 14,5 na 15,5 °C) potreban mehanički rad trenja izražen tadašnjom jedinicom 0,427 kp·m. Ta je vrijednost nazvana *mehaničkim ekvivalentom topline*, a ta toplina je odabrana kao jedinica topline, nazvana *kalorijom*. Uvođenjem Međunarodnog sustava mjernih jedinica taj je ekvivalent izgubio na važnosti jer se za sve oblike energije, pa tako i za toplinu, rabi mjerna jedinica džul (J).

Nadalje, u razdoblju 1841. – 1843. godine Joule je ustanovio da je toplina  $Q$  koja nastaje uslijed napona  $U$  pri prolazu električne struje  $I$  kroz vodič otpora  $R$  u vremenu  $t$  tzv. *toplinski ekvivalent električne energije*, određena slijedećim jednadžbama:

$$Q = P \cdot R \cdot t = (U^2/R) \cdot t = U \cdot I \cdot t = P \cdot t.$$

Ta se činjenica ponekad naziva *Jouleovim zakonom*. Očito je da je ta, tzv. *Jouleova toplina* jednaka radu električne struje, te da ima za jedinicu umnožak jedinice snage i jedinice vremena, a u SI je to *vatsekunda*, dakle džul ( $W \cdot s = J$ ). Joule je svoje rezultate mjerenja i spoznaje izložio knjizi *New Theory of Heat* iz 1850. godine.

Posljedica tih spoznaja je bila ne samo razumijevanje nego i bogata tehnička primjena prirodnih izvora energije te pretvorbe drugih oblika energije, ponajprije u podatljivu električnu energiju. Tehnička pretvorba topline u rad, obavljala se prvo u parnom stroju, a potom u motorima s unutarnjim izgaranjem. Tehnička pretvorba mehaničke energije u električnu obavlja se indukcijskim generatorima, električne energije u toplinu u električnim grijačima, a električne energije u mehanički rad u elektromotorima.



Jouleov uređaj za određivanje mehaničkoga ekvivalenta topline iz 1845. godine

**Energetika** je posebna tehnička grana, ali i neobično važno gospodarsko djelovanje proizvodnje, prijenosa i raspodjele energije. Pri tome je naziv *proizvodnja energije* uvjetan, radi se uvijek o uporabi nekog izvora energije i njezinoj pretvorbi u potreban oblik, najčešće u toplinu, električnu energiju ili rad. Primarni izvori energije su prirodni, a iz njih se u nekim procesima dobiva potreban oblik energije.

Suvremeno gospodarstvo i ekološki pristupi razvrstavaju izvore energije na *obnovljive* i *neobnovljive*, a postupke pretvorbe energije na *čiste* i *štetne po okoliš*.

## Polazište za mjerenje energije i rada

Zbog različitog razumijevanja energije, topline i rada, povijesno su nastajale i različite mjerne jedinice. Na toj različitosti razvijala se i tehnička primjena u doba naglog razvoja tehničkih primjena, a ponajprije tzv. *industrijske revolucije*, pa se tragovi toga osjećaju i danas. Tek posljednjih pedesetak godina, ponajprije zbog fizikalnog razumijevanja, a u primjeni zbog uvođenja jednakih mjernih jedinica, ustaljuje se mjeriteljska jednakost energije, topline i rada.

Za definiranje energije i rada polazišta su mjerne veličine *sila* i *duljina*, a za mjerenje njihove pripadne mjerne jedinice.

## CGS-jedinica energije i rada *erg*

CGS-sustav, nazivan i *apsolutnim* ili *fizikalnim sustavom* mjernih jedinica prihvaćen je na 1. međunarodnom elektrotehničkom kongresu u Parizu 1881. godine i tada je nazvan „jedin-

stvenim sustavom sveukupne znanosti“. Osnivao se na trima osnovnim jedinicama: duljine *centimetar* (stoti dio međunarodnoga *metra*), mase *gram* (tisućiti dio međunarodnoga *kilograma*) i vremena *sekunda* (tada još definirana srednjim sunčevim danom).

Isti je kongres prihvatio i nazive triju izvedenih jedinica: jedinice sile *din* (izvorno i znak *dyn*), jedinice energije i rada *erg* (znak *erg*) koji je *din centimetar*, tj.  $\text{erg} = \text{dyn}\cdot\text{cm}$ , te jedinice snage *erg u sekundi* (znak *erg/s*).

Jedinica *erg* je slijedila iz definicije rada kao umnožak sile i duljine, dakle kao poseban naziv za *din centimetar*. Danas bi jedinicu *erg* opisali:

**erg** (prema grč. *ergon*: rad, djelo; znak *erg*) je stara jedinica *energije* i *rada* u CGS-sustavu, umnožak je *dina* i *centimetra*, vrijednosti  $\text{erg} = \text{dyn}\cdot\text{cm} = 10^{-7} \text{ J}$ .

Jedinica *erg* rabila se ponajprije u fizici i fizikalnoj kemiji, a u prijedlogu Međunarodnoga sustava jedinica (SI) na 9. CGPM-u 1948. godine bila je navedena kao iznimno dopuštena jedinica izvan SI. U većini zemalja jedinica *erg* je bila iznimno dopuštena jedinica do kraja 1980. godine, a nakon toga je otišla u povijest.

## Jedinica rada Tehničkoga sustava *kilogrammetar* odnosno *kilopondmetar*

Prihvatanjem jedinica *metar* (znak *m*) i *kilograma sile* (znak  $\text{kg}^*$ ), potom *kiloponda* (znak *kp*) u *Tehničkom sustavu*<sup>1</sup>, koji je nastao u okviru industrijske primjene i nije nikada formalno međunarodno usvojen, slijedio je kao jedinica rada i energije *kilopondmetar*.

**kilopondmetar** (znak  $\text{kp}\cdot\text{m}$ ), stara je jedinica *energije* i *rada* u *Tehničkom sustavu jedinica*, prvotno nazivan i *kilogrammetrom* i označavan  $\text{kg}^*\cdot\text{m}$ . Definiran je kao rad koji obavi sila od 1 *kp* na putu 1 *m*, pa je  $\text{kp}\cdot\text{m} = 9,806\ 65 \text{ J}$ .

Jasno je da vrijede odnosi:

$$\text{kp}\cdot\text{m} = \text{kg}^*\cdot\text{m}.$$

Jedinica rada *kilopondmetar* bila je važna jedinica *Tehničkoga sustava*, te se na veliko rabila u tehnici, osobito strojarstvu, građevinarstvu, prometu i sl., sve do u drugu polovicu 20. stoljeća. Bila je i u definiciji jedinice *konjska snaga*, koja se na žalost, usporedno rabi i do danas.

<sup>1</sup> Vidi: *Od dina do njutna*, Svijet po mjeri br. 4/2015., str. 101



Spomenik J. P. Jouleu u gradskoj vijećnici u Manchesteru

## Izvansustavna jedinica rada konjska snaga sat

Iznimno se rijetko rabila jedinica *konjska snaga sat*.

**konjska snaga sat** (znak KS·h) je jedinica *rada* izvan bilo kojega sustava, definirana umnoškom *konjske snage* (KS) i sata (h), vrijednosti KS·h = 270 000 kp·m.

Jasno je da ta jedinica u drugim jezicima ima i drugačije nazive i znakove!

## Jedinica topline kalorija

U 19. stoljeću, u doba dok se toplinu smatralo posebnom mjernom veličinom, empirijski je definirana jedinica topline *kalorija* (prema lat. *calor*, toplina, vrućina; znak cal), oslanjanjem na specifični toplinski kapacitet vode, kao svagdje jednake i rasprostranjene tvari na Zemlji. Kalorija je toplina potrebna za povišenje temperature vode mase 1 g za 1 °C, detaljnije od 14,5 na 15,5 °C (tzv. *kalorija petnaestoga stupnja*). U kemijskim procesima ustanovljena je tadašnjim mjerjenjima i tzv. *termokemijska kalorija*, vrijednosti 4,184 J.

Posljednja definicija kalorije bila je 1956. godine, pod nazivom *međunarodna kalorija* (znak cal<sub>IT</sub>), koja se nadalje nastavila jednostavnije nazivati samo *kalorija* (i označavati samo cal). Definicija glasi:

**(međunarodna) kalorija** (znak cal<sub>IT</sub> ili cal), zastarjela jedinica *toplina*, bila je definirana kao višekratnik *džula*, vrijednosti cal<sub>IT</sub> = 4,186 8 J.

Kalorija i njezin decimalni višekratnik *kilokalorija* (kcal = 10<sup>3</sup> cal) u većini su zemalja ukinuti kao zakonite mjerne jedinice još krajem 1980. godine. Ipak, one se ustrajnošću još i danas razgovorno rabe umjesto *džula*, kao jedinice *energijske vrijednosti hrane*.

U engleskom govornom području još se može naći jedinica topline *British thermal unit* (Btu ili BTu), vrijednosti Btu ≈ 1 055,06 J ≈ kJ.

## Termodinamičke jedinice energije i rada litra-atmosfera

Te su jedinice definirane radom u termodinamici, a razlikuju se je li upotrijebljena *normalna (fiziikalna) atmosfera* ili *tehnička atmosfera*. Razlikovale su se i u tome je li upotrijebljena mjeriteljska litra (osnovana na masi kubnoga decimetra vode) ili nova litra (definirana obujmom 1 dm<sup>3</sup>).

**litra-atmosfera** (znak Latm ili latm) je zastarjela jedinica *energije i rada*, definirana radom koji obavi tekućina pod tlakom od jedne normalne atmosfere (atm) promjenom obujma od jedne litre, vrijednosti Latm = 101,327 837 J.

**(tehnička) litra-atmosfera** (znak Lat ili lat) je zastarjela jedinica *energije i rada*, definirana radom koji obavi tekućina pod tlakom od jedne tehničke atmosfere (at) promjenom obujma od jedne litre, vrijednosti Lat = 98,0692 J.

Jedinice *litra-atmosfera* su 1960-ih godina otišle u povijest.

## SI jedinica energije i rada džul

Džul, nazvan po engleskom fizičar J. P. Jouleu, bio je definiran još u okviru električnih jedinica na CIPM 1946. godine, što



Primjer tehničke pretvorbe toplinske energije oslobođene oksidacijom fosilnoga goriva u mehanički rad – parna lokomotiva

je odobrio i 9. CGPM (1948.), koji je prihvatio i naziv jedinice sile *njutn*. Ta je, danas malo nespretna definicija glasila:

„Džul (jedinica energije i rada): Džul je rad što se izvrši kad se točka na koju je primijenjena 1 MKS jedinica sile [njutn] pomakne za udaljenost od 1 metra u smjeru te sile.“

Uvođenjem Međunarodnoga sustava mjernih jedinica 1960. godine među prvim izvedenim SI jedinicama bila je jedinica energije i rada *džul* (znak J). Definicija džula je:

**džul** (engl. *joule*; znak J) je jedinica *energije, topline i rada*, izvedena SI-jedinica, definiran umnoškom njutna i metra, dakle poseban naziv za *njutmetar* ( $J = N \cdot m = W \cdot s$ ).

Jedinica *džul* se pojavila u stručnoj literaturi početkom 20. stoljeća, ali je tek nakon 1960. godine ušla u širu tehničku primjenu, razmjerno brzo i stoga što je *džul* osnova definicije SI jedinice snage *vat*, koji je bio važna jedinica u elektrotehnici. U tehničkoj praksi rabe se i decimalni višekratnici i nižekratnici, ponajviše: *kilodžul* (kJ) i *megadžul* (MJ), a i dr. Valja uočiti kako je jedinica *njutmetar* (znak N·m) i jedinica *momenta sile*, ali se tada ne naziva *džul*.

Naraštaji tehničara i fizičara poslije 1980-ih godina prihvatili su SI jedinicu *džul*, a stare jedinice energije, topline i rada *erg*, *kilopondmetar* i *kalorija* otišle su u povijest.

## Jedinica energije i rada *kilovatsat*

Pri proizvodnji, prijenosu i uporabi električne energije te i nekim područjima tehnike važan je podatak *snaga*, izražena u vatima i njegovim decimalnim višekratnicima. Stoga se kao jedinica energije i rada rabi umnožak *snage i vremena* izražen izravno mjernim jedinicama koje su umnošci zakonitih jedinica snage i vremena, dakle *vatsekunda* ( $W \cdot s = J$ ), ponajviše *kilovatsat* (kW·h ili kWh), a po potrebi *megavatsat* (MWh), *gigavatsat* (GWh) itd. Definicija kilovata je:

**kilovatsat** (znak kW·h ili kWh) je zakonita mjerna jedinica *energije i rada*, definirana umnoškom *snage* izvora ili trošila energije izražene u *kilovatima* (kW) i *vremena* uporabe energije izraženog u satima (h), pri čemu je  $kW \cdot h = 10^3 W \times 3,6 \times 10^3 s = 3,6 \times 10^6 W \cdot s = 3,6 MJ$ , odnosno  $J = (1/3,6) \times 10^{-6} kW \cdot h$ .

Jedan je od razlog uporabe jedinice *kilovatsat* što su snage električnih trošila i drugih uređaja izražene većinom u kilovatima, a vremena su uporabe većinom u satima, a drugi je što je džul vrlo mala jedinica, pa bi energije u svakodnevnoj uporabi bile izražavane vrlo velikim brojčanim vrijednostima. Osim toga u proračunu sudjeluje nespretna broj 3,6 zbog seksagezimalnih jedinica sat i minuta. Na primjer, utrošak energije trošila od 2 kW kroz jedan sat lako se izračuna da je



Primjer pretvorbe mehaničke energije u električnu – hidroelektrana Jaruga, najstarija u Europi i među najstarijima u svijetu

2 kWh, dok za džule treba (zbog  $h = 3\ 600\ s$ ) računati:  $2 \times 10^3 W \times 3,6 \times 10^3 s = 7,2 \times 10^6 W \cdot s = 7,2 MJ$ . Stoga se *kilovatsat* rabi i kao tržišna obračunska jedinica električne energije, pa strujomjeri pokazuju utrošenu energiju od početaka elektrifikacije izravno u *kilovatsatima*.

U nastojanjima da se radi lakšega uspoređivanja jednako izražavaju i energije drugih energenata, od 1. siječnja 2012. u nas se i tržišna vrijednost energije prirodnoga plina iskazuje u *kilovatsatima*. Kako plinomjeri pokazuju obujam utrošenoga plina u tzv. *normiranim kubnim metrima* ( $Sm^3$ ), iz očitanaoga se obujma *V* i *donje ogrjevne vrijednosti* prirodnoga plina  $H_{ds}$  (u  $kWh/Sm^3$ )<sup>2</sup> izračunava utrošena energija u *kilovatsatima*:

$$E/kWh = (V/Sm^3) \cdot H_{ds}/(kWh/Sm^3).$$

Utrošak prirodnoga plina kao energenta danas se izražava i obračunava u *kilovatsatima*, jednako kao za električnu energiju.

## Posebna jedinica energije *elektronvolt*

Iznimno dopuštena jedinica energije izvan Međunarodnog sustava je *elektronvolt*, kojega se vrijednost dobiva pokusom. Definicija glasi:

**elektronvolt** (znak eV), je iznimno dopuštena jedinica *energije*, vrijednosti  $eV \approx 1,602\ 176\ 53 \times 10^{-19} J$ . Definirana je energijom elektrona ubrzanoga u zrakopraznom prostoru naponom od 1 V.

Elektronvolt se rabi samo u posebnim područjima fizike i kemije, posebno za izražavanje energije u mikrosvijetu.

<sup>2</sup> Energetsku vrijednost prirodnoga plina prema zakonu ustanovljava operator transportnoga sustava i navodi se u računu za svako obračunsko razdoblje.

## Zaključak

Mukotržno definiranje i uporaba različitih jedinica energije, topline i rada kroz povijest, dovelo je i danas do uporabe triju jedinica. To su:

1) džul (J), koji je izvedena SI jedinica s posebnim nazivom i znakom,

2) kilovatsat (kW·h), koji je složena jedinica sastavljena od umnoška decimalnog višekratnika SI jedinice *kilovatt* i iznimno dopuštene jedinice izvan SI *sat* (h),

3) elektronvolt (eV), koji je umnožak prirodne stalnice (elementarnog naboja *e*) i SI jedinice *volt* (V).

Sve tri su međunarodno normirane i zakonite jedinice, ali se rabe za raznovrsne primjene.

## Literatura

[1] Marijan Brezinščak, *Mjerenje i računanje u tehnici i znanosti*. Tehnička knjiga, Zagreb 1971.

[2] ....., *Međunarodni sustav jedinica (SI)*. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb, prijevod 1998.

[3] ....., *Le Systeme international d' unites/The international System of Units*. BIPM, Sevres 2006.

[4] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.

[5] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih veličina*. Školska knjiga, Zagreb 2009.

## Laboratorij za masu

## Umjeravanje vaga i utega



## Prodaja, Servis, Ovjera vaga i utega



# Od konjske snage do vata

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ



James Watt, izumitelj i konstruktor poboljšanog parnoga stroja (portret Carla Frederika von Breda)

Snaga je jedna od najvažnijih mjernih veličina u strojarstvu, elektrotehnici i energetici. Vrlo je važan podatak o strojevima, motorima, potom pri proizvodnji, prijenosi i raspodjeli energije, te za primjenu energije ili procjenu učinka u tehnici.

**S**naga je mjerna veličina koja opisuje brzinu prijenosa energije i rada. Definirana je omjerom energije ili rada i vremena.

Znanstvena istraživanja snage bila su posljedica primjene strojeva, motora u doba tzv. *industrijske revolucije* početkom 19. stoljeća. U mnogim tehničkim primjenama nije važna samo energija ili obavljeni rad, nego upravo brzina kojom se energija prenosi, predaje ili uporabljuje, odnosno brzina kojom je rad obavljen.

## CGS jedinica snage *erg u sekundi*

CGS-sustav, nazivan i *apsolutnim* ili *fizikalnim sustavom* mjernih jedinica, prihvaćen je na 1. međunarodnom elektrotehničkom kongresu u Parizu 1881. godine i tada je nazvan „jedinstvenim sustavom sveukupne znanosti“. Osnivao se na trima osnovnim jedinicama: duljine *centimetar* (stoti dio međunarodnoga metra), mase *gram* (tisućiti dio međunarodnoga kilograma) i vremena *sekunda* (tada još definirana srednjim sunčevim danom).

Isti je kongres prihvatio i nazive triju izvedenih jedinica: jedinice sile *din* (izvorno i znak dyn), jedinice energije i rada *erg* (znak erg) koji je *din centimetar*, tj.  $\text{erg} = \text{dyn}\cdot\text{cm}$ , te jedinice snage *erg u sekundi* (znak erg/s).

Jedinica *erg u sekundi* je slijedila iz definicije rada kao umnoška sile i duljine podijeljeno s vremenom. Danas bi jedinicu *erg u sekundi* opisali:

**erg u sekundi** (znak erg/s) je jedinica *snage* u CGS-sustavu, definirana kao omjer *erga* i *sekunde*, vrijednosti  $\text{erg/s} = \text{din}\cdot\text{cm/s} = 10^{-7} \text{ J/s} = 10^{-7} \text{ W}$ .

Jedinica *erg u sekundi* nalazi se još samo u literaturi starijoj od pola stoljeća jer je već davno otišla u povijest.



Wattov parni stroj iz 1848. godine



## Jedinica snage Tehničkoga sustava kilopondmetar u sekundi

Jedinica *kilopondmetar u sekundi* bila je jedinica Tehničkoga sustava, definirana omjerom rada i vremena:

**kilopondmetar u sekundi** (kp·m/s) je jedinica snage u Tehničkom sustavu, definirana omjerom *kilopondmetra* i *sekunde*, vrijednosti  $\text{kp}\cdot\text{m}/\text{s} = 9,806\ 65\ \text{W}$ .

U Francuskoj su se nekada rabili decimalni višekratnici *kilopondmetra u sekundi*, koji su imali posebne nazive:

prony = 10 kp·m/s

poncelet = 100 prony = 100 kp·m/s.

## Izvangustavna jedinica konjska snaga

Kilopond metar u sekundi rijetko se rabio, umjesto njega se češće rabila posebna jedinica snage tzv. *konjska snaga*. Nastala je za potrebe tehničke primjene, kao opis prosječnoga rada koji bi uvjetno konj kao radna životinja mogao obavljati tijekom radnog vremena. Definicija glasi:

**konjska snaga** (znak KS) je stara mjerna jedinica snage izvan bilo kojega sustava mjernih jedinica, definirana radom od 75 kp·m obavljenim u 1 s, dakle  $\text{KS} = 75\ \text{kp}\cdot\text{m}/\text{s}$ . Izražena SI jedinicom snage *vat* (W) je  $\text{KS} = 735,498\ \text{W}$ , odnosno  $\text{W} = 1,359\ 622 \times 10^{-3}\ \text{KS}$ .



Watt je za parni stroj konstruirao centrifugalni regulator pare s kuglama

Na drugim jezicima jedinica *konjska snaga* ima druge nazive i znakove: engl. *horse power* (HP), njem. *Pferdstarke* (PS), franc. *cheval-vapeur* (CV), tal. *cavallo vapore* (CV), rus. *лошадиная сила* (J. C.) itd. Kadšto su se, osim u njemačkom, rabili za konjsku snagu kao znakovi i kurentna slova hp i cv.

Bilo je nekoliko konjskih snaga, vrlo bliskih vrijednosti: *mehanička* KS = 745,700 W, *električna* KS = 736 W, *britanska električna* KS = 746 W i dr.

Europsku *konjsku snagu* valja razlikovati od starih UK i US jedinica, na primjer tzv. *američke konjske snage* (engl. *horse power*, znak HP), vrijednosti HP = 745,7 W, pa je HP = 1,013 87 KS.

Konjska snaga se rabila uz jedinice Tehničkoga sustava, pa su mnogi smatrali da mu pripada. U većini je zemalja nezakonita od 1980. godine, ali se neočekivano razgovorno zadržala do naših dana, jer su njome bile opisane snage pogonskih motora, ponajprije za vozila, a time u registracijskim i prometnim dokumentima i sl.

Stoga i *Smjernica EU 80/181/EEC* od 1. siječnja 2010. dopušta *konjsku snagu* samo kao dopunsku jedinicu uz *vat*. Praktički to znači da podatak o snazi izražen u *vatima* može biti dopunski izražen i u *konjskim snagama*, ponajprije radi usporedbe s nekadašnjim podacima.

## SI jedinica snage vat

Jedinica snage *vat*, nazvan po škotskom izumitelju Jamesu Wattu (1736. – 1819.), bio je prihvaćen još na 2. kongresu Britanskoga društva za unaprijeđenje znanosti 1889. godine.

Jedinica *vat* se pojavila u stručnoj literaturi početkom 20. stoljeća, a razmjerno je brzo ušla u širu tehničku primjenu stoga što su *vatom* gotovo od prvih dana elektrifikacije označavane snage električnih trošila. U tehničkoj praksi rabe se i decimalni višekratnici i nižekratnici, ponajviše: *kilovat* (kW), *megavat* (MW), *teravat* (TW), *milivat* (mW), *mikrovat* (μW) i dr.

*Vat* je bio definiran u okviru definicija električnih jedinica još na CIPM 1946. godine, što je odobrio i 9. CGPM (1948), koji je tada prihvatio i naziv jedinice sile *njutn*. Ta je, danas malo nespretna definicija, glasila:

„Vat (jedinica snage): Vat je snaga koja u jednoj sekundi proizvede energiju od jednoga džula.“

Uvođenjem Međunarodnoga sustava mjernih jedinica 1960. godine među prvim izvedenim SI jedinicama s posebnim nazivom i znakom bila je jedinica snage *vat* (znak W). Definicija glasi:

**vat** (engl. *watt*, znak W) je jedinica snage, izvedena SI jedinica. Definiran je snagom kojom se u jednoj sekundi obavi rad od jednoga džula, dakle *vat* je džul po sekundi, tj.  $\text{W} = \text{J}/\text{s}$ .

U elektrotehnici se pri uporabi izmjenične struje, kod koje između napona  $U$  i struje  $I$  može postojati fazni pomak  $\varphi$ , razlikuju *djelatna snaga* ( $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ ), *jalova snaga* ( $Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$ ) i *prividna snaga* ( $S = U \cdot I$ ). Djelatna sna-



Spomenik Jamesu Watu ispred Centralne knjižnice u Birminghamu, UK (Alexander Munro, 1898. godine)

ga se izražava jedinicom *vat* (W), a da bi se jasno razlikovale druge dvije tradicijski se navode drugim jedinicama snage, koje su zapravo samo drugi nazivi za *vat*:

**var** (kratica od *voltamper, reaktivni*; znak var ili VAR) je jedinica *jalove snage* izmjenične struje, jednaka vatu, tj.  $\text{var} = \text{W}$ .

**voltamper** (znak VA ili V·A) je jedinica *prividne snage* izmjenične struje, jednaka vatu, tj.  $\text{V}\cdot\text{A} = \text{W}$ .

U engleskom govornom području još se mogu naći jedinice snage definirane angloameričkim jedinicama, na primjer *Btu na sat* (engl. *British thermal unit per hour*; znak Btu/h), vrijednosti  $\text{Btu/h} \approx 0,293\,071\,07\, \text{W}$ .

## Zaključak

Mukotržno definiranje i uporaba različitih jedinica snage kroz povijest, dovelo je danas do uporabe jedne jedinice *vata* za sve oblike snage, s iznimkom posebnih naziva *var* i *voltamper* u elektrotehnici.

## Literatura

- [1] Marijan Brezinščak, *Mjerenje i računanje u tehnici i znanosti*. Tehnička knjiga, Zagreb 1971.
- [2] ....., *Međunarodni sustav jedinica (SI)*. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb, prijevod (7)1998.
- [3] ....., *Le Système international d'unités/The international System of Units*. BIPM, Sevres 2006.
- [4] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.
- [5] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih veličina*. Školska knjiga, Zagreb 2009.



# IKOM

[www.ikom-mjerila.hr](http://www.ikom-mjerila.hr)



**Ikom d.o.o., Industrija komunalne opreme i mjerila**

Kovinska 7, Zagreb 10 090, CROATIA, [P.P. 98]

Centrala: +385 (0)1 3900 800, Fax: +385 (0)1 3900 802, Email: [info@ikom-mjerila.hr](mailto:info@ikom-mjerila.hr)  
Prodaja: +385 (0)1 3900 822, Fax: +385 (0)1 3900 818, Email: [prodaja@ikom-mjerila.hr](mailto:prodaja@ikom-mjerila.hr)  
Web: [www.ikom-mjerila.hr](http://www.ikom-mjerila.hr)

# Od ciklusa u sekundi do herca

dr. se. Zvonimir JAKOBOVIC



Heinrich Hertz

Brzina događanja periodičnih pojava, obično nazivana frekvencijom, vrlo je važna u proučavanju i primjenjivanju titranja, vibracija, valova ili vrtinja. Oduvijek se opisivala brojem periodično ponavljajućih događaja u jedinici vremena.

**F**rekvencija, *čestota*, *učestalost* važno je svojstvo svih periodičnih pojava (titranja, valova, vibracija i dr.) u fizici i njihove tehničke primjene. Od prvih se dana opisivala recipročnom vrijednošću perioda titranja, koji se nazivao *ciklusom* događanja (lat. *cyclus*: okret, razdoblje).

Kao mjerna jedinica nametao se broj ciklusa u jedinici vremena. Stoga su se kao jedinice rabile recipročne jedinice vremena, s nazivima *u sekundi*, *u minuti*, *u satu* itd. U fizici je prva jedinica frekvencije bio *ciklus u sekundi* definiran:

**ciklus u sekundi** (znak *c/s*), stara jedinica frekvencije, u značenju *recipročne sekunde* ( $c/s = s^{-1} = \text{Hz}$ ).

Pod utjecajem engleskoga jezika (engl. *cycle per second*) rabio se osobito u drugoj polovici 20. stoljeća i znak *cps*. Osim polazne jedinice rabili su se i decimalni višekratnici *kilociklus u sekundi* (*kc/s*) i *megaciklus u sekundi* (*Mc/s*).

U tehničkoj se primjeni često ispuštalo ono *u sekundi*, pa se jedinica nazivala kraće samo „ciklus“ ili čak izobličeno „cikl“ te višekratnici „kilocikl“ i „megacikl“ odnosno znakovi „kc“ i „Mc“. Odlaskom 1980-ih godina jedinice *ciklus u sekundi* u povijest otišli su i ti neispravni nazivi i znakovi, koji se još samo mogu naći u starijoj literaturi ili na „skalama“ starih radijskih uređaja.

Uvođenjem *Metarskoga sustava* i potom *Međunarodnog sustava mjernih jedinica* suvisla je mjerna jedinica vremena *sekunda* (znak *s*), a po potrebi izvan-sustavne jedinice *minuta* (*min*), *sat* (*h*) i *dan* (*d*). Stoga je definirana jedinica SI-ja frekvencije *herc*:

**herc** (engl. *hertz*; znak *Hz*), jedinica *frekvencije*, izvedena jedinica SI-ja. Definiran je brojem perioda nekoga titranja u jednoj sekundi. Jedan je od posebnih naziva *recipročne sekunde*, tj.  $\text{Hz} = s^{-1}$ . Nazvan je po H. Hertzu.

**Heinrich Rudolf Hertz** (1857. – 1894.) bio je njemački fizičar, osobito zapamćen po eksperimentalnome dokazu postojanja elektromagnetskih valova oko 1888. godine i određivanju njihovih osnovnih svojstava. Stoga su prvotno elektromagnetski valovi u području tzv. *radijski frekvencija* bili nazivani *Hertzovim valovima*, kako je ostalo u nekim jezicima i do danas. To je otkriće bilo osnova za izume radija i druge primjene radiovalova u telekomunikacijama. Prerana smrt u 37. godini od sepse nakon upale uha spriječila ga je u daljnjim istraživanjima i primjeni tih valova. Po njemu je 1996. godine nazvan jedan asteroid, a uglednom *Fraunhoferovu institutu za telekomunikacije*, osnovanom 1928. godine u Berlinu dodan je 2003. godine naziv *Heinrich Hertz*, tako da mu je danas skraćeni naziv *Fraunhoferov Heinrich Hertz institut*.

Jedinica *herc* rabila se već početkom 20. stoljeća, 9. CGPM (1948.) među nizom već ustaljenih jedinica navodi i jedinicu *herc*, a 15. CGPM (1960) je



*Spomenik Heinrichu Hertzju na zgradi Instituta za tehnologiju u Karlsruheu u Njemačkoj i njegovu otkriću elektromagnetskih valova*

pri uvođenju Međunarodnoga sustava među izvedenim jedinicama SI-ja s posebnim nazivima i znakovima odredio i jedinicu *herc* i njezin znak Hz.

## Neke posebne frekvencije

U tehničkoj se praksi, fiziци, biofizici i dr. rabe i neki posebni nazivi frekvencije i njihove posebne jedinice.

*Frekvencija vrtnje, rotacijska frekvencija, brzina vrtnje* ( $n$ ) omjer je vrtnje  $N$  i trajanja  $t$ , tj.  $n = dN/dt$ , odnosno omjer kutne brzine  $\omega$  i broja  $2\pi$ , tj.  $n = \omega/(2\pi)$ . Mjerna je jedinica frekvencije vrtnje *okretaj u sekundi* (okr./s), koja se katkad naziva i *hercom* (Hz), a u strojarstvu i *okretaj u minuti* (okr./min) ili *recipročna minuta* ( $\text{min}^{-1}$ ).

*Kutna frekvencija, kružna frekvencija, pulzacija* ( $\omega$ ) umnožak je broja  $2\pi$  i frekvencije  $f$ , tj.  $\omega = 2\pi \cdot f$ . Mjerna je jedinica kutne frekvencije *radijan u sekundi* ili *recipročna sekunda* ( $\text{rad/s} = \text{s}^{-1}$ ).

*Frekvencija vala* u nekome sredstvu ili praznini omjer je brzine vala  $v$  i valne duljine  $\lambda$ , tj.  $f = v/\lambda$ . Mjerna je jedinica



*Ruhmkorffov induktor te koherer i iskrište smješteni u paraboličnim zrcalima u Kabinetu za fiziku požeške gimnazije, za koje se vjeruje da je s njima radio dr. Oton Kučera ili barem potakao njihovu izradbu (oko 1890. – 1892.)*



*Klasični analogni frekventometar za mjerenje frekvencije izmjenične struje*



*Digitalni frekventometar*

frekvencije vala *herc* (Hz), a često i decimalni višekratnici: *kiloherc* (kHz), *megaherc* (MHz) i dr.

*Bilo ili puls* niz je tlačnih udara u arterijama krvotoka živih bića. Izražava se brojem  $n$  otkucaja srca *u minuti*. Obično se uvriježeno, ali neispravno, navodi samo brojčanom vrijednošću bez naznake mjerne jedinice, pri čemu se podrazumijeva da je to *u minuti* ( $1/\text{min}$ ,  $\text{min}^{-1}$  ili sl.). Fiziološka je vrijednost za čovjeka  $n \approx 70 \dots 90 \text{ min}^{-1}$ . Vrijednosti izvan toga područja upućuju na patološke pojave.

## Neke karakteristične frekvencije

Od bezbroj raznolikih frekvencija različitih periodičnih pojava izdvaja se nekoliko koje su osobito važne za čovjeka ili najširu tehničku primjenu.

*Frekvencije zvuka* ili *čujna frekvencija* obuhvaća područje čujnosti ljudskoga uha, idealno je u rasponu  $16 \dots 20\,000 \text{ Hz}$ , u stvarnosti za odraslu osobu oko  $20 \dots 12\,000 \text{ Hz}$ .

*Osnovna frekvencija glasa* najniža je frekvencija sinusoidne sastavnice ljudskoga glasa, u muškaraca je to  $90 \dots 120 \text{ Hz}$ , a u žena  $190 \dots 220 \text{ Hz}$ , osnova je dojma visine glasa.

*Usporedbeni je glazbeni ton* ili *koncertni ton ton a* prve glazbene oktave, označavan  $a^1$ ,  $a^4$ ,  $A_4$ ,  $a440$  i sl., frekvencije  $a^1 = 440 \text{ Hz}$ . Normiran je 1939. godine normom ISO 16, koja je revidirana 2011. godine. Odašilju ga radiopostaje točnoga vremena i frekvencije prema pravilnome rasporedu unutar sata. Prema njemu se usklađuju frekvencije ostalih glazbenih tonova i glazbenih instrumenata. I pokraj te norme postoje određene razlike između visine usporedbenoga tona u pojedinim zemljama ili orkestrima. Tako je, na primjer, u

njemačkim i austrijskim simfonijskim orkestrima frekvencija usporedbenoga tona 443 Hz, a u švicarskim 442 Hz.

*Normirana frekvencija izmjenične struje* iznosi u Europi 50 Hz, a u Sjevernoj Americi 60 Hz, određena je normama i zakonima pojedinih zemalja. Njezina je točnost mjera kvalitete isporučene električne energije.

*Radijska frekvencija, radiofrekvencija* frekvencija je nosećega vala u radiokomunikacijama (telekomunikacijama), u današnjemu stanju tehnike nalazi se u području 10 kHz do 300 GHz. Važno je svojstvo svakoga telekomunikacijskoga sustava, a u tehničkoj primjeni omogućava izdvajanje određenoga signala od svih drugih koji se odašilju.

## Mjerenje frekvencije

Frekvencija se u načelu mjeri brojem periodičnih događaja i vremena ili uspoređivanjem mjerene frekvencije s nekom usporedbenom. Mjerni instrument *frekventometar*, razgovorno i *frekvencmetar*, može biti analogan ili digitalan. U glazbenoj je praksi često mjerenje visine zvuka subjektivno, uspoređivanjem s nekim usporedbenim tonom glazbenoga instrumenta, glazbene viljuške ili radijskoga signala.

## Literatura

- [1] Marijan Brezinščak, *Mjerenje i računanje u tehnici i znanosti*. Tehnička knjiga, Zagreb 1971.
- [2] ....., *Medunarodni sustav jedinica (SI)*. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb, prijevod (7)1998.
- [3] ....., *Le Système international d' unites/The international System of Units*. BIPM, Sevres 2006.
- [4] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.
- [5] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih veličina*. Školska knjiga, Zagreb 2009.
- [6] Zvonimir Jakobović, *Oton Kučera – predsjednik Matice hrvatske – prvi promicatelj radija u Hrvatskoj*. Hrvatska revija 1/2016.

# PETROL STATION MANAGEMENT

## from A to Z



### Our mission

Is to satisfy our clients needs before and after purchasing our products. We are doing oversight, inspection, education, service, supplying spare parts, building entire petrol stations. We are partners with biggest names in petrol industry: PWM, OPW, Franklin Fueling Systems, Sloan LED...

"S&B Tubs fuel dispensers are innovative, adjustable to different market needs and with far longest durability"

### Invest in NO DRIFT, NO LOSS technology

The best flow meters in the industry, which are almost error free for longest period of time. Hydraulics and other important parts are highly reliable, which results in low-cost maintenance.

MODEL OF DISPENSER: MZ 6100 M2

OUR NEW MODEL WITH NEW HEAD, AND ADVANCED COMPUTER T30



SCHEIDT & BACHMANN TUBS d.o.o.  
Dolenica 20, D. Stupnik, 10 250 Lučko

Scheidt & Bachmann Tubs d.o.o.

### Our mission

Is to satisfy our clients needs before and after purchasing our products. We are doing oversight, inspection, education, service, supplying spare parts, building entire petrol stations. We are partners with biggest names in petrol industry: PWM, OPW, Franklin Fueling Systems, Sloan LED...

"S&B Tubs fuel dispensers are innovative, adjustable to different market needs and with far longest durability"

### Invest in NO DRIFT, NO LOSS technology

The best flow meters in the industry, which are almost error free for longest period of time. Hydraulics and other important parts are highly reliable, which results in low-cost maintenance.

MODEL OF DISPENSER: MZ 6100 M2

OUR NEW MODEL WITH NEW HEAD, AND ADVANCED COMPUTER T30



SCHEIDT & BACHMANN TUBS d.o.o.  
Dolenica 20, D. Stupnik, 10 250 Lučko

Petrol station in Ukraine

SCHEIDT & BACHMANN TUBS

SCHEIDT & BACHMANN TUBS

EXPERIENCE AND TECHNOLOGY FOR THE FUTURE

[www.scheidt-bachmann-tubs.hr](http://www.scheidt-bachmann-tubs.hr)

Our showroom

5

# Od rada do siverta

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ



Rolf Maximillian Sivert

Doza energije koju neko tijelo ili sustav prime ozračeni ionizirajućim zračenjem odlučna je uz osjetljivost tijela ili sustava za učinak koji će u njima proizvesti zračenje. Stoga se od prvih dana istraživanja i primjene ionizirajućih zračenja nastojalo razumno definirati i mjeriti te doze.

**I**onizirajuće zračenje pri prolasku kroz tvar predaje ozračenoj tvari energiju, pa se pri tome mijenjaju energija i svojstva zračenja kao i svojstva tvari.

*Doza zračenja* (prema grč. *dosis*: dar, davanje, obrok) je relativna energija koju je zračenje predalo nekom tijelu ili sustavu. Kako su učinci zračenja ovisni o vrsti zračenja i o svojstvima ozračenoga tijela ili sustava, u *dozimetriji* se za određivanje učinaka ionizirajućega zračenja, rabi nekoliko doza te za njih i nekoliko mjernih jedinica.

## Apsorbirana doza ionizirajućega zračenja

*Apsorbirana doza* (ponekad i *energijska doza*) omjer je energije  $E$  predane tijelu u odnosu prema masi  $m$  tijela, dakle  $D = E/m$ . Mjerna jedinica doze je omjer mjernih jedinica energije i mase.

Prva mjerna jedinica bila je rep:

**rep** (prema engl. *roentgen equivalent physical*: rendgen koji odgovara tijelu) je stara jedinica *apsorbirane doze* ionizirajućega zračenja, vrijednosti 9,8 mGy. Svojedobno je bio definiran dozom ionizirajućega zračenja koje ljudskom tijelu predaje energiju od 98 erg/g = 9,8 μJ/g.

Naknadno je bila definirana jedinica *rad*, pa je rep = 0,98 rad, bio relativno rijetko upotrebljavan<sup>1</sup>.

U počecima radijacijske dozimetrije, u doba kada se u fizici rabio CGS-sustav mjernih jedinica, uvedena je jedinica *rad*<sup>2</sup>, oslonjena na *rendgen*, tadašnju jedinicu ekspozicije. Međunarodno je prihvaćen 1953. godine. Definicija glasi:

**rad** (prema engl. *radiation absorbed dose*: apsorbirana doza zračenja; znak rd) je stara jedinica *apsorbirane doze* ionizirajućega zračenja, naziv je za 100 erga po gramu, dakle rd = 100 erg/g = 0,01 J/kg = 0,01 Gy.

Jedinica *rad* je prvotno bila definirana kao apsorbirana doza u vodi (a približno je tako i u ljudskom tijelu) koja potječe od ekspozicije od jedan rendgen (znak R) u širokom području ionizirajućega zračenja. Tako zračenje ionizacijske ekspozicije od 1 R uzrokuje u ljudskom tijelu apsorbiranu dozu od 0,98 rada, dakle približno 1 rad.

<sup>1</sup> Vrijednosti su se tih jedinica u doba nastanka prilično mijenjale, pa se u staroj literaturi nalaze donekle različiti podatci.

<sup>2</sup> Valja uočiti da je znak SI jedinice kuta *radijan* također rad!





Međunarodni znak ionizirajućeg zračenja prema normi ISO 361 1975(E) – rabe se i mnoge inačice toga znaka

To je, osobito u medicinskoj primjeni bilo vrlo prikladno, pa su se ionizacijska ekspozicija i apsorbirana doza i njihove jedinice često miješale. Nestručnjaci su često „dozu“ izražavali i u radima i u rendgenima (označavajući obje jedinice s R ili r), ali su zbog toga što 1 R uzrokuje 1 rad izračunani rezultati bili ispravni, jer su za ljudsko tijelo te vrijednosti bile podjednake. Ta je jednakost slična kao kod *kilograma* i *kiloponda*<sup>3</sup>. Također, ta je jednakost izračuna bila razlogom kroz nekoliko desetljeća velikog odupiranja radiologa uvođenju SI jedinica ionizacijske ekspozicije i apsorbirane doze.

Nakon uvođenja Međunarodnog sustava mjernih jedinica (SI) je 15. CGPM (1975.) zaključio „zbog potrebe da se što je više moguće olakša uporaba jedinica nespecijalistima, uzimajući u obzir također težinu opasnosti od pogriješaka u terapijskom radu, ..... prihvaća ovaj posebni naziv za SI jedinicu ionizirajućega zračenja: *grej* (znak Gy) koji je jednak jednom džulu po kilogramu.“ Definicija glasi:

**grej** (engl. *gray*; znak Gy) je izvedena SI jedinica *apsorbirane doze* ionizirajućeg zračenja, poseban je naziv za *džul po kilogramu*, tj.  $Gy = J/kg$ . Nazvan je po L. H. Grayu.

**Louis Harold Gray** (1905. – 1965.) je bio engleski fizičar koji je istraživao ionizirajuća zračenja i bavio se njihovom dimenzijom.

Uvođenjem suvislih SI jedinica ekspozicijske doze *kulon po kilogramu* (C/kg; ta jedinica nema poseban naziv i znak) i apsorbirane doze *grej* (Gy), jednostavnost odnosa kao kod *rendgena* i *rada*, je narušena, jer ionizacijska ekspozicija od 1 C/kg uzrokuje u ljudskom tijelu apsorbiranu dozu od oko 38 Gy u širokom području energija zračenja.



Elektrostatički dozimetar starijega tipa



Suvremeni osobni digitalni dozimetar

Jedinica *grej* se u području ionizirajućega zračenja rabi i za druge mjerne veličine koje imaju za jedinicu *džul po kilogramu*.

## Korigirane doze ionizirajućega zračenja

Učinak zračenja ne ovisi samo o predanoj energiji, nego o vrsti i energiji zračenja, o tijelu koje je ozračeno, o načinu i ritmu ozračivanja (jednokratno ili višekratno, stalno ili promjenljivo), o tome je li ozračeno tijelo u praznini, ili je okruženo istovrsnom ili različitom tvari, je li ozračeno samo promatrano tijelo (ili dio tijela) ili i okolina tijela, nalazi li se izvor zračenja izvan tijela ili u tijelu, je li radioaktivna tvar u tijelu samo na nekom mjestu ili je raspršena po cijelom tijelu itd. Ovisno o svemu tome, osim primarnoga zračenja (osnovnoga snopa zračenja) tijelo može biti ozračivano i raspršenim ili sekundarnim zračenjem, koje može izvirati iz promatranoga tijela ili ga može ozračivati iz neposredne okoline.

Jednako je tako i za biološki učinak ionizirajućega zračenja na živim organizmima, organima ili tkivima. Jednaka apsorbirana doza različitih vrsta zračenja i energijskih područja zračenja prouzrokuje u istim tkivima različite učinke. Za procjenu učinka zračenja obzirom na sveukupne okolnosti izmjerena se apsorbirana doza korigira tzv. *faktorima modifikacije*. Tek je tako korigirana doza pravi pokazatelj učinka određenoga zračenja na određenu tvar.

Valja uočiti kako se tijekom desetljeća u području zaštite živih bića od ionizirajućega zračenja upotrebljavalo nekoliko faktora modifikacije.

Prvotno se upotrebljavao faktor *relativnog biološkog učinka*, tzv. *RBE-faktor* (prema engl. *relative biological effectiveness*), pomoću kojega je biološki učinak zračenja različitih vrsta i energija zračenja uspoređivan s učinkom *usporedbenoga* ili *referentnoga zračenja*. Za usporedbeno zračenje je odabrano rendgensko zračenje nastalo uz napon od 200 kV, za koje su zbog dugogodišnje primjene u medicini ti učinci bili najbolje poznati. RBE-faktor ovisan je, osim o vrsti zračenja, i o načinu ozračivanja i o vrijednosti apsorbirane doze.

Potom je *Međunarodna komisija za jedinice i mjerenje zračenja* (ICRU) predložila da se apsorbirana doza korigira *faktorom modifikacije N* (eng. *modifying factor*) i *faktorom kvalitete Q* (eng. *quality factor*) pojedine vrste zračenja, a tako korigirana doza nazove *doznim ekvivalentom*.

<sup>3</sup>Vidi: Z. J., *Od dina do njutna*, Svijet po mjeri br. 4/2015, str. 101.



Osobni termoluminiscentni dozimetar koji se nosi kao narukvica ili kao prsten

Dozni ekvivalent  $H$  (engl. *dose equivalent*)<sup>4</sup> umnožak je faktora kvalitete  $Q$  zračenja kojim ozračeno neko tkivo i apsorbirane doze  $D$ ,

$$H = Q \cdot D.$$

Faktor modifikacije je za biološki je učinak zračenja iz vanjskih izvora procijenjen na vrijednost  $N = 1$  (pa ga se većinom izostavlja), a faktor je kvalitete za rendgensko zračenje, gama-zračenje i elektronsko zračenje  $Q = 1$ , za neutronske, protonsko i slična zračenja  $Q = 10$ , a za alfa-zračenje i teškoionska zračenja  $Q = 20$ .

Stara je jedinica doznoga ekvivalenta bila *rem*, definirana 1971. godine:

**rem** (prema engl. *roentgen equivalent man*: rendgen koji odgovara čovjeku) je stara jedinica doznog ekvivalenta ili ekvivalentne doze ionizirajućega zračenja, poseban je naziv za 100 erga po gramu, dakle  $1 \text{ rem} = 100 \text{ erg/g} = 0,01 \text{ J/kg} = 0,01 \text{ Sv}$ .

Ubrzo je 16. CGPM (1979.) zaključio da: „uzimajući u obzir

- napor učinjen da se u području ionizirajućih zračenja uvedu SI jedinice,
- opasnost za ljude od nisko procijenjene doze zračenja, opasnost koja bi mogla nastati iz brkanja apsorbirane doze i doznog ekvivalenta,
- da je umnožavanje posebnih naziva opasnost za Međunarodni sustav jedinica pa se mora na sve moguće načine izbjegavati te da se to pravilo može kršiti kad je u pitanju zaštita ljudskog zdravlja,

**prihvata** poseban naziv *sivert* (znak Sv) za SI jedinicu doznog ekvivalenta u području zaštite od zračenja. Sivert je jednak džulu po kilogramu.“ Definicija glasi:

**sivert** (engl. *sievert*; znak Sv) je izvedena SI jedinica doznog ekvivalenta i ekvivalentne doze ionizirajućega zračenja, poseban je naziv za džul po kilogramu, tj.  $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$ , definiran ekvivalentnom dozom od apsorbirane doze jedan grej uz težinski faktor jedan. Nazvan je po R. Sievertu.

<sup>4</sup> Prema normi HRN ISO 31-10:1999 (E) – nova norma HRN ISO 80000-10 je u pripremi

**Rolf Maximilian Sievert** (1896. – 1966.) je bio švedski fizičar, jedan od prvaka proučavanja biološkoga učinka i primjene zaštite od ionizirajućega zračenja.

Međunarodna komisija za radiološku zaštitu (ICRP) je 1999. godine preporučila da se biološki učinak procjenjuje težinskim faktorom zračenja, a da se tako dobivena mjerna veličina nazove ekvivalentnom dozom.

Težinski faktor zračenja (negdje i težinski koeficijent)  $W_R$  (engl. *radiation weighting factor*) ukupni je faktor modifikacije, nastao množenjem faktora kvalitete  $Q$  zračenja za biološki učinak i faktora modifikacije  $N$ , kojim se opisuje učinak zračenja na živo tkivo.

## TEŽINSKI FAKTOR ZA POJEDINA ZRAČENJA

Zračenje	Težinski faktor zračenja $W_R$
Fotonsko, elektronsko i mionsko zračenje	1
Neutronske zračenje ( $E < 10 \text{ keV}$ )	5
( $E = 10 \dots 100 \text{ keV}$ )	10
...	...
Protonsko zračenje, osim raspršenoga ( $E > 2 \text{ MeV}$ )	5
Alfa-zračenja, teškoionsko zračenje, zračenje fisionuklearnih fragmenata	20

Ekvivalentna doza  $H_{TR}$  (engl. *equivalent dose*) za biološki učinak zračenja  $R$  u tkivu  $T$ , umnožak je težinskog faktora zračenja i apsorbirane doze

$$H_{TR} = W_R \cdot D_{TR}.$$

Jedinica ekvivalentne doze je također *sivert* ( $\text{Sv} = \text{J/kg}$ ).

Efektivna doza  $E$  (engl. *effective dose*) zbroj je umnožaka ekvivalentnih doza  $H_T$  u pojedinim tkivima, pomnožen s korigirajućim, tzv. težinskim faktorom ozračivanja  $W_T$  tkiva  $T$

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T.$$

Težinski faktor ozračivanja opisuje dio štetnosti od slučajnih, tzv. *stohastičkih učinaka* do kojih dolazi u pojedinim tkivima, prema ukupnoj štetnosti od stohastičkih učinaka pri jednoliko ozračenom cijelom tijelu.

To znači, da će uz jednake apsorbirane doze alfa-zračenje uzrokovati desetak puta veći učinak nego fotonsko zračenje, tj. da je, na primjer uz apsorbiranu dozu od  $1 \text{ mGy}$ , efektivna doza za fotonsko zračenje  $1 \text{ mSv}$ , a za alfa-zračenje  $10 \text{ mSv}$ .

Kolektivna efektivna doza  $S$  ukupna je doza koju primi skupina ljudi u ozračenom pučanstvu, a definirana je zbrojem umnoška srednjih efektivnih doza  $E_i$  u  $i$ -toj skupini i broja  $N_i$  osoba u toj skupini

$$S = \sum_i E_i \cdot N_i.$$

Uobičajena je jedinica kolektivne doze *čovjek-sivert* (čovjek-Sv; engl. *man-Sv*).

Rabe se i *brzine doza* s pripadnim mjerni jedinicama *grej u sekundi* ( $\text{Gy/s}$ ) i *sivert u sekundi* ( $\text{Sv/s}$ ), odnosno uz druge jedinice vremena *grej u satu* ( $\text{Gy/h}$ ) i *sivert u satu* ( $\text{Sv/h}$ ) i dr.

## Zaključak

Valja uočiti nekoliko činjenica, nastalih vremenom i postupnim razvojem našega znanja o biološkim učincima i zaštiti od ionizirajućeg zračenja.

Zbog opasnosti za zdravlje ljudi, koja bi zbog uporabe iste mjerne jedinice mogla nastati zamjenom *apsorbirane doze* i *doznog ekvivalenta*, odnosno *ekvivalentne doze*, određeni su različiti nazivi i znakovi mjernih jedinica *grej* (Gy) i *sivert* (Sv), iako su to samo posebni nazivi za *džul po kilogramu*. Tako se već iz mjernih jedinica vidi je li riječ o apsorbiranoj dozi, ili već korigiranom doznom ekvivalentu, odnosno ekvivalentnoj dozi.

Tri faktora korigiranja apsorbirane doze: RBE-faktor, faktor kvalitete  $Q$  i težinski faktor  $W_R$ , nastali su u različito vrijeme i različito su definirani, ali su za vanjske izvore zračenja gotovo jednakih vrijednosti, pa se u primjeni često miješaju.

Dozimetrijske veličine *dozni ekvivalent* i *ekvivalentna doza*, te *efektivni dozni ekvivalent* i *efektivna doza* nastali su također u različito vrijeme i različito su definirani, ali se zbog nespretne sličnosti naziva često miješaju.

Stoga, osobito u medicinskoj dozimetriji ionizirajućega zračenja, valja biti vrlo oprezan u primjeni tih različitih mjernih veličina i njihovih jedinica.

## Literatura

- [1] ....., *Međunarodni sustav jedinica (SI)*. Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb, prijevod <sup>(7)</sup>1998.
- [2] ....., *Le Systeme international d' unites/The international System of Units*. BIPM, Sevres <sup>(8)</sup>2006.
- [3] Zvonimir Jakobović, *Fizika zračenja*. Zdravstveno veleučilište, Zagreb 2007.
- [4] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.
- [5] Zvonimir Jakobović, *Leksikon mjernih veličina*. Školska knjiga, Zagreb 2009.
- [6] ....., *Pravilnik o granicama ozračenja*. NN br. 59, od 20. svibnja 2013.
- [7] [www.dzrns.hr](http://www.dzrns.hr)

# Apsolutni Gaussov sustav jedinica – jedan od ključnih koraka u razvoju međunarodnoga sustava jedinica

Mirko VUKOVIĆ, dipl. ing. el.

*Međunarodni sustav jedinica (Le Systeme international d'unités) s međunarodno prihvaćenom pokratom SI suvremeni je metrički sustav mjerenja. Premda je formalno taj sustav u sadašnjemu obliku uspostavljen 1960. godine odlukom 11. opće konferencije za utege i mjere (Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM), njegov se razvoj odvijao više od stošezdeset godina.*

*Prvim korakom u razvoju međunarodnoga sustava jedinica smatra se stvaranje desetičnoga metričkog sustava u vrijeme Francuske revolucije i deponiranje dviju platinjskih pramjera (etalona) koje su prikazivale metar i kilogram 22. lipnja 1799. godine u Arhiv Republike (Archives de la République) u Parizu.*

*Otada pa do spomenute odluke CGPM-a u tome razdoblju mnogi su vodeći svjetski znanstvenici dali svoj doprinos razvoju toga sustava. Tako su kao članovi posebnoga povjerenstva koje je u vrijeme Francuske revolucije uspostavila revolucionarna Skupština Republike, čija je zadaća bio prijedlog jedinstvenoga sustava mjera, sudjelovali vodeći francuski znanstvenici toga doba: Laplace, Lagrange, Monge, Lavoissier i dr.*

*Kasnije su razvoju toga sustava dali svoj doprinos i vodeći znanstvenici iz drugih zemalja poput Gaussa i Webera, Marvella i Lorda Kelvina (prvim imenom Williama Thomsona). U ovome članku dat ćemo kraći osvrt na doprinos tih znanstvenika razvoju tzv. apsolutnoga sustava jedinica kao jednog od najvažnijih koraka koji su doveli do konačnoga stvaranja SI-ja.*

Jedan od posebno važnih koraka u razvoju suvremenoga sustava mjernih jedinica bilo je stvaranje tzv. *apsolutnoga sustava* jedinica, koji je predložio čuveni njemački matematičar Karl Fridrich Gauss (1777. – 1855.). Taj je prijedlog Gauss iznio u svojem radu pod naslovom *Jakost zemljine magnetske sile svedene na apsolutnu mjeru* koji je 15. prosinaca 1832. godine prikazao za raspravu Goetingskomu znanstvenom društvu. Taj razmjerno kratak rad, koji je obuhvaćao samo 37 stranica teksta, odigrao je iznimno važnu ulogu u razvoju prirodnih znanosti, a posebno suvremenoga međunarodnog sustava mjernih jedinica.

Gauss se započeo baviti teorijom i pojavama zemaljskoga magnetizma na poticaj drugoga velikog njemačkog znanstvenika (geologa, geografa i putnika) Alexandra von Humboldta (1769.–1859.), koji se između ostalog bavio i istraživanjem magnetskoga polja Zemlje. Humboldt je želio da znanstvenici provedu mjerenja zemaljskoga magnetizma na različitim mjestima na površini Zemlje te da se na temelju tih mjerenja izrade odgovarajuće karte zemaljskoga magnetskog polja (magnetskih deklinacija).

Naime, od početka uporabe kompasa otkriveno je da magnetska igla ne pokazuje strogo smjer prema sjeveru te da se odklon magnetske igle od geografskoga podnevnika (magnetska deklinacija) mijenja u ovisnosti o mjestu opažanja te da se igla ne postavlja vodoravno nego da kut koji ona zatvara s okomicom također ovisi o mjestu opažanja.

Objašnjenje orijentacije magnetskih igala na zemaljskoj površini i prirode magnetskih sila prvi je pokušao dati britanski znanstvenik William Gilbert (1544. – 1603.). On je iznio pretpostavku da je Zemlja veliki magnet i da je po magnetskim svojstvima slična kugli od magnetskoga materijala. Za potvrdu svoje hipoteze izradio je model Zemlje u obliku željezne kugle i pokazao da se magnetska igla pri kretanju po površini takve kugle orijentira na isti način kao i na samoj površini Zemlje.

Za uspješnu primjenu kompasa, koji je bio jedan od temeljnih navigacijskih instrumenata, bilo je potrebno izraditi kartu magnetskih deklinacija. Radi sastavljanja takve karte Londonsko kraljevsko društvo organiziralo je 1698. godine posebnu pomorsku ekspediciju pod vodstvom čuvenoga astronoma i geofizičara Edmunda Hallyja<sup>1</sup> (1656. – 1742.). Nakon tri godine strpljivoga rada Halley je objavio „magnetsku“ kartu Atlantskoga oceana i Tihoga oceana. On je prvi proveo spajanje točaka na karti s istim vrijednostima magnetske deklinacije u jednu liniju koja predstavlja geo-



Spomenik K. F. Gaussa u Braunschweigu

<sup>1</sup> Prema Hallyju je nazvan poznati komet.



metrijsko mjesto točaka s istim deklinacijama te je tako u kartografiju uveo metodu koja se otad široko upotrebljava za vizualni prikaz različitih značajka zemaljske površine, posebno u meteorologiji.

Zbog važnosti magnetskih mjerenja za razvoj znanosti, putovanja i vojne svrhe, sredinom XVIII. stoljeća tri su tadašnje vodeće akademije znanosti (pariška, berlinska i sanktpetersburška) objavile zajednički natječaj za najbolji rad kojim bi se objasnila pojava zemaljskoga magnetizma. Tom su se pozivu odazvali mnogi poznati znanstvenici. Proveden je velik broj temeljnih istraživanja o zemaljskome magnetizmu. Posebnu su važnost imali radovi poznatoga francuskog fizičara i inženjera Charlesa Augusta Coulomba (1736. – 1806.) o točnome mjerenju električnih i magnetskih sila.

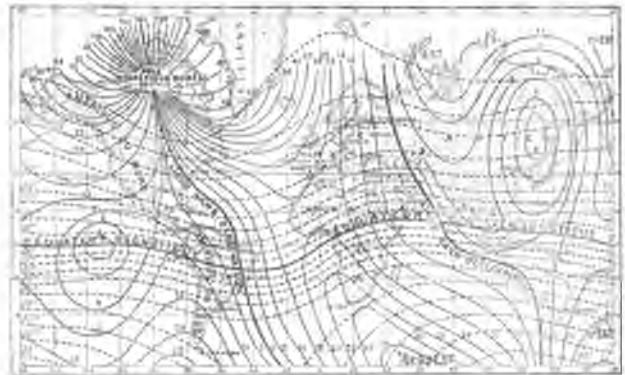
Coulomb je eksperimentalno dokazao da je sila međusobnoga djelovanja između dvaju magnetiziranih tijela obrnuto razmjerna kvadratu njihove međusobne udaljenosti i izravno razmjerna njihovim nabojima. Po analogiji s električnim nabojima za značajke magnetskih svojstava tvari Coulomb je upotrebljavao pojam magnetskih naboja<sup>2</sup> i pokazao da sila djelovanja među njima ovisi o njihovoj međusobnoj udaljenosti i o veličini njihovih magnetskih naboja na isti način kao i sila međusobnoga elektrostatskoga djelovanja tijela nabijenih električnim nabojem. Zahvaljujući Coulombovim pokusima postalo je moguće mjeriti apsolutne vrijednosti magnetske sile, čime je započelo novo razdoblje u proučavanju zemaljskoga magnetizma.

Međutim, prije početka rješavanja toga problema bilo je nužno razraditi točne znanstvene definicije značajka zemaljskoga magnetizma – deklinacije, nagiba i jakosti. A za to je bilo potrebno razraditi teorijske temelje magnetskih mjerenja. Gau-

ss je planirani posao započeo tek krajem 1831. godine kad je na Goetingenskom sveučilištu dobio kao pomoćnika mladoga darovitog znanstvenika, fizičara Wilhelma Eduarda Webera (1804. – 1891.).

Prije nego što je pristupio neizravnomu mjerenju magnetskih veličina mjerenjem sila i kretanja magnetskih tijela koja međusobno djeluju jedno na drugo, Gauss se suočio s problemom odabira osnovnih i izvedenih veličina u mehanici. Naime, mjerenje možemo na primjer provoditi usporedbom odgovarajuće mjerene (fizičke) veličine s nekom veličinom iste vrste koju smo odabrali kao etalon. Naravno, ako imamo takvu etalonsku veličinu. Međutim, veoma je često za određivanje vrijednosti neke fizičke veličine potrebno provesti mjerenja više drugih veličina koje su s tom veličinom povezane određenim odnosom.

Ako se neka veličina mjeri usporedbom s kojom veličinom iste vrste, takvo se mjerenje naziva izravnim mjerenjem, a u protivnome neizravnim mjerenjem. Na temelju međusobnih ovisnosti fizičkih veličina moguće je određene veličine odabrati kao osnovne, a sve ostale veličine izvesti na temelju odgovarajućih fizičkih zakona kao različite kombinacije<sup>3</sup> odabranih osnovnih veličina. Stoga se Gauss, prije nego što je pristupio neizravnomu mjerenju magnetskih veličina, suočio s problemom odabira osnovnih i izvedenih veličina u mehanici. Gauss je shvatio da je rezultate mjerenja koja je on provodio u području magnetizma, kao što su mjerenje magnetskoga momenta i jakosti magnetskoga polja, moguće i poželjno povezati sa sustavom mehaničkih jedinica koji je u to vrijeme već bio u velikoj mjeri prihvaćen u znanstvenoj zajednici.



Polazeći od zakona mehanike Gauss je pokazao da su u tome području fizike dostatne tri osnovne veličine te da se s pomoću njih mogu mjeriti sve ostale mehaničke veličine (odnosno da se mogu izraziti kao kombinacije tih triju osnovnih veličina). Ispitivanjem različitih trojka veličina koje bi mogle imati ulogu osnovnih veličina on je utvrdio da je u mehanici kao osnovne veličine najprikladnije odabrati duljinu, masu i vrijeme. Osim toga, za te su veličine postojali etaloni i jednostavne metode mjerenja.

<sup>2</sup> Danas znamo da u prirodi ne postoje magnetski naboji, međutim uvođenje toga pojma u to se doba pokazalo veoma korisnim za razvoj predočaba o magnetizmu.

<sup>3</sup> Naravno, te se kombinacije tvore isključivo množenjem i dijeljenjem, odnosno potenciranjem cijelim brojevima osnovnih veličina.



Nadalje, bilo je potrebno izraditi i uređaj s pomoću kojega bi se mjerenjem mehaničkih parametara mogle odrediti magnetske značajke magnetiziranih predmeta. Za vezu između magnetskih i mehaničkih veličina mogla je poslužiti ovisnost periode oscilacija magnetizirane igle u magnetskome polju Zemlje o jakosti magnetskoga polja Zemlje te o magnetskim i mehaničkim svojstvima igle. Mjerenjem i usporedbom periode oscilacija različitih igala s poznatim mehaničkim svojstvima moguće je, poznaajući zakon međusobnoga djelovanja magnetskih naboja, odrediti jakost magnetskoga polja Zemlje. Tako se postupak mjerenja magnetskih veličina sveo na mjerenje mehaničkih veličina, koje je, pak, moguće izraziti s pomoću osnovnih veličina, odnosno duljine, mase i vremena.

Pri odabiru osnovnih jedinica Gauss se oslanjao na metrički sustav koji je stvoren u vrijeme Francuske revolucije. Kao jedinica duljine u tome je sustavu bila odabrana desetmilijuntinka četvrtine pariškoga podnevnika, koja je nazvana metrom (zbog čega je i sustav nazvan metričkim)<sup>4</sup>. Kao jedinica mase bila je odabrana masa kubičnoga decimetra vode pri temperaturi od 4 °C koja je nazvana kilogramom. Izrađene su također i platinske pramjere ili etaloni (tj. tvorna ostvare-

<sup>4</sup>Ideja da se pramjera duljine veže za neku prirodnu veličinu pojavila se u Francuskoj početkom 18. stoljeća. U to su vrijeme postojala dva konkurentna pristupa definiciji normirane jedinice duljine. Astronom Christian Huygens (1629. – 1695.) predlagao je definiciju metra kao duljine njihala koje ima periodu od jedne sekunde; drugi su predlagali metar kao jednu milijuntinku duljine kvadranta Zemljina podnevnika (jedne četvrtine opsega Zemlje). Godine 1791. odmah nakon Francuske revolucije, Francuska akademija znanosti odabrala je podnevničku definiciju. Definicija koja bi se temeljila na periodi njihala nije prihvaćena zbog toga što se sila teža na površini Zemlje blago mijenja te tako utječe na promjenu periode njihala u različitim točkama na Zemljinoj površini. Francuska akademija znanosti 1735. i 1746. godine organizirala mjerenje Zemljinoga podnevnika u Peruu, odnosno Laponiji. Tako su dobiveni i prvi mjerni štapovi čija duljina proizlazi iz dimenzija Zemlje, poznati pod nazivima „hvat iz Perua“ (Toise du Perou) čija je duljina bila 1,949 090 m i „hvat sa sjevera“ (Toise du Nord). Treba napomenuti da su ta mjerenja bila provedena u prvome redu da bi se dokazao oblik Zemlje.

nja) jedinica metra i kilograma koje su 22. lipnja 1799. pohranjene u Arhivu Republike u Parizu<sup>5</sup>. Te je pramjere bilo moguće proizvesti na svakome mjestu na Zemlji i njihove vrijednosti prenijeti na mjerne instrumente. Kao jedinica vremena ozakonjena je astronomska sekunda jednaka 1/86400 srednjih sunčanih dana.

Međutim, pri magnetskim mjerenjima Gaussu i Weberu bilo je udobnije upotrebljavati nižekratnike jedinica metričkoga sustava, miligrame i milimetre. Stoga su kao osnovne mjerne jedinice predložili miligram, milimetar i sekundu. Taj je sustav nazivan „apsolutnim“.

Taj naziv, međutim, izaziva određene nedoumice u pogledu značenja riječi „apsolutni“. Kao što se vidi i iz naslova Gaussova rada, *Jakost zemaljske magnetske sile svedene na apsolutnu mjeru*, atribut „apsolutni“ zapravo znači samo da je Gauss magnetske veličine izrazio s pomoću triju osnovnih pramjera (etalona) mehaničkih veličina, a ne u odnosu na neku magnetsku veličinu uzetu kao pramjeru ili etalon. Gauss je u tome radu ujedno predložio da se i električne jedinice svedu na mehaničke. Tu je zadaću u praktičnome smislu riješio Weber.

Rad koji su započeli njemački znanstvenici C. F. Gauss i W. Weber nastavilo je Britansko društvo za promicanje znanosti (British Association for Advancement of Science, BAAS), čiji su članovi bili i čuveni znanstvenici Lord Kelvin (pravim imenom William Thomson (1824.–1907.)) i James Clerk Maxwell (1831.–1879.). BAAS je 1861. godine osnovao Odbor za električne etalone (engl. The Committee on Electrical Standards), kojemu je povjeren zadatak da prouči jedinice u području elektriciteta. Članovi toga odbora bili su fizičari svjetskoga glasa iz različitih zemalja, što je Odboru davalo karakter međunarodnoga autoriteta.

Taj je odbor gotovo pola stoljeća imao presudan utjecaj na razvoj sustava električnih mjerenja. On je djelovao od 1861. do 1870. godine, a ponovno je reaktiviran 1881. godine i djelovao sve do 1912. godine, kad je ta odgovornost prenesena na britanski Nacionalni fizikalni laboratorij. Pod vod-



Wilhelm Eduard Weber

<sup>5</sup>Te su pramjere odlukom 1. CGPM-a 1889. godine (CR, 34-38) zamijenjene novim međunarodnim pramjerama metra i kilograma izrađenim od slitine platine i iridija, koje su imale postojanije značajke.



Spomenik Lordu Kelvinu u Glasgou

svom Lorda Kelvina taj je odbor davao doprinose eksperimentalnomu i teorijskomu rješavanju tih problema. U svojemu prvom izvještaju iz 1862. godine on je utvrdio da bi bilo poželjno da odabrana jedinica koliko je to moguće ima pet sljedećih svojstava:

1. Vrijednosti jedinice trebale bi biti takve da budu prikladne za obična električna mjerenja bez potrebe da se upotrebljavaju veoma veliki brojevi ili brojevi s velikim brojem decimala.
2. Jedinica bi morala imati konačni odnos s jedinicama koje se mogu prihvatiti za mjerenje električnih veličina, struje i elektromotorne sile, ili drugim riječima ona bi morala biti dio cjelovitoga sustava električnih mjerenja.
3. Jedinica otpora, zajedno s drugim jedinicama sustava, mora koliko je to moguće, imati konačan odnos s jedinicom rada, važnom poveznicom svih fizičkih mjerenja.
4. Jedinica bi morala biti savršeno definirana kako ne bi bilo potrebno s vremena na vrijeme provoditi njezine ispravke ili izmjene.
5. Jedinica bi morala biti obnovljiva s velikom vjerošću kako bi se izvorni etalon mogao zamijeniti u slučaju da bude oštećen te kako bi mjeritelji koji ne mogu dobiti kopije etalona takve etalone mogli proizvesti bez veće pogreške.

Odbor nije našao ništa bolje od Gaussovih ideja o odabiru duljine, mase i vremena kao osnovnih veličina te povezivanju električnih i magnetskih jedinica s mehaničkim veličinama na temelju postupka mjerenja, pa je jedan od prvih rezultata rada Odbora bilo prihvaćanje (1863.) sustava koji se temeljio na tri *osnovne jedinice*: metru, gramu i sekundi. Kad je 1874. godine metar zamijenjen centimetrom, novi je sustav dobio naziv *apsolutni sustav CGS* (centimetar-gram-sekunda). On je općenito bio u uporabi sve do uvođenja sustava MKSA početkom 20. stoljeća.

Nakon prihvaćanja sustava CGS isti je Odbor također odlučilo (1874.) prihvatiti om kao jedinicu otpora te volt kao jedinicu elektromotorne sile (ems). Te su tzv. *praktične jedinice* uvedene u uporabu zbog neprikladnosti brojčanih vrijednosti nekih električnih jedinica u sustavu CGS.

Odabrane suvisle jedinice sustava CGS za područje elektriciteta i magnetizma pokazale su se neprikladnim tako da su 1880. godine BASS i Međunarodni elektrotehnički kongres (prethodnik IEC-a) odobrili međusobno suvisao sustav *praktičnih jedinica*. Među njima su bili om za električni otpor, volt za elektromotornu silu i amper za električnu struju.

Om je bio definiran kao  $10^9$  elektromagnetskih jedinica CGS-a, što je približno odgovaralo otporu živina stupca duljine 1 m i poprečnoga presjeka  $1 \text{ mm}^2$ . Volt je bio definiran kao  $10^8$  elektromagnetskih jedinica CGS-a, što je približno odgovaralo elektromotornoj sili Daniellova članka koji se u to doba općenito upotrebljavao u laboratorijima. Nadalje, bili su uvedeni predmetci za označavanje desetičnih višekratnika i nižekratnika mjernih jedinica u rasponu od  $10^6$  (mikro) do  $10^6$  (mega).

Premda je Odbor uveo određenu jasnoću u sustav električnih i magnetskih jedinica, nažalost u praksi uporaba takvih jedinica nije bila veoma udobna zbog toga što su se za neke vrijednosti veličina dobivale veoma velike, a za druge veoma male vrijednosti. Zbog toga je odlučeno da se zajedno s apsolutnim sustavom uvede tzv. *praktični sustav jedinica*, u kojemu je bilo moguće kao osnovne jedinice upotrebljavati i desetačne višekratne i desetične nižekratnike osnovnih jedinica apsolutnoga sustava. To je bilo velik korak naprijed.

Električne i magnetske pojave počele su nalaziti sve veće primjene u tehnici i u svakodnevnome životu te je bilo potrebno imati prikladne načine usporedbe različitih rezultata koji su se dobivali različitim istraživanjima. Prvi stručnjaci u području elektriciteta, posebno u telegrafiji, često su upotrebljavali improvizirane etalone otpora i napona. Stoga je rješenje britanskoga odbora bilo u središtu rasprava I. kongresa elektrotehničara u Parizu 1881. godine. Kako je kongres bio međunarodni, to su i rješenja koja je on prihvatio imala međunarodno značenje. Temelj za ta rješenja bio je prijedlog Britanske udruge za razvoj znanosti, tj. ideja koju su razradili Gauss i Weber.

Danas upotrebljavamo tzv. međunarodni sustav jedinica (*Le Systeme International d'Unites*, SI) koji je 1960. godine prihvatila 11. opća konferencija za utege i mjere (Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM) svojim 12. zaključkom (CR, 87). Osim toga, 11. je CGPM i postavio pravila za predmetke, izvedene i dopunske jedinice čime je uspostavljen cjelovit sustav pravila za mjerne jedinice. Od tada je na



James Clerk Maxwell.

idućim sastancima CGPM-a Međunarodnoga odbora za utege i mjere (Comité International des Poids et Mesures, CIPM) izvorni ustroj SI-ja upotpunjavan i po potrebi preinačivan kako bi se uzeo u obzir napredak znanosti i potrebe korisnika. Za razliku od sustava koji su mu prethodili u tome je sustavu povećan broj osnovnih veličina kako bi se u njega uključila sva područja fizike. Naime, prijašnji su sustavi jedinica bili prikladni za mjerenja u onim konkretnim područjima fizike za koja su se oni zapravo i izgrađivali. Za SI se zahtijevalo da bude univerzalan, jedinstven za sva po-

dručja fizike. Zbog toga je, kako bi se izbjegle podudarnosti dimenzija u različitim područjima fizičkih veličina, bilo potrebno povećati broj osnovnih veličina. Na taj je način u SI uključeno šest osnovnih jedinica – tri mehaničke, jedna elektromagnetska, jedna termodinamička i jedna optička, a u listopadu 1971. godine u njega je dodana još i sedma jedinica količine tvari – mol.

Naravno, zakoni fizike ne ovise o tome u kojemu se sustavu provode mjerenja, ali odabir prikladnijega sustava jedinica u velikoj mjeri pojednostavnjuje izračune.

## Literatura

- [1] Brošura: *Le Système international d'unités* (SI), BIPM (1996.), hrvatski prijevod *Međunarodni sustav jedinica* (SI), DZNM (1998.)
- [2] Brošura: *Le Système international d'unités* (SI), BIPM (2006.), hrvatski prijevod *Međunarodni sustav jedinica* (SI), DZM (2008.)
- [3] Hans Teichmann, brošura *1901–2001, Celebrating the Centenary of SI, Giovanni Giorgi's Contribution and Role of the IEC*, IEC (2001.), Ženeva
- [4] J. C. Maxwell, *Remarks on the Mathematical Classification of Physical Quantities*, Proceedings of the London Mathematical Society (1871.)
- [5] J. C. Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, McMillan and Co., London (1881.)



Laboratorij tvrtke Endress+Hauser d.o.o.  
akreditiran je od strane Hrvatske  
akreditacijske agencije za poslove  
umjeravanja i ispitivanja prema zahtjevima  
norme HRN EN ISO/IEC 17025:2007.



**Područje akreditacije/mjerno područje:**

- Ispitivanje protoka u tlačnim cjevovodnim sustavima od:

(DN 15 do/to DN 65) mm  
(0,52 do/to 2,5) m/s  
(0,1- 8,5) l/s

(DN 100 do/to DN 4000) mm  
(0,7 do/to 3,5) m/s  
(5,5 do/to 43400) l/s

- Umjeravanje protočnih mjerila obujma i mase od 80 do 28.000 kg/h
- Umjeravanje mjerila tlaka s direktnim očitanjem ili s električnim izlazom od -0,6 do 34 bar
- Umjeravanje termometara s direktnim pokazivanjem ili s električnim izlaznim signalom i otporničkim osjetilom od -20 do +150°C.



**Endress+Hauser d.o.o.**  
Jarušičica 23  
HR-10020 Zagreb  
[www.endress.com](http://www.endress.com)

Telefon: +385 1 6591 780  
Fax: +385 1 6591 790  
[info@hr.endress.com](mailto:info@hr.endress.com)  
[www.e-direct.endress.com/hr/](http://www.e-direct.endress.com/hr/)

**Endress+Hauser**   
People for Process Automation

# Giorgijev doprinos razvoju međunarodnoga sustava jedinica<sup>1</sup>

Mirko VUKOVIĆ, dipl. ing. el.

## Uvod<sup>2</sup>

U listopadu 1901. godine, talijanski znanstvenik i inženjer Giovanni Giorgi pokazao je na kongresu Talijanskog elektrotehničkog društva (Associazione Elettrotecnica Italiana, A.E.I.) u Rimu da bi se *suvisao sustav jedinica* mogao ostvariti dodavanjem jedne električne jedinice trima mehaničkim jedinicama (centimetru, gramu, sekundi) postojećeg CGS sustava. Taj se događaj može smatrati nastankom onoga što danas nazivamo međunarodnim sustavom jedinica (SI).

Nastanak SI-ja nerazdvojno je povezan s imenom prof. Giovannija Giorgija. On je anticipirao buduće potrebe i već 1901. godine dao ne samo prijedlog za suvisao sustav jedinica nego potpuno novo rješenje toga sustava. Premda je njegov prijedlog isprva nailazio na otpore i kritike, Giovanni Giorgi doživio je trenutak da su nakon višegodišnjih naizgled beskonačnih rasprava njegovi izvorni prijedlozi bili prihvaćeni bez većih promjena. Ostavština je Giovannija Giorgija iznimna. Nikad nije bila ugrožena nekim boljim sustavom; njegovo djelo međunarodni sustav jedinica (SI) trajno dokazuje svoju vrijednost.

## Povijesni prikaz razvoja međunarodnoga sustava jedinica

### Uloga Britanskoga društva za promicanje znanosti

Godine 1862. Britansko društvo za promicanje znanosti (British Association for Advancement of Science, BAAS) imenovalo je prvo povjerenstvo kojemu je povjeren zadatak da prouči elektrotehničke jedinice. To povjerenstvo, čiji su članovi bili fizičari svjetskoga glasa iz različitih zemalja te su mu dali nesumnjiv karakter međunarodnog autoriteta, nastavilo je rad koji su započeli njemački znanstvenici C. F. Gauss i W. Weber.

Jedno od prvih njegovih postignuća bilo je prihvaćanje (1863.) sustava koji se temeljio na tri **temeljne jedinice**: metru, gramu i sekundi. Kad je 1874. godine metar zamijenjen centimetrom novi je sustav dobio naziv **apsolutni CGS sustav**. On je općenito bio u uporabi sve do uvođenja **MKSA sustava** početkom 20. stoljeća.

Nakon prihvaćanja CGS sustava isto povjerenstvo također je odlučilo (1874.) prihvatiti om za jedinicu otpora i volt za jedinicu elektomotorne sile (ems).

<sup>1</sup> Članak je objavljen u Glasilu DZNM-a, br. 1, 2002. godine.

<sup>2</sup> Ovaj kratki prikaz doprinosa Giovannija Giorgija razvoju Međunarodnog sustava jedinica temelji se na brošuri IEC-a, 1901 – 2001 *Celebrating the Centenary of SI, Giovanni Giorgis Contribution and Role of the IEC* koju je napisao Hans Teichmann.

Te tzv. **praktične jedinice** uvedene su u uporabu zbog neprikladnosti veličoća nekih električnih jedinica u CGS sustavu.

Om je bio definiran kao  $10^9$  elektromagnetskih CGS jedinica, što je približno odgovaralo otporu živina stupca duljine 1 m i poprečnoga presjeka  $1 \text{ mm}^2$ . Volt je bio definiran kao  $10^8$  elektromagnetskih CGS jedinica, što je približno odgovaralo elektromotornoj sili Daniellova članka koji se u to doba općenito upotrebljavao u laboratorijima. Nadalje su za izražavanje višekratnika i nižekratnika jedinica bili uvedeni predmetci koji su se kretali od mega do mikro.

## Međunarodni elektrotehnički kongresi i osnutak IEC-a

Rad koji je na ujedinjavanju električnih i magnetskih jedinica započeo BAAS nastavio se na međunarodnim elektrotehničkim kongresima koji su se održavali između 1881. i 1904. godine. Posljednji je kongres održan nakratko prije osnivanja IEC-a.

U vrijeme prvoga međunarodnog elektrotehničkog kongresa 1881. godine u Parizu postojalo je u mnogim zemljama ništa manje nego 12 različitih jedinica elektromotorne sile, 10 različitih jedinica električne struje i 15 različitih jedinica otpora.

Glavni rezultat toga prvog kongresa bilo je službeno međunarodno prihvaćanje BAAS-ova prijedloga koji se odnosio na om i volt. Om je bio definiran kao „otpor živina stupca poprečnoga presjeka  $1 \text{ mm}^2$  i duljine 106 cm pri temperaturi tališta leda“. Također su bile definirane jedinice amper, kulon i farad.

Idući kongresi održavali su se 1891. (u Frankfurtu), 1892. (u Edinburghu), 1893. (u Chicagu), 1900. (ponovno u Parizu) i 1904. (u St. Louisu). Na kongresu u Chicagu utvrđena su pravila za fizičku reprezentaciju triju glavnih jedinica: oma, ampera i volta. Om i amper bili su definirani na temelju CGS elektromagnetskog sustava.

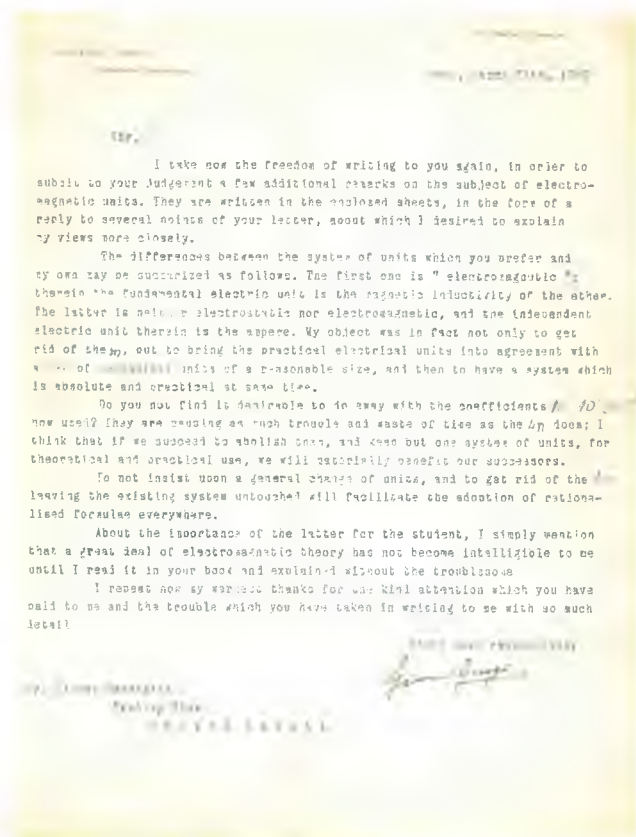
Kongres u Parizu (1900.) bavio se uglavnom spornim pitanjima magnetskih jedinica.

Na kongresu u St. Louisu dan je poticaj za osnivanje IEC-a. U stvari, predložena su dva stalna međunarodna povjerenstva čiji su zadatci bili redom proučavanje električnih jedinica i etalona i proučavanje nomenklature i značajka električnih strojeva i uređaja.

Očigledno su istodobno bile utvrđene dvije različite potrebe. Prvo, vlade su uvidjele da je radi trgovačkih transakcija i tržišta postalo potrebno poduzeti brzo službeno zajedničko djelovanje o veoma različitim jedinicama koje su bile u uporabi. Drugo, ta su povjerenstva osnovana zbog potrebe da se službeno za potrebe tržišta poduzmu zajednički koraci te da se osigura forum koji bi se sastojao od znanstvenika, a u kojem bi također bili zastupljeni proizvođači kao i učena društva koji bi bio odgovoran za proučavanje i uspostavljanje nazivlja za cjelokupno područje znanstvenih i tehničkih pojmova.

## Doprinos Maxwella i Heavisidea

Matematičku teoriju elektromagnetskih pojava na trodimenzijskoj osnovi formulirao je J. C. Maxwell 1873. godine, ali



Giorgijevo pismo O. Heavisideu

usprkos mnogim dobrim stranama njegov prikaz u određenoj je smislu bio navoljan. On je posebno razvio dva sustava kao proširenja CGS sustava u području elektriciteta: apsolutni elektrostatički sustav i apsolutni elektromagnetski sustav. Oni su se redom temeljili na odabiru permitivnosti u Coulombovu zakonu kao nedimenzijske veličine jednake 1 i odabiru permeabilnosti u zakonu magnetskog međudjelovanja kao nedimenzijske veličine jednake 1.

Ako se međutim dana fizička veličina mjeri u dva različita sustava jedinica, ona nema samo različite brojčane vrijednosti nego također i različite dimenzije. Te je činjenice istaknuo 1882. i kasnije O. Heaviside.

Najvažniji su Heavisideovi prigovori bili da u slučaju elektriciteta i magnetizma jakost električnoga polja i odgovarajuća gustoća tijeka moraju biti veličine s različitim dimenzijama. Permitivnost i permeabilnost bile su veličine s dimenzijom, a ne čisti brojevi. To znači da se Heavisideov prikaz odnosi u stvari na četiri dimenzije.

Heaviside je također kritizirao iracionalan način na koji se faktor  $4\pi$  pojavljuje ili ne pojavljuje u matematičkim formulama, implicirajući da bi se on trebao pojavljivati *samo* u jednadžbama koje se odnose na sfernu geometriju. On je predložio redefiniranje električnih i magnetskih jedinica umanjujući ih za faktor  $\sqrt{4\pi}$ , održavajući nepromjenjivom permitivnost i permeabilnost vakuuma. Naravno, taj postupak imao bi dramatične posljedice za druge veličine.

Početak devedesetih godina 19. stoljeća talijanski znanstvenik i inženjer Giovanni Giorgi shvatio je veliku važnost Heavisideovih ideja.

## Giorgijev doprinos međunarodnomu sustavu jedinica

Giorgi je nastavio razvijati gore spomenute Heavisideove ideje koje su postale temelj za razvoj novih logičkih opisa elektromagnetskih pojava i za poboljšavanje sustava jedinica.

Giorgi je već 1896. godine kritizirao osebujne dimenzije električnih veličina u trodimenzijskom sustavu. On se slagao s Heavisideom da permitivnost i permeabilnost izražavaju fizička svojstva medija. Zanimarivanje njihove dimenzije dovelo je do čudnih situacija, kao npr. da otpor ima dimenziju brzine ili njezine inverzne vrijednosti ili da samoindukcija ima dimenziju duljine.

Prema Giorgijevu mišljenju dimenzije bi trebale izražavati stvarnu prirodu fizičke veličine. On je uvidio potrebu da se – zajedno s osnovnim veličinama duljinom, masom i vremenom – uvede četvrta osnovna veličina električne prirode: „Očigledno je da uzimanjem električne struje kao temeljnoga pojma lako slijedi definicija svake elektromagnetske veličine“.

Velika je Giorgijeva zasluga što je pokazao da se „apsolutni“ sustav praktičnih jedinica može kombinirati s tri mehaničke jedinice: metrom, kilogramom i sekundom kako bi činili jedan suvisao četverodimenzijski sustav jedinica. Četiri jedinice – metar, kilogram, sekunda i npr. om ili amper – mogli bi se odabrati kao osnovne jedinice iz kojih bi se izvodile sve druge praktične jedinice. Taj prijedlog rezultirao je skladnom sintezom praktičnih električnih jedinica s prihvatljivim skupom mehaničkih jedinica.

Giorgi je također bio čvrst pristaša racionalizacije. Njegov je pristup zahtijevao samo minimum promjena u postojećim dogovorima o jedinicama. On nije preinačivao definicije električnog naboja ili magnetskoga tijeka, ograničujući promjene na permitivnost, permeabilnost, gustoću električnoga tijeka i jakost magnetskoga polja. To je dovelo do veoma zadovoljavajućeg rješenja, uključujući aspekt racionalizacije, te se time postiglo opće prihvaćanje četverodimenzijskog opisa elektromagnetizma.

Giorgijev se doprinos odnosi prema tomu osobito na četiri pitanja:

- ujedinjavanje elektrostatičkog i elektromagnetskog sustava
- uklanjanje potrebe za faktorima pretvorbe
- uklanjanje razlomačkih eksponenata iz dimenzijskih jednačaba
- zaključak da su permitivnost i permeabilnost fizičke veličine s dimenzijama (s jedinicama F/m i H/m).

Giorgijevi sveobuhvatni prijedlozi za preformulaciju teorije elektromagnetskih pojava kao četverodimenzijske teorije, racionalizaciju jednačaba i integriranje praktičnih i MKS jedinica u jedinstveni četverodimenzijski sustav jedinica naišlo je na povoljan prijam kod mnogih znanstvenika, uključujući S. P. Thompsona. Pa ipak, trebalo je proći više od 30 godina prije nego što su te ideje prihvatile odgovorne međunarodne organizacije.

## Uloga IEC-a u radu na veličinama i jedinicama

Odluka o osnivanju Međunarodnoga elektrotehničkog povjerenstva donesena je na Međunarodnome elektrotehničkom kongresu u St. Louisu 1904. godine. Kongres je preporučio „da se trebaju poduzeti koraci kako bi se osigurala suradnja tehničkih društava svijeta imenovanjem predstavnika u Povjerenstvo kako bi razmotrili pitanja normizacije nomenklature i nazivnih vrijednosti električnih uređaja i strojeva“.

Uvodni sastanak kojemu je predsjedao A. Siemens održan je 26. i 27. lipnja 1906. godine u Londonu pod pokroviteljstvom Britanskog instituta elektrotehničkih inženjera.

Od 16 država sudionica tri su bile izvanoeuropske zemlje: SAD, Kanada i Japan. Izaslanike su imenovala njihove nacionalne ustanove, ako su već postojale, odnosno vlade.

Za prvoga predsjednika izabran je 27. lipnja (službeni rođendan Povjerenstva) istaknuti fizičar Lord Kelvin.

Na prvome sastanku odobrena su pravila Povjerenstva, izmijenjeno je ime Povjerenstva kako bi se čitalo kao International Electrotechnical (umjesto Electrical) Commission, za glavnog tajnika imenovan je Ch. LeMaistre te je odlučeno da sjedište IEC-a bude u Londonu.

S vremenom se sve veća pozornost posvećivala stvaranju suvislog sustava jedinica za elektricitet; raspravljalo se o jedinici električne naravi. Osnovana su dva „povjerenstva“ IEC-a, i to Povjerenstvo za električne jedinice i etalone i Povjerenstvo za nomenkulturu i značajke električnih strojeva i uređaja.



Povjerenstvo za električne jedinice i njihove fizičke reprezentacije (etalone) sastalo se 1908. godine u Londonu.

Predstavnici nacionalnih ustanova ili vlada na toj konferenciji prihvatili su skup temeljnih jedinica, koje su definirane kao desetični višekratnici odgovarajućih elektromagnetskih CGS jedinica i još jednu stvarajući sustav za predstavljanje temeljnih jedinica koji je bio dostatan blizu temeljnim jedinicama kako bi služile za mjerenje.

Te su se međunarodne jedinice temeljile na „međunarodnome omu“, koji je bio definiran s pomoću živinog stupca i „međunarodnome amperu“, koji je bio definiran na temelju taloženja srebra djelovanjem električne struje.

Godine 1908. IEC je također započeo svoj rad na nazivlju u prvome imenovanom tehničkom odboru (TC 1) koji je bio nazvan Savjetodavnim odborom za nomenkulturu.

Tehnički odbor TC 1 bavio se sve do 1927. godine proučavanjem različitih neriješenih problema iz područja električnih i magnetskih veličina i jedinica. Otvorene su rasprave teoretske naravi u kojima su istaknuti elektroinženjeri i fizičari razmatrali jesu li jakost magnetskoga polja i gustoća magnetskoga tijeka ustvari veličine iste naravi. Kako su se neslaganja nastavljala IEC je odlučio naći lijek za to stanje. Dao je upute privremenoj radnoj skupini da to pitanje prouči u pripremi za idući sastanak.

Nakon intenzivne prepiske među njezinim članovima privremena je radna skupina između ostalog preporučila da se ispita bi li bilo prikladno uz CGS sustav odabrati kakav apsolutni i racionalizirani sustav za sve praktične jedinice. To je mogao biti sustav koji je 1901. godine predložio Giovanni Giorgi (metar, kilogram, sekunda, međunarodni om) ili Dellinger-Bennettov sustav (centimetar,  $10^{-7}$  grama, sekunda). Svaki od tih sustava imao bi prednost što bi se njime ukinuo tada postojeći skup elektromagnetskih i elektrostatičkih jedinica koje su se nalazile u CGS sustavu.

Svakim bi se sustavom također izbjegla potreba uvođenja neprikladnih koeficijenata  $c$ ,  $c^2$  ili njihovih recipročnih vrijednosti, pri čemu je  $c$  brzina širenja elektromagnetskih valova u vakuumu.

Godine 1930. u Stockholmu na temelju preporuka privremene radne skupine TC 1 donio je sljedeće odluke koje su bile prihvaćene iste godine u Oslu:

- 1) da se pitanje naziva koji treba dati magnetskim jedinicama ne smije razmatrati sve dok se ne postigne opći zaključak o njihovim definicijama
- 2) da formula  $B = \mu_0 H$  predstavlja suvremeni pojam fizičkog odnosa magnetskih stanja u vakuumu; u tome izrazu  $\mu_0$  ima fizičke dimenzije
- 3) u slučaju magnetskih tvari gornja formula postaje  $B = \mu H$ , u kojoj  $\mu$  ima istu dimenziju kao i  $\mu_0$ . Slijedi da je relativna permeabilnost magnetskih tvari jednaka broju  $\mu/\mu_0$ .

Te su odluke bile potkrijepljene prijedlozima za definiciju sljedećih magnetskih veličina:

- jakosti magnetskoga polja
- gustoće magnetskoga tijeka
- magnetskoga tijeka
- magnetomotorne sile
- magnetske permeabilnosti.

Pitanje razlike između naravi veličina  $H$ , jakosti magnetskoga polja, i  $B$ , gustoće magnetskoga tijeka, o kojem se mnogo raspravljalo, bilo je konačno riješeno. TC 1 tada je mogao prijeći na druga dva najvažnija pitanja: proširenje postojećeg sustava praktičnih jedinica u suvisao praktični sustav fizičkih jedinica i racionalizaciju elektromagnetskih jednačaba polja.

Godine 1931. TC 1 odlučio je izvršiti daljnju podjelu svojega područja proučavanja u tri kategorije:

- Odsjek A: Rječnik
- Odsjek B: Električne i magnetske veličine i jedinice
- Odsjek C: Slovni znakovi.

Na temelju rasprave o zaključku Američkog odbora Međunarodne udruge za čistu i primijenjenu fiziku (IUPAP) odsjek

B odbora TC 1 predložio je 1933. godine u Parizu zaključak da se CGS sustav jedinica zamijeni praktičnijim sustavom:

„Odsjek B Savjetodavnog odbora br. 1 o nomenklaturi, saslušavši s najvećim zanimanjem priopćenje g. Giorgija o MKS sustavu i podržavajući zaključak koji je prihvatio Američki odsjek Međunarodne udruge za čistu i primijenjenu fiziku (IUPAP), u Chicagu u lipnju 1933. godine, odlučuje pozvati nacionalne odbore da daju svoje mišljenje o proširenju niza praktičnih jedinica koje su se tada upotrebljavale u elektrotehnici njihovom ugradnjom u suvisao sustav koji kao temeljne jedinice duljine, mase i vremena ima metar, kilogram i sekundu, i kao četvrtu jedinicu otpora koja se izražava kao točan višekratnik  $10^9$  CGS elektromagnetske jedinice ili odgovarajuću vrijednost prostorne permeabilnosti vakuuma“.

Na sastanku u Scheveningenu 1935. godine TC 1 na temelju prijedloga njegova odsjeka B donio je gotovo jednodušnu odluku da se pod nazivom „Giorgijev sustav“ prihvati sustav s četiri osnovne jedinice koje se sastoje od metra, kilograma i sekunde i četvrte jedinice koju treba odabrati kasnije.

Sa stajališta važnosti pitanja kojima se bavio odsjek B također je 1935. godine odlučeno da se sva pitanja koja se odnose na veličine električnih i magnetskih veličina i jedinica povjere posebnom studijskom odboru koji je nazvan „Savjetodavnim odborom o električnim i magnetskim veličinama i jedinicama“ s brojem 24. Taj naziv sam po sebi jasno prikazuje djelokrug odbora TC 24.

Godine 1938. TC 24 održao je prvi sastanak u Torquayu. Taj se sastanak uglavnom odnosio na probleme odabira četvrte jedinice u Giorgijevu sustavu ili nalaženje veze između električnih i mehaničkih jedinica istog sustava. Kao veza preporučena je permeabilnost praznoga prostora s vrijednošću  $\mu_0 = 10^{-7}$  u neracionaliziranome sustavu ili  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m u racionaliziranome sustavu.

TC je također priznao da bi svaka od praktičnih jedinica koje su već u uporabi – om, amper, volt, farad, kulon i veber – mogla jednako poslužiti kao četvrta osnovna jedinica.

Na nesreću drugi svjetski rat prekinuo je rad IEC-a, uključujući i rad odbora TC 24. Ali na svojemu prvome poslijeratnom sastanku održanom u Parizu u srpnju 1950. godine odbor je konačno riješio pitanje odabira četvrte jedinice preporukom da to bude amper.

TC 24 također je imenovao odbor stručnjaka za proučavanje metoda „potpune“ racionalizacije, što znači racionalizaciju veličina i jedinica. Njihov prijedlog razmatrao je TC 24, a konačno ga je **u srpnju 1956. prihvatio IEC.**

U međuvremenu se u listopadu 1954. u Parizu sastala Deseta opća konferencija za utege i mjere (CGPM) i prihvatila sljedeće osnovne jedinice: metar (za duljinu), kilogram (za masu), sekundu (za vrijeme), amper (za električnu struju), Kelvinov stupanj (za termodinamičku temperaturu) i kandelu (za svjetlosnu jakost).

Na sastanku u Parizu u listopadu 1960. godine 11. CGPM odlučio je sustavu koji se temeljio na tim osnovnim jedinicama dati ime **Systeme International d'Unités** (međunarodni sustav jedinica) s međunarodnom oznakom SI.

CGPM je 1971. godine priznao potrebu za dodatnom osnovnom (sedmom) SI jedinicom: mol je jedinica za količinu tvari.

## Otpor prihvaćanju Giorgijeva sustava

Postavlja se pitanje zašto je prihvaćanje suvislog sustava jedinica prema prijedlogu G. Giorgija bilo tako sporo. Za razumijevanje pozadine tih otpora karakteristične su izjave dvojice američkih znanstvenika.

Tako je J. H. Dellinger (U. S. Bureau of Standards) 1916. godine napisao da unatoč tomu što se pokazalo „da je međunarodni sustav, koji se temelji na prikazivanju elektromagnetskog sustava, prikladan i zadovoljavajući sustav jedinica za svrhe električnih i magnetskih mjerenja“, „predložene promjene dijela ili svih jedinica ne daju prednosti koje bi opravdale zbrku i neprikladnost promjena jedinica kako se obično upotrebljavaju“.

R. T. Birge (SAD) 1935. godine je izjavio da se „čini da se IEC priklanja teoriji o apsolutnome karakteru dimenzija. Izglasavajući da su  $B$  i  $H$  različitoga fizičkog karaktera, IEC je očigledno pretpostavio, bez dodatne rasprave, da one prema tomu nužno imaju različite dimenzije; drugim riječima da njihov omjer ima fizičke dimenzije. Kad bi cijeli znanstveni svijet mogao samo jasno shvatiti da je karakter fizičke veličine stvar filozofije dok je pridijeljena dimenzija njezine jedinice samo stvar dogovora koji ima samo aritmetičko značenje, izbjegle bi se beskonačne i krajnje neplodne kontroverzije. U međuvremenu se jedino možemo nadati da stajalište IEC-a neće prihvatiti znanstvenici iz područja fizike.“

## Sadašnje stanje u IEC-u (rad tehničkog odbora IEC/TC 25)

Tehnički odbor IEC/TC 25 osnovan je 1935. godine. Njegovu je ime „Veličine i jedinice i njihovi slovni znakovi“. Budući da je naknado spojen s tehničkim odborom TC 24 i kao odbor s „vodoravnim“ odgovornostima (tj. da pokriva probleme šire naravi koje primjenjuju mnogi okomiti odbori ili odbori orijentirani na proizvod), TC 25 je trenutačno ovlašten za sva pitanja koja se odnose na SI.

Djelokrug je tehničkog odbora IEC/TC 25 priprema međunarodnih norma o veličinama i jedinicama koje se općenito upotrebljavaju u elektrotehnici i kritički pregled uporabe veličina i jedinica u normama IEC-a. Te se norme trebaju kad god je to moguće temeljiti na SI-u. Takve se norme mogu odnositi na definicije, nazive, slovne znakove i njihovu uporabu, na odnose u kojima se te veličine i jedinice pojavljuju te na znakove koji se u njima upotrebljavaju.

Tehnički odbor IEC/TC 25 tijesno surađuje s tehničkim odborom IEC/TC 1, *Nazivlje*, te tehnički surađuje s drugim organizacijama kao što su Međunarodni ured za utege i mjere (BIPM), ISO/TC 12 (*Veličine i jedinice*), Međunarodna telekomunikacijska udruga (ITU) i Međunarodna organizacija za zakonsko mjeriteljstvo (OIML).



## Zivot i djelo Giovannija Giorgija

Giovanni Giorgi rođen je 27. studenog 1871. godine u Lucci (Italija). Diplomirao je u Rimu 1893. godine iz područja tehnike. Preminuo je nesretnim slučajem 19. kolovoza 1950. godine u ljetovalištu Castiglioncello.

U svojoj iznimno bogatoj profesionalnoj karijeri Giorgi je obavljao niz važnih dužnosti. Od 1897. do 1906. godine bio je upravitelj različitih tvrtka koje su proizvodile elektrotehničku i strojarску opremu. Od 1906. do 1921. godine bio je ravnatelj tehničke službe grada Rima. Od 1910. radio je kao predavač, a kasnije i profesor u različitim visokoškolskim ustanovama (Sveučilištu u Rimu; Školi za zrakoplovne konstrukcije u Rimu; Kraljevskoj tehničkoj školi u Rimu; Kraljevskome sveučilištu u Cagliariju; Sveučilištu u Palermu). Godine 1935. i 1938. bio je talijanski izaslanik na sastancima IEC-a.

Radovi i interesi prof Giorgija odražavaju širinu njegova kulturnog i znanstvenog obzora. Oni obuhvaćaju brojne, iako ne uvijek međusobno povezane predmete.

Kao znanstvenik dao je doprinose u području primjene operacijskog računa u elektromagnetizmu, u području čiste i primijenjene matematike, analitičke mehanike i relativnosti (vodio je i prepisku s Einsteinom).

Na području umjetnosti autor je priloga u Enciclopediji Italiani koji se odnosi se na uporabu boja u srednjovjekovnoj i suvremnoj umjetnosti.

Kao inženjer bio je aktivan u različitim tehničkim područjima kao što su gradska i međugradska električna vuča i sustavi za razdiobu električne energije.

Bavio se i didaktičkim pitanjima, posebno metodama prenošenja znanstvenih i tehničkih znanja nespecijaliziranoj publici.

Autor je oko 350 znanstvenih/tehničkih članaka te nekoliko knjiga iz područja znanosti i tehnike.

## Metodologija tehničkog odbora TC 25

Da bi zemlje članice IEC-a i druge međunarodne organizacije prihvatile temeljne pojmove koje je razvio tehnički odbor IEC/TC 25, potrebno je postići potpun i iskren međunarodni konsenzus.

Treba napomenuti da između više od 60 zemalja članica IEC-a u radu tehničkog odbora TC 25 sudjeluje 17 članica kao P-članica (tj. članica koje sudjeluju s pravom glasa) te da zahtjeve za nove pojmove, uključujući veličine i jedinice i njihove slovne znakove, može podnijeti svaki pododbor TC/SC ili nacionalni odbor IEC-a. Nacrte dokumenata u odboru priprema voditelj projekta ili koja od radnih skupina tehničkog odbora TC 25 u kojoj mogu sudjelovati stručnjaci iz odgovarajućih tehničkih odbora/pododbor (TC/SC) i, ako je to potrebno, drugih organizacija. Nacionalni odbori savjetuju se sa svojim stručnjacima iz područja tehničkog odbora TC 25 i sa svim drugim podudarnim odborima koji su zainteresirani za to područje te podnose svoje primjedbe spojene u jedan dokument

Središnji ured IEC-a dobiveni nacrt šalje svim stranama kojih se to tiče, uključujući i druge međunarodne organizacije.

Prema tomu, daleko je od istine popularno vjerovanje da norme TC 25 odražavaju jedino stajalište nekolicine stručnjaka tehničkog odbora TC 25.

## Buduća publikacija ISO/IEC 80000<sup>3</sup>, *Veličine i jedinice*

Tehničko upravno vijeće Međunarodne organizacije za normizaciju (ISO) i Odbor za djelovanje IEC-a odobrili su usklađivanje dviju temeljnih publikacija koje se odnose na veličine i jedinice ISO 31, *Veličine i jedinice*, i IEC 60027, *Slovni znakovi u elektrotehnici*.

Te će dvije publikacije biti spojene u jednu usklađenu normu ISO/IEC 80000, *Veličine i jedinice*, čija je svrha usklađivanje svih bitnih međunarodnih norma ISO-a i IEC-a iz područja mjernih jedinica. Ona će se sastojati od 13 dijelova čiji će sadržaj odgovarati sadržaju postojećih norma ISO 31 i IEC 60027.

Nova norma neće imati zajednički dvostruki predmatak ISO/IEC nego će se za njezino označivanje upotrebljavati predmetci ISO, odnosno IEC.

Predsjednik tehničkog odbora IEC/TC 25 Anders J. Thor istaknuo je da postoje četiri sustava pisanja koja zaobilaze sve lingvističke zapreke bez obzira na upotrebljavanu abecesu. Ti su sustavi skup matematičkih znakova, Međunarodni sustav jedinica (SI), znakovi kemijskih elemenata i pisanje glazbenih nota.

Zbog toga je razumljiva važnost buduće publikacije ISO/IEC 80000 jer će ona obuhvaćati prva tri sustava. Izvan opsega buduće norme ISO/IEC 80000 ostat će samo glazba.

<sup>3</sup> Niz norma ISO/IEC 80000 prihvaćen je na međunarodnoj razini 2009. godine. U vrijeme pisanja ovog članka taj je niz norma bio u pripremi. (Napomena urednika)

# Metrologija, povijesno i sadašnje značenje toga pojma

---

Mirko VUKOVIĆ, dipl. ing. el.

---

**N**aziv „metrologija“ u njegovu suvremenome značenju „znanosti o mjerenju“ ušao je u uporabu tek otkad je utemeljen časopis *Metrologia* (1964. godine) kao službeno glasilo Međunarodnoga ureda za utege i mjere (Bureau International des Poids et Mesures; BIPM). Prije toga „metrologija“ i drugi nazivi koji su na sličan način izvedeni iz grčke riječi za mjeru (*metron*) upotrebljavali su se samo u povijesnim istraživanjima o utezima i mjerama. Nastankom metričkog sustava pojavila su se nova shvaćanja na temelju kojih se korjenito promijenilo značenje naziva *metrologija* koja su u konačnici dovela do holističkoga pristupa i prema tome osiguravaju preduvjete za ujednačenu primjenu metroloških načela u prirodnim znanostima i tehnici te se u skladu s tim tek u novije vrijeme naziv metrologija odnosi na *znanost o mjerenju*. Naziv odabran za novi časopis te njegovo svjetsko prihvatanje pridonijeli su brzom prihvatanju sadašnjega značenja *metrologije* te uvođenju *znanstvene metrologije* kao samostalne fizikalne discipline. Odgovarajuće izvedenice te riječi ušle su u gotovo sve europske jezike.

Prvi je naziv za mjerenje izveden iz grčke riječi *metron* (za mjeru) upotrijebio Alexis Jean Pierre Pauton (1732. – 1798.)<sup>(1)</sup> u svojem radu objavljen u Parizu 1780. godine pod naslovom: *Metrologie ou Traite des Mesures, Poids et Monnoies des Ancienes Peuples et des Modernes*. (Metrologija ili rasprava o utezima, mjerama i novcu u staro i novo doba.)

U uvodu Pauton između ostaloga kaže: „...prikazujemo ovaj rad pod naslovom *Metrologija* jer je ručno mjerenje u obliku usporedaba i izračunavanja u stvari njegov temelj i glavni cilj. I tko bi sumnjao da mjere čine temelj za odnose koje smo namijenili određivati? Zar to nije model prema kojemu se sve odvija u prirodi. Masa velike stvari nije ništa drugo nego kombinacija mnogo beskonačno malih stvari i bez njih velike stvari ne bi postojale. Prema tome, prvo ćemo obrađivati mjere sa svom pozornošću za koju se smatra da ta problematika zahtijeva, ili koja je osjetljiva, i tada istraživati veličinu država, njihova bogatstva i njihovu moć.”<sup>(2)</sup>

Pojam metrologija uveden je u engleski jezik 1816. godine knjigom koju je objavio Patrick Kelly<sup>(3)</sup> pod naslovom *Metrology; or an exposition of weights and measures* (*Metrologija ili izlaganje o utezima i mjerama*). Ta je opsežna kompilacija stranih utega, mjera i novčanih jedinica te pretvorba njihovih vrijednosti bila namijenjena za uporabu u vanjskoj trgovini.

---

<sup>1</sup> Alexis Jean Pierre Pauton (1732. – 1798.), francuski matematičar.

<sup>2</sup> Navedeni citat uzet je iz članka *Metrologija – sadašnje značenje povijesnog naziva*, autora Dietera Kinda i Heinza Lübbiga koji je objavljen u časopisu *Metrologia* 40 (2003) i čiji je prijevod na hrvatski jezik s odobrenjem uredništva toga časopisa objavljen Glasilu DZNM 10 – 12/2004.

<sup>3</sup> Patrick Kelly, britanski mjeritelj, najpoznatiji po svojoj komparativnoj studiji o utezima i mjerama koje je prikupio u svojim radovima *Universal Cambist* (1811) i *Oriental Metrology* (1832.). Kelly je bio uključen u uspostavljanje britanskoga sustava mjerenja preko *Zakona o utezima i mjerama* iz 1824. godine.



U njemačkoj se jezičnoj uporabi naziv *Metrologie* započeo pojavljivati tek u novije doba; umjesto njega upotrebljava se riječ *Messwesen*.

Činjenica da su se nazivi *metrologija*, *metrology*, *metrologie* ili *Metrologie* upotrebljavali od 18. stoljeća ne znači da su se sve do današnjih dana odnosili na *znanost o mjerenju*. Oni su se prije odnosili na povijesnu znanost, a *metrologija* se upotrebljavala kao sinonim za *utege i mjere*.

Promjena od povijesnoga opisa metrologije kao deskriptivne teorije o utezima i mjerama do konstruktivne znanstvene discipline postignuta je matematizacijom. Mjerenje znači usporedbu predmeta ili stanja predmeta s referencijom na odabranu fizikalnu veličinu. U fenomenologijskim nazivima mjerenje je prema tome preslikavanje vrijednosti posebne fizikalne veličine koje se određuje s pomoću mjernog uređaja. Ta je vrijednost povezana s definiranom jedinicom i određuje koliko

puta ta jedinica ide u tu vrijednost. Osim izmjerene vrijednosti neizbježna je sastavnica mjernog rezultata, postignuta mjerna nesigurnost.

U Hrvatskoj je u području utega i mjera umjesto naziva *metrologija* prihvaćen naziv *mjeriteljstvo*. Premda se tijekom bivše države u službenim dokumentima upotrebljavao naziv *metrologija*, uglavnom pod utjecajem Hrvatskog mjeriteljskog društva od 1990. naovamo (a neslužbeno i prije) u Hrvatskoj se upotrebljava naziv mjeriteljstvo koji je ušao i u ime odgovarajućega zavoda.

Argument za odabir naziva mjeriteljstvo uglavnom je bilo brkanje u nestručnim krugovima „metrologije“ i „meteorologije“. Svakako bi za opis znanosti o mjerenju bolji izbor bila hrvatska riječ „mjeroslovlje“ koja je doslovni prijevod naziva metrologija i koju je uveo B. Šulek, a upotrebljava se kao naziv za tu djelatnost i u Sloveniji.

# Prijestupna sekunda – njezin smisao i način uvođenja u vremensku ljestvicu

Mirko VUKOVIĆ, dipl. ing. el.

U skladu s odlukom Međunarodne službe za rotaciju Zemlje i referentni sustav brojenja (Bulletin IERS C-49 od 5. siječnja 2015. godine) u ponoć od 30 lipnja 2015. na 1. srpnja 2015. godine u 0 sati po svjetskome vremenu (u jedan sat po srednjoeuropskome vremenu) uvedena je u vremensku ljestvicu UTC-a dodatna sekunda u sve etalone vremena i sva sredstva prijenosa vremenskih signala.

## Prijestupna sekunda: zašto se i kako uvodi?

Kroz gotovo cijelu ljudsku povijest vrtnja Zemlje koja se manifestira kao prividno kretanje Sunca i zvijezda na nebeskome svodu služila je za mjerenje vremena mnogo preciznije od bilo kojega sata koji je izradio čovjek te se tradicionalno naš sustav mjerenja vremena temeljio na vrtnji Zemlje oko vlastite osi, tj. na duljini dana.

Dijeljenjem srednjega godišnjeg sunčanog dana s  $86\,400$  ( $24 \times 60 \times 60$ ) dobiva se sekunda tzv. *svjetskoga vremena* (engl.: Universal Time, UT). Ta se sekunda zaključkom 1. (PV, 25, 77) Međunarodnog odbora za utege i mjere (Comité International des Poids et Mesures; CIPM) iz 1956. godine definirana kao „ $1/31\,556\,925,974\,7$  dio tropske godine 1900. za siječanj 0 u 12 sati efemeridnog vremena“. Tu je definiciju odobrila svojim 9. zaključkom (CR, 86) 11. opća konferencija za utege i mjere (Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM) 1960. godine. Taj se vremenski odsječak sve do 1956. godine upotrebljavao kao osnovna jedinica vremena i frekvencije. Utvrđeno je međutim da u stvarnosti vrtnja Zemlje nije pravilna, njezina se brzina mijenja, a posebno stalno smanjenje brzine izaziva trcnje prouzročeno morskim mijenama. Na temelju prijedloga astronomske zajednice 1956. godine kao jedinica vremena prihvaćena je tzv. *efemeridna sekunda*<sup>1</sup>. Ona se određuje kao dio vremenskoga odsječka između dviju uzastopnih proljetnih ravnodnevnica (tropska godina), a smatralo se da je stabilnija te da se može bolje predviđati od sekunde svjetskoga vremena. Njezino je trajanje ugađano kako bi se izjednačilo s prosječnom vrijednošću sekunde svjetskoga vremena u razdoblju od 200 godina (između 1700. i 1900. godine). Zbog deceleracije vrtnje Zemlje efemeridna sekunda bila je kraća za  $(1,5 \text{ do } 3) \times 10^{-8}$  od stvarne sekunde svjetskoga vremena iz 1956. godine.

Kako se tijekom idućih godina „pravo“ trajanje efemeridne sekunde nikad nije moglo odrediti s točnošću većom od  $1 \times 10^{-8}$ , tom se novom definicijom nije postigao nikakav stvarni napredak. Zbog toga je odlučeno da se kao jedinica vremena prihvati atomska definicija sekunde koja se temeljila na posebnome frekvencijskom prijelazu između dviju energijskih razina cezijeva

<sup>1</sup> Naziv efemeridna sekunda (engl.: ephemeris second) dolazi od pojma astronomskih efemerida u kojima se objavljuju podatci o kretanjima nebeskih tjelesa.

atoma 133. Naime, 13. opća konferencija za utege i mjere svojim je zaključkom (CR, 103 i *Metrologia*, 1968, 4, 43) definirala sekundu kao „trajanje od 9 192 631 770 perioda zračenja koje odgovara prijelazu između dviju hiperfinskih razina osnovnoga stanja atoma cezija 133<sup>29</sup>“. Time je ukinut 1. zaključak koji je CIPM prihvatio na sastanku 1956. i 9. zaključak 11. CGPM-a. Ta je sekunda u skladu sa svojom definicijom iz 1967. godine prilagođena efemeridnoj sekundi te je zato bila ponovno nešto kraća od sekunde svjetskoga vremena. Razlika od oko  $24 \times 10^{-9}$  s između tih dviju sekunda (sekunde svjetskoga i sekunde atomskoga vremena) dovodi tijekom jedne godine do razlike u odgovarajućim vremenskim ljestvicama od oko tri četvrtine sekunde.

Od 1. siječnja 1958. godine može se govoriti o „atomskome vremenu“. Otada je stvorena vremenska ljestvica koja se temelji na očitanjima atomskih satova i naziva se *međunarodnim atomskim vremenom* (franc.: Temps Atomique International, TAI).

Početak ljestvice TAI podudara se s istim razdobljem u svjetskome vremenu, točnije sa *srednjim suncanim vremenom* UT1 na ništičnoj zemljopisnoj duljini (grinvički podnevnik) ispravljenoj za polarno kretanje. Kad bi TAI postao temelj za građansko vrijeme u svim vremenskim zonama u svijetu, mjesne bi se vremenske ljestvice postupno razilazile od srednjega sunčanog vremena. To bi bilo neprihvatljivo, te je umjesto nove vremenske ljestvice 1. siječnja 1972. godine stvoreno *usklađeno svjetsko vrijeme* (Coordinated Universal Time, UTC<sup>3</sup>). UTC je još uvijek temelj za građansko vrijeme, na primjer *srednjoeuropsko vrijeme* (Central European Time, CET) određuje se kao CET = UTC + 1 h.

Ljestvice UTC i TAI imaju istu jedinicu, ali se ljestvica UTC prilagođuje prema vremenu UT1 umetanjem *prijestupnih sekunda*, tako da (apsolutna) razlika UTC – UT1 nikad ne prelazi 0,9 s. Zbog toga se prijestupna sekunda ne umeće na unaprijed određen način, nego u skladu s izračunima vrtnje Zemlje. Ti se izračuni provode u središnjemu uredu *Međunarodne službe za vrtnju Zemlje* (International Earth Rotation Service, IERS). Prijestupne se sekunde umeću na kraju mjeseca lipnja ili prosinca u određenoj godini. Početak je odabran tako da bi 1. siječnja 1972. godine razlika TAI – UTC bila + 10 s. Ta je prva prijestupna sekunda umetnuta 1. srpnja 1972. godine, a 26. prijestupna sekunda umetnuta je 1. srpnja 2015. godine.

Međunarodna zajednica raspravlja o nizu mogućnosti za budući globalni sustava mjerenja vremena, od održavanja postojećega sustava s prijestupnom sekundom do potpunoga uklanjanja prijestupne sekunde te do sastavljanja prijestupnih sekunda u prijestupni sat koji bi se mnogo rjeđe dodavao. Konačnu odluku donijet će u budućnosti Radiokomunikacijski sektor Međunarodne telekomunikacijske unije (ITU-R) koji predstavlja gotovo sve narode svijeta.

<sup>2</sup> Na svojem sastanku 1997. godine CIPM je potvrdio da se ta definicija odnosi na cezijev atom u njegovu osnovnome stanju na termodinamičkoj temperaturi od 0 K.

<sup>3</sup> UTC je jezično neovisna pokrata; ona se naime ne podudara s prvim slovima riječi iz naziva usklađenoga svjetskog vremena na engleskome (Coordinated Universal Time) i francuskome jeziku (Temps universel coordonné), koji su službeni jezici u međunarodnim mjeriteljskim organizacijama.

# Novosti iz međunarodnog sustava jedinica

Mirko VUKOVIĆ, dipl. ing. el.  
mr. sc. Mladen JAKOVIĆ

U prosincu 2013. godine Međunarodni ured za utege i mjere (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM) objavio je uvodni dio nacrta 9. izdanja *SI brošure* kojim se daje prikaz budućega prerađenog međunarodnog sustava jedinica (*Systeme International d'unités*, SI) koji je uveden 1960. godine. Svrha je objave toga nacrta obavješćivanje šire mjeriteljske javnosti o predstojećoj preradbi te otvaranje rasprave o toj preradbi. Oslanjajući se na taj nacrt u ovom ćemo prikazu dati najvažnije podatke o prijedlogu preradbe SI-ja koji bi se ubuduće temeljio isključivo na prirodnim stalnicama.

Ostvarenja mjernih jedinica imaju ključnu važnost za funkcioniranje svjetskoga mjeriteljskog sustava. Stoga u okviru *Dogovora o metru* na međunarodnoj razini BIPM, Međunarodni odbor za utege i mjere (Comité International des Poids et Mesures, CIPM) i Savjetodavni odbor za jedinice (Comité Consultatif des Unités, CCU) trajno vode brigu o njegovu poboljšavanju. Službene definicije svih jedinica SI-ja odobrava Opća konferencija za utege i mjere (Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM). Stalno poboljšavanje SI-ja nužno je kako bi se pratio razvoj znanosti te omogućilo uvođenje naprednijih mjernih metoda.

Novo se definicije jedinica u pravilu uvode kad je na temelju znanstvenoga napretka moguće postići veće točnosti definiranja jedinica i njihova prenošenja na etalone i mjerila. Danas je znanstveni i tehnološki razvoj omogućio redefiniranje osnovnih jedinica SI-ja i njihovo ostvarenje s pomoću temeljnih prirodnih stalnica koje se smatraju točnim i stabilnim prirodnim invarijantama. Stoga je na temelju toga razvoja CGPM 2011. godine donio Rezoluciju 1 o preradbi SI-ja. Temeljem te rezolucije bit će provedena najvažnija preradba SI-ja od njegova uvođenja.

Glavni je razlog za predstojeću promjenu sustava bila želja da se definicija kilograma, koji je definiran kao masa jednoga predmeta (međunarodne pramjere kilograma) koji se čuva u BIPM-u, u Parizu, zamijeni novom definicijom koja bi se temeljila na nepromjenjivim prirodnim invarijantama. Premda ta pramjera služi svijetu od definiranja kilograma 1889. godine, njezino održavanje i uporaba čini velike poteškoće jer je ona zbog svoje jedinstvenosti postala neizmjerljivo vrijedna te se ne može često upotrebljavati zbog rizika od oštećenja i utjecaja atmosferskih onečišćenja na promjenu njezine mase, a osim toga dostupna je samo u BIPM-u. Nadalje, na temelju rezultata usporedbe velikoga broja nacionalnih etalona mase od platinoiridija, koje su provedene u BIPM-u, ne može se sa sigurnošću tvrditi da je masa međunarodne pramjere vremenski stalna, kako se pretpostavlja u definiciji kilograma<sup>1</sup>. Stoga bi bilo bolje imati etalone koji se temelje na temeljnim fizičkim invarijantama koje omogućuju stvaranje većega broja istovrijednih etalona više točnosti koje može razviti svaki dostatno mjerodavan laboratorij.

Ostvarenja etalona određenih mjernih jedinica (npr. sekunde, metra i nekih etalona u području elektriciteta) već se temelje na uporabi prirodnih stalnica.



Spomenik Maxu Plancku u Berlinu

<sup>1</sup> Prema današnjim procjenama klizenje mase prakilograma odvija se brzinom od  $5 \times 10^{-8}$  u razdoblju 50 do 100 godina.



Premda nove definicije mjernih jedinica ne će utjecati na svakodnevna mjerenja u trgovini i društvu, prednost novih definicija posebno je važna za istraživanje i primjenu znanosti. Druge su koristi u tome što bi načelno kilogram moglo ostvariti veći broj laboratorija u svijetu. Nadalje, iz njihove bi se definicije mogle izravno ostvariti mnoge druge jedinice SI-ja, čime bi se mogle postići više točnosti. Na primjer, osim stalnih vrijednosti Planckove stalnice, Boltzmannove stalnice i naboja elektrona, nova definicija mola s pomoću točno poznate vrijednosti Avogadrove stalnice znači da druge stalnice kao Faradayeva stalnica, plinska molarna stalnica, Stefan-Boltzmannova stalnica i molarni obujam idealnoga plina postaju točno poznate, što je važno u velikome broju područja u fizici i kemiji.

Vrijednosti temeljnih stalnica i faktora pretvorbe osigurava Odbor za podatke za znanost i tehniku (Committee on Data for Science and Technology, CODATA). CODATA izračunava vrijednosti svih temeljnih fizičkih stalnica na temelju najtočnijih dostupnih mjernih rezultata i dosljedno provjerava njihovu konzistentnost.

## Definicije jedinica SI-ja

U nastavku ćemo dati prikaz međunarodnoga sustava jedinica s pomoću definicijskih stalnica te prijedloge novih definicija osnovnih jedinica tog sustava u skladu s Rezolucijom 1 CGPM-a iz 2011. godine oslanjajući se u prvome redu na opis dan u nacrtu 9. izdanja SI brošure.

Jedinice SI-ja definirane su skupom formulacija kojima se specificiraju točne brojčane vrijednosti za svaku od sedam referentnih stalnica kad se te stalnice izražavaju jedinicama SI-ja. Te su *definijske stalnice* frekvencija hiperfinoga cijepanja osnovnoga stanja atoma cezija  $133 \Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$ , brzina svjetlosti u vakuumu  $c$ , Planckova stalnica  $h$ , elementarni naboj  $e$ , Boltzmannova stalnica  $k$ , Avogadrova stalnica  $N_A$  i svjetlosna djelotvornost jednobojnoga zračenja frekvencije  $540 \times 10^{12}$  herca,  $K_{\text{cd}}$ .

Uporaba sedam definicijskih stalnica za definiranje SI-ja ima najbolji fizički temelj, a ujedno je i najjednostavniji način za njegovo definiranje. Time se stvarno odvaja definiranje od praktičnoga ostvarenja jedinica. Za istu se definiciju praktična ostvarenja jedinica mogu uspostavljati različitim eksperimentalnim metodama.

U svim promjenama međunarodnoga sustava jedinica bitno je osigurati njegov kontinuitet odabirom brojčanih vrijednosti stalnica koje se pojavljuju u definicijama kako bi bile u skladu s prijašnjim definicijama u mjeri u kojoj to omogućuje napredak znanosti.

## Prikaz međunarodnoga sustava s pomoću sedam definicijskih stalnica<sup>2</sup>

Prema Rezoluciji 1 CGPM-a međunarodni sustav jedinica (SI) definira se kao sustav jedinica u kojem je:

- nepreturbirano temeljno stanje hiperfinoga cijepanja frekvencije cezijeva atoma  $133 \Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$ , jednako točno  $9\,192\,631\,770$  herca
- brzina svjetlosti u vakuumu  $c$  jednaka točno  $299\,792\,458$  metara u sekundi
- Planckova stalnica jednaka točno  $6,626\,069\,57 \times 10^{-34}$  džulsekunda
- elementarni naboj jednak točno  $1,602\,176\,565 \times 10^{-19}$  kulona
- Boltzmannova stalnica  $k$  jednaka točno  $1,380\,648\,8 \times 10^{-23}$  džula po kelvinu,
- Avogadrov broj  $N_A$  jednak točno  $6,022\,141\,29 \times 10^{23}$  recipročnih molova
- svjetlosna djelotvornost  $K_{\text{cd}}$  jednobojnoga zračenja frekvencije  $540 \times 10^{12}$  herca jednaka točno  $683$  lumena po vatu,

pri čemu su herc (Hz), džul (J), kulon (C), lumen (lm) i vat (W) povezani redom s jedinicama sekunda (s), metar (m), kilogram (kg), amper (A), kelvin (K), mol (mol) i kandela (cd) u skladu s odnosima  $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$  (za periodične pojave),  $\text{J} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$ ,  $\text{C} = \text{A s}$ ,  $\text{lm} = \text{cd sr}$  i  $\text{W} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$ .

## Ostvarenja definicija jedinica SI-ja

Vrijednosti tih sedam definicijskih stalnica smatraju se vremenski i prostorno nepromjenjivima. Vrijednost svake od tih sedam stalnica piše se kao umnožak brojčanoga koeficijenta i jedinice u obliku<sup>3</sup>:

$$Q = \{Q\}[Q]$$

pri čemu  $Q$  označuje vrijednost stalnice, a  $\{Q\}$  njezinu brojčanu vrijednost kad se ona izražava jedinicom  $[Q]$ . Ista vrijednost,  $Q$  može se izraziti s pomoću različitih brojčanih vrijednosti  $\{Q\}$  koje ovise o jedinici  $[Q]$  te je katkad za brojčanu

<sup>2</sup>Svi brojevi za definicijske stalnice koje se pojavljuju u nacrtu *SI brošure* temelje se na ugađanju vrijednosti temeljnih stalnica 2010 CODATA. U konačnoj verziji upotrebljavat će se brojevi koje odabere CGPM u vrijeme prihvaćanja novih definicija.

<sup>3</sup>Na primjer brzina svjetlosti u vakuumu prirodna je stalnica koja se označuje s  $c$ , čija je vrijednost u jedinicama SI-ja dana jednadžbom  $c = 299\,792\,458 \text{ m/s} = \{c\}[c]$  pri čemu je brojčana vrijednost  $\{c\} = 299\,792\,458$ , a jedinica  $[c] = \text{m/s}$ .

vrijednost prikladno upotrebljavati zapis  $\{Q\}_{[Q]}$  kako bi se istaknula njezina ovisnost o odabiru jedinice  $[Q]$ .

Prethodno danom definicijom međunarodnoga sustava jedinica specificiraju se točne brojčane vrijednosti svake od stalnica kad se njihove vrijednosti izražavaju odgovarajućom jedinicom SI-ja. Utvrđivanjem takve točne brojčane vrijednosti definira se jedinica jer umnožak te brojčane vrijednosti i jedinice mora biti jednak nepromjenjivoj vrijednosti stalnice. U tablici u nastavku dano je sedam jedinica SI-ja koje su definirane na taj način s pomoću svake od tih sedam stalnica. Tih je sedam stalnica odabrano tako da se svaka druga jedinica međunarodnoga sustava uvijek može napisati kao umnožak tih sedam stalnica. Prema tome brojčanim vrijednostima specificiranim u definiciji međunarodnoga sustava definirane su jedinice tih sedam definicijskih stalnica te neizravno i sve jedinice SI-ja.

### Sedam definicijskih stalnica SI-ja i odgovarajućih sedam jedinica kojima su definirane

Definicijska stalnica	Znak	Brojčana vrijednost	Jedinica
hiperfino cijepanje atoma Cs	$\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$	919 631 770	Hz = s <sup>-1</sup>
brzina svjetlosti u vakuumu	$c$	299 792 458	m/s
Planckova stalnica	$h$	$6,626\,069\,57 \times 10^{-34}$	J s = kg m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
elementarni naboj	$e$	$1,602\,176\,565 \times 10^{-19}$	C = A s
Boltzmannova stalnica	$k$	$1,380\,648\,8 \times 10^{-23}$	J/K
Avogadrova stalnica	$N_A$	$6,022\,141\,29 \times 10^{23}$	mol <sup>-1</sup>
svjetlosna djelotvornost	$K_{\text{cd}}$	683	lm/W

## Osnovne i izvedene jedinice

Dosadašnje definicije SI-ja temeljile su se na koncepciji utvrđivanja sedam osnovnih jedinica, sekunde s, metra m, kilograma kg, ampera A, kelvina K, mola mol i kandele cd, kojima odgovara sedam veličina: vrijeme, duljina, masa, električna struja, termodinamička temperatura, količina tvari i svjetlosna jakost. Sve su se izvedene jedinice onda definirane kao umnošci potencija osnovnih jedinica. Na taj su način definirane sve jedinice SI-ja.

U nastavku dajemo prikaz definicije sedam osnovnih jedinica SI-ja prema Rezoluciji 1 CGPM-a i s tumačenjima prema nacrtu 9. izdanja *SI brošure*.

## Jedinica vremena SI-ja, sekunda

Sekunda, znak s, jedinica je vremena SI-ja; njezin je iznos utvrđen fiksiranjem brojčane vrijednosti neperturbiranoga temeljnog stanja frekvencije hiperfinoga cijepanja atoma cezija 133 na točno 9 192 631 770 kad se ona izražava jedinicom SI-ja s<sup>-1</sup> koja je za periodične pojave jednaka Hz.

Prema tome imamo točan odnos  $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}} = 9\,192\,631\,770\text{ Hz}$ . Invertiranjem toga odnosa dobiva se izraz za jedi-

nicu sekundu s pomoću vrijednosti definicijske stalnice  $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$ :

$$\text{Hz} = \frac{\Delta\nu(^{133}\text{Cs})}{9\,192\,631\,770} \text{ ili } s = \frac{9\,192\,631\,770}{\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}}$$

Iz te definicije proizlazi da je sekunda jednaka trajanju od 9 192 631 770 perioda zračenja, koje odgovara prijelazu između dviju hiperfinih razina neperturbiranoga temeljnog stanja atoma cezija 133.

Svrha je referencije na neperturbirani atom kako bi bilo jasno da se definicija sekunde SI-ja temelji na cezijevu atomu koji nije perturbiran nikakvim vanjskim poljem kao zračenje crnoga tijela u okolišu. Frekvencije svih primarnih frekvencijskih etalona trebaju se prema tome ispraviti za pomak zbog zračenja u okolišu kako je utvrđeno na sastanku Savjetodavnog odbora za vrijeme i frekvenciju 1999. godine.

Tako definirana sekunda ispravno je vrijeme u smislu opće teorije relativnosti. Nclokalna vremenska ljestvica ljestvica je usklađenoga vremena. Međutim općenito jedinica takve ljestvice također se naziva „sekundom“. Kad je to slučaj nakon riječi „sekunda“ mora se nalaziti naziv vremenske ljestvice: npr. sekunda TCB-a (baricentričnog koordinatnog vremena koje se upotrebljava u Sunčevu sustavu). Jedinica ljestvice međunarodnog atomskog vremena TAI i usklađenoga svjetskog vremena UTC (koje se razlikuje od TAI-a za promjenjivi cijeli broj sekunda), koju je uspostavio BIPM, tj. sekunda TAI-a i UTC-a sekunda je ostvarena na rotacijskoj ekvipotencijalnoj površini bliskoj geoidu. Samo na toj površini podudara se sa sekundom kako je prethodno definirana.

CIPM je prihvatio različite sekundarne prikaze sekunde, koji se temelje na odabiru niza spektralnih linija atoma, iona ili molekula. Neperturbirane frekvencije tih linija mogu se odrediti s relativnom nesigurnošću jednakom definiciji sekunde na temelju <sup>133</sup>Cs hiperfinog cijepanja, ali se neke mogu obnoviti sa znatno manjom nesigurnošću.

## Jedinica duljine SI-ja, metar

Metar, znak m, jedinica je duljine SI-ja; njegov je iznos utvrđen fiksiranjem brojčane vrijednosti brzine svjetla u vakuumu tako da je jednaka točno 299 792 458 kad se ona izražava jedinicom SI-ja za brzinu m s<sup>-1</sup>.

Prema tome imamo točan odnos  $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$ . Invertiranjem toga odnosa dobivamo točan izraz za jedinicu metra s pomoću definicijskih stalnica  $c$  i  $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$ :

$$m = \left( \frac{c}{299\,792\,458} \right) s = 30,663\,318... \frac{c}{\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}}$$

Iz te definicije proizlazi da je metar jednak duljini puta što ga svjetlost prevali u vakuumu tijekom vremenskoga odsječka od 1/299 792 458 sekunda.

<sup>4</sup>Znak  $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$  se upotrebljava za označavanje vrijednosti frekvencije hiperfinog prijelaza u neperturbiranom temeljnom stanju

atoma cezija 133.

## Jedinica mase SI-ja, kilogram

Kilogram, znak kg, jedinica je SI-ja za masu; njegov je iznos utvrđen fiksiranjem brojčane vrijednosti Planckove stalnice na točan iznos od  $6,626\,069\,57 \times 10^{-34}$  kad se ona izražava jedinicom SI-ja za djelovanje  $J\ s = \text{kg}\ \text{m}^2\ \text{s}^{-1}$ .

Prema tome imamo točan odnos  $h = 6,626\,069\,57 \times 10^{-34}\ \text{kg}\ \text{m}^2\ \text{s}^{-1} = 6,626\,069\,57 \times 10^{-34}\ \text{J}\ \text{s}$ . Inverzijom te jednadžbe dobiva se točan izraz za kilogram s pomoću triju definicijskih stalnica  $h$ ,  $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$  i  $c$ :

$$\text{kg} = \left( \frac{h}{6,626\,069\,57 \times 10^{-34}} \right) \text{m}^2\ \text{s} = 1,475\,521\dots \times 10^{40} \frac{h\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}}{c^2}$$

Planckova stalnica prirodna je stalnica čija se vrijednost može izražavati kao umnožak broja i jedinice džulsekunda, pri čemu je  $J\ s = \text{kg}\ \text{m}^2\ \text{s}^{-1}$ . Posljedica je te definicije definiranje jedinice  $\text{kg}\ \text{m}^2\ \text{s}^{-1}$  (jedinice fizičkih veličina djelovanja i kutnoga momenta), a to zajedno s definicijama sekunde i metra dovodi do definicije jedinice mase izražane s pomoću vrijednosti Planckove stalnice  $h$ .

Napominjemo da se makroskopske mase mogu mjeriti s pomoću stalnice  $h$ , uporabom Josephsonova i kvantnog Hallova pojava zajedno s vatnom vagom ili s pomoću mase silicijeva atoma koja je točno poznata s pomoću  $h$  uporabom pristupa mjerenja gustoće kristala x-zrakama.

Broj za brojčanu vrijednost Planckove stalnice u definiciji odabran je tako da je u trenutku prihvatanja te definicije kilogram bio jednak masi međunarodne pramjere,  $m(\text{K}) = 1\ \text{kg}$ , u granicama od nekoliko dijelova u  $10^8$ , što je u to vrijeme bila nesigurnost sastavljenih najboljih procjena vrijednosti Planckove stalnice. Slijedom toga, sada je masa međunarodne pramjere veličina koju treba određivati pokusom.

## Jedinica električne struje SI-ja, amper

Amper, znak A, jedinica je električne struje SI-ja; njegov je iznos utvrđen fiksiranjem brojčane vrijednosti elementarnog naboja na točan iznos od  $1,602\,176\,565 \times 10^{-19}$  kad se ona izražava jedinicom SI-ja za električni naboj  $C = A\ s$ .

Prema tome imamo točan odnos  $e = 1,602\,176\,565 \times 10^{-19}\ C = 1,602\,176\,565 \times 10^{-19}\ A\ s$ . Inverzijom te jednadžbe dobivamo točan izraz za jedinicu amper s pomoću definicijskih stalnica  $e$  (<sup>5</sup>) i  $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$ :

$$A = \left( \frac{e}{1,602\,176\,565 \times 10^{-19}} \right) \text{s}^{-1} = 6,789\,687\dots \times 10^8 \Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}} e$$

<sup>5</sup> Znak  $e$  se upotrebljava za označavanje vrijednosti elementarnoga naboja koja je jednaka naboju protona.

Iz te definicije proizlazi da je amper jednak električnoj struji koja odgovara tijeku od  $1/(1,602\,176\,565 \times 10^{-19})$  elementarnih naboja u sekundi. Prijašnja definicija ampera koja se temeljila na sili između strujom protjecanih vodiča imala je za posljedicu fiksiranje vrijednosti magnetske stalnice  $\mu_0$  na točnu vrijednost od  $4\pi \times 10^{-7}\ \text{H}\ \text{m}^{-1} = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{N}\ \text{A}^{-2}$ , pri čemu H i N označuju suvisle izvedene jedinice redom henri i njutn. Novom se definicijom ampera umjesto vrijednost magnetske stalnice  $\mu_0$  utvrđuje vrijednost elementarnoga naboja  $e$  te, kao posljedica toga,  $\mu_0$  više nije točno poznata nego se mora odrediti pokusom. Iz toga također proizlazi da su otada električna stalnica  $\epsilon_0$  (koja se također naziva permitivnošću vakuuma), karakteristična impedancija vakuuma  $Z_0$  i admitancija vakuuma  $Y_0$  redom jednake  $1/\mu_0 c^2$ ,  $\mu_0 c$  i  $1/\mu_0 c$ , vrijednosti permitivnosti  $\epsilon_0$ ,  $Z_0$  i  $Y_0$  moraju se također odrediti pokusom te će biti podvrgnute istoj relativnoj nesigurnosti kao i  $\mu_0$  jer je  $c$  točno poznato. Umnožak  $\epsilon_0 \mu_0 = 1/c^2$  i količnik  $Z_0/\mu_0 = c$  ostaju točno poznati. Istodobno s prihvaćanjem nove definicije ampera, magnetska stalnica  $\mu_0$  postala je jednaka vrijednosti od  $4\pi \times 10^{-7}\ \text{H}/\text{m}$  s relativnom standardnom nesigurnošću manjom od  $1 \times 10^{-9}$ .

## Jedinica SI-ja termodinamičke temperature, kelvin

Kelvin, znak K, jedinica je SI-ja termodinamičke temperature; njegov je iznos utvrđen fiksiranjem brojčane vrijednosti Boltzmannove stalnice tako da bude jednaka točno  $1,380\,648\,8 \times 10^{-23}$  kad se ona izražava jedinicom SI-ja za energiju po termodinamičkoj temperaturi  $J\ \text{K}^{-1} = \text{kg}\ \text{m}^2\ \text{s}^{-2}\ \text{K}^{-1}$ .

Prema tome imamo točan odnos  $k = 1,380\,648\,8 \times 10^{-23}\ \text{J}/\text{K} = 1,380\,648\,8 \times 10^{-23}\ \text{kg}\ \text{m}^2\ \text{s}^{-2}\ \text{K}^{-1}$ . Invertiranjem te jednadžbe dobivamo točan izraz za kelvin s pomoću definicijskih stalnica  $k$ ,  $h$  i  $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$ .

$$K = \left( \frac{1,380\,648\,8}{k} \right) \text{kg}\ \text{m}^2\ \text{s}^{-2} = 2,266\,665\dots \frac{\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}} h}{k}$$

Iz te definicije proizlazi da je kelvin jednak promjeni termodinamičke temperature koja nastaje promjenom toplinske energije  $kT$  za  $1,380\,648\,8 \times 10^{-23}\ \text{J}$ .

Prijašnja se definicija kelvina temeljila na točnoj vrijednosti pripisanoj trojnoj točki vode  $T_{\text{TPW}}$ , tj. 273,16 K. Budući da se novom definicijom kelvina fiksira vrijednost stalnice  $k$  umjesto  $T_{\text{TPW}}$ ,  $T_{\text{TPW}}$  se mora odrediti pokusom, ali je u vrijeme prihvatanja nove definicije  $T_{\text{TPW}}$  bio jednak 273,16 K s relativnom standardnom nesigurnošću manjom od  $1 \times 10^{-6}$  koja se temeljila na mjerenjima stalnice  $k$  prije promjene definicije.

Zbog načina na koji su se obično definirale temperaturne ljestvice ostala je opća praksa da se termodinamička temperatura (znak  $T$ ) izražava s pomoću njezine razlike u odnosu prema referentnoj temperaturi  $T_0 = 273,15\ \text{K}$  (ledište vode). Ta se temperaturna razlika naziva Celzijevom temperaturom (znak  $t$ ) i definira veličinskom jednadžbom:  $t = T - T_0$ .

Jedinica je Celzijeva temperatura Celzijev stupanj (znak °C), koji je po definiciji po veličini jednak jedinici "kelvin". Temperaturna razlika ili interval može se izražavati u kelvinima ili Celzijevim stupnjevima, brojčana vrijednost razlike ostaje ista. Međutim, brojčana je vrijednost Celzijeva temperature koja se izražava Celzijevim stupnjevima povezana s brojčanom vrijednošću termodinamičke temperature izražene u kelvinima izrazom:  $t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15$ .

Kelvin i Celzijev stupanj također su jedinice međunarodne temperaturne ljestvice iz 1990. godine (ITS-90). ITS-90 definira dvije veličine  $T_{90}$  i  $t_{90}$  koje su tijesne aproksimacije odgovarajuće termodinamičke i Celzijeva temperature. Novom definicijom postaje mnogo jasnije da se termodinamička temperatura može izravno mjeriti u svakoj točki na ljestvici.

## Jedinica SI-ja za količinu tvari, mol

Mol, znak mol, jedinica je SI-ja za količinu tvari specificirane elementarne jedinice koja može biti atom, molekula, ion, elektron, neka druga čestica ili specificirana skupina takvih čestica; njegov iznos utvrđen je fiksiranjem brojčane vrijednosti Avogadrove stalnice na točnu vrijednost od  $N_A = 6,022\,141\,29 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ . Invertiranjem te jednadžbe dobivamo točan izraz za mol s pomoću definicijske stalnice  $N_A$ :

$$\text{mol} = \frac{6,022\,141\,29 \times 10^{23}}{N_A}$$

Iz te definicije proizlazi da je mol jednak količini tvari sustava koji sadržava  $6,022\,141\,29 \times 10^{23}$  specificiranih elementarnih jedinka.

Prethodna definicija mola također je fiksirala vrijednost molarne mase ugljika 12,  $M(^{12}\text{C})$  na točnu vrijednost od 0,012 kg/mol, ali sada  $M(^{12}\text{C})$  više nije točno poznat te se mora odrediti pokusom. Međutim, vrijednost odabrana za  $N_A$  takva je da je u vrijeme prihvaćanja nove definicije mola  $M(^{12}\text{C})$  bio jednak 0,012 kg/mol s relativnom standardnom nesigurnošću manjom od  $1 \times 10^{-9}$ .

Molarna masa nekoga atoma ili molekule  $X$  može se još uvijek dobiti iz relativne atomske mase iz jednadžbe:

$$M(X) = A_r(X)M(^{12}\text{C})/12 = A_r(X)M_u,$$

a molarna je masa nekoga atoma ili molekule  $X$  također povezana s masom elementarne jedinice  $m(X)$  odnosom:

$$M(X) = N_A m(X) = N_A A_r(X) m_u$$

U tim je jednadžbama  $M_u$  molarna masena stalnica jednaka  $M(^{12}\text{C})/12$ , a  $m_u$  je ujednačena atomska masena stalnica jednaka  $m(^{12}\text{C})/12$ . One su povezane Avogadrovom stalnicom preko odnosa:

$$M_u = N_A m_u$$

U nazivu *količina tvari* riječ *tvari* može se zbog jednostavnosti zamijeniti riječima kojima se specificira dotična tvar u nekoj posebnoj primjeni.

## Jedinica svjetlosne jakosti (kandela)

Kandela, znak cd, jedinica je svjetlosne jakosti u danome smjeru; njezin je iznos utvrđen fiksiranjem brojčane vrijednosti svjetlosne djelotvornosti jednobojnoga zračenja frekvencije  $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$  na točnu vrijednost od 683 kad se ona izražava s pomoću jedinice SI-ja  $\text{kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^3 \text{ cd sr} = \text{lm W}^{-1} = \text{cd sr W}^{-1}$ .

Tako imamo odnos  $K_{cd} = 683 \text{ lm/W} = 683 \text{ cd sr W}^{-1} = 683 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^3 \text{ cd sr}$  za jednobojno zračenje frekvencije  $\nu = 540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ . Taj se odnos može invertirati kako bi se dobio točan izraz za kandelu s pomoću definicijskih stalnica  $K_{cd}$ ,  $h$  i  $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$ :

$$\text{cd} = \left( \frac{K_{cd}}{683} \right) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-3} \text{ sr}^{-1} = 2,614\,830\dots 10^{10} \Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}} h K_{cd}$$

Iz te definicije proizlazi da je kandela jednaka svjetlosnoj jakosti u danome smjeru izvora koji emitira jednobojno zračenje frekvencije  $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$  i koji ima jakost zračenja u tome smjeru od  $(1/683) \text{ W/sr}$ .

## Odnosi između definicija osnovnih jedinica

Od prikazanih definicija samo su prva (za sekundu) i šesta (za mol) neovisne o drugim definicijama. U definiciji metra fiksiranjem brojčane vrijednosti brzine svjetlosti u vakuumu stvarno se definira jedinica brzine, m/s, tako da je za definiciju metra potrebna definicija sekunde. U definiciji jedinice mase fiksiranjem brojčane vrijednosti Planckove stalnice stvarno se definira jedinica djelovanja,  $J \text{ s} = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-1}$ , tako da se za definiciju kilograma zahtijevaju definicija metra i sekunde. U definiciji ampera fiksiranjem brojčane vrijednosti elementarnoga naboja stvarno se definira jedinica naboja – kulon,  $C = A \text{ s}$ , tako da se za definiciju ampera zahtijeva definicija sekunde. U definiciji kelvina fiksiranjem brojčane vrijednosti Boltzmannove stalnice stvarno se fiksira vrijednost jedinice energije po odsječku termodinamičke temperature,  $J \text{ K}^{-1} = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ K}^{-1}$ , tako da se za definiciju kelvina zahtijevaju definicije metra, kilograma i sekunde. I konačno u definiciji kandeले fiksiranjem brojčane vrijednosti svjetlosne djelotvornosti jednobojnog zračenja frekvencije od  $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$  stvarno se definira jedinica svjetlosne djelotvornosti – lumen po vatu,  $\text{lm W}^{-1} = \text{cd sr W}^{-1} = \text{kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^3 \text{ cd sr}$ , tako da se za definiciju kandeले zahtijevaju definicije metra, kilograma i sekunde.

Utuda proizlazi da se definicije sekunde, metra, kilograma, ampera, kelvina, mola i kandele moraju uzimati zajedno kao suvisla skupina formulacija za definicije osnovnih jedinica SI-ja i ne smiju se smatrati neovisnim definicijama pojedinačnih osnovnih jedinica. Svaka od sedam definicija osnovnih jedinica praćena je izrazom koji proizlazi iz definicije kad se ta jedinica izražava s pomoću sedam definicijskih stalnica.



## Definicije suvislih izvedenih jedinica SI-ja s pomoću definicijskih stalnica

Suvisle izvedene jedinice SI-ja definiraju se kao odgovarajući umnošci osnovnih jedinica SI-ja s broječanim faktorima jednakim jedan. Prema tome se definicija neke izvedene jedinice može prikazati kao broj pomnožen odgovarajućom kombinacijom sedam definicijskih stalnica sastavljanjem odgovarajućih jednačaba za osnovne jedinice s pomoću definicijskih stalnica.

## Narav sedam definicijskih stalnica

Sedam definicijskih stalnica odabrano je iz praktičnih razloga. Vjeruje se da su te stalnice vremenski i prostorno nepromjenjive, barem za sve predvidljive epohe i mjerna područja te one omogućuju izravna praktična ostvarenja.

Planckova stalnica  $h$  i brzina svjetlosti u vakuumu  $c$  ispravno su opisane kao temeljne. One određuju redom kvantna

djelovanja i svojstva prostora-vremena te jednako utječu na sve čestice i polja na svim ljestvicama i u svakome okolišu.

Nasuprot tome elementarni naboj  $e$  odgovara jakosti veze elektromagnetske sile preko stalnice fine strukture  $\alpha$ . Stalnica fine strukture  $\alpha$  samo je nedimenzijska stalnica za koju se može dobiti eksperimentalni dokaz njezine vremenske stabilnosti. Međutim, eksperimentalne granice najveće promjene stalnice  $\alpha$  tako su male da se može isključiti bilo kakav njezin učinak na predvidljiva mjerenja.

Temeljno stanje hiperfinoga cijepanja atoma cezija  $133\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$  ima karakter atomskoga parametra na koji može utjecati okoliš, kao što su elektromagnetska polja. Međutim taj prijelazni parametar je dobro razumljiv i stabilan u okviru zakona kvantne mehanike. On je također dobar izbor kao referentni prijelaz za praktična ostvarenja.

Boltzmannova stalnica  $k$  i Avogadrov broj  $N_A$  imaju karakter faktora pretvorbe za pretvorbu jedinice džula u kelvin za praktičnu termometriju i mola u jedinicu brojenja 1 za mjerenje količine tvari.

Svjetlosna djelotvornost  $K_{\text{cd}}$  tehnička je stalnica povezana s običnim spektralnim odzivom ljudskoga oka.

# Naziv mjerne jedinice *volt*

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ

Nazivi mjernih jedinica po znamenitim znanstvenicima pojavili su se sredinom 19. st. (*volt, om, simens, amper, farad* i dr.). Ti se nazivi mogu razvrstati u tri skupine. U jednoj su nazivi po znanstvenicima koji su imali nesreću da su po njima nazvane jedinice starih sustava, koji su napušteni u 2. polovici 20. st., usvajanjem *međunarodnoga sustava SI* (*meksvel, ersted, kiri* i dr.). U drugoj su skupini znanstvenici po kojima su nazvane napuštene jedinice, ali su ponovno nazvane neke nove jedinice (*simens* i *veber*). U trećoj su skupini nazivi koji su prihvaćeni kao nazivi SI jedinica u trenutku njegova osnivanja (*volt, om, amper, njutn, tesla* i dr.) ili su naknadno prihvaćeni (*paskal, grej, sivert* i dr.).

Danas međunarodni sustav ima 19 mjernih jedinica s posebnim nazivima i znakovima po znamenitim znanstvenicima (2 osnovne, 1 posebna i 16 izvedenih jedinica). Od iznimno dopuštenih jedinica izvan SI-ja samo je jedna nazvana po znanstveniku (*dalton*), dakle danas je ukupno 20 zakonitih mjernih jedinica nazvanih po osobama<sup>1</sup>.

Nazive jedinica prema prijedlozima stručnih tijela donose mjerodavne međunarodne organizacije. Od *Konvencije o metru* to je *Opća konferencija za mjere i utege* (CGPM).

Povijest je nekih naziva vrlo zanimljiva. Neki su usvojeni nakon dugih i burnih rasprava jer su to priznanja ne samo tim znanstvenicima, nego i sredinama, zemljama i narodima iz kojih potječu. Raspored tih naziva, jednako kao i u mnogim drugim područjima ljudskoga djelovanja, ne slijedi samo iz znanstvenoga doprinosa, nego često iz utjecaja u međunarodnim tijelima. Zanimljivo je da je među njima samo jedan Slaven (N. Tesla, koji je sav radni vijek proveo u SAD-u), samo jedan znanstvenik potječe izvan današnje Europske unije (J. Henry), a među njima nema ni jedne znanstvenice. U tome krugu *besmrtnika* nema ni takvih znanstvenika kao što su R. Bošković, Mihail Vasiljevič Lomonosov, Dmitrij Ivanović Mendeljejev ili neki drugi (iako su postojali prijedlozi). Jedina znanstvenica Maria Skłodowska Curie, podrijetlom Poljakinja, ušla je zajedno sa svojim mužem Pierreom preko njegova francuskoga prezimena u naziv zastarjele mjerne jedinice *kiri*.

Za nazivanje, definiranje i usvajanje mjernih jedinica u elektromagnetizmu, u kojemu je sve i počelo u drugoj polovici 19. st., osobito je zaslužna *Britanska udruga za unapređenje znanosti* (BAAS, prema engl. *The British Association for the Advancement of Science*), u kojoj su surađivali vrhunski znanstvenici, kao što su lord Kelvin, J. C. Maxwell, J. P. Joule, E. W. Siemens i dr. BAAS je 1863. godine osnovao *BA sustav* mjernih jedinica elektromagnetizma na osnovnim jedinicama: duljine *metar*, mase *gram* i vremena *sekunda* (MGS sastav). Lord Kelvin je 1873. godine predložio da se za osnovnu jedinicu duljine odabere *centimetar*. Tako je nastao *centimetar – gram – sekunda* sustav mjernih jedinica, većinom nazivan *CGS sustavom*. BAAS je osnovao *sustav praktičnih jedinica elektromagnetizma* s osnovnim jedinicama: električnoga otpora *om* ( $\Omega$ ), napona *volt* (V) i struje *veber* (W), koje su povezane jednostavnom relacijom  $W = V/\Omega$ .

Mjerne su jedinice od pamtvijeka imale nazive, većinom prema podrijetlu, pramjeri na koju su se oslanjale ili prema pripadnoj mjernoj veličini (*kalorija, erg, din, radijan* i dr.) Tako su antropometrijske jedinice duljine imale nazive *palac, pedalj, stopa, lakat* itd., jedinice obujma *pinta, vjetro i sl.* Pridjevi su im često bili prema gradu ili zemlji u kojoj su nastali (*dubrovački lakat, bečka pinta, turska oka* i dr.) ili po autoritetu kojim su potkrijepljene (*kraljevski, carski, hramski* i dr.).

<sup>1</sup> Prema našem *Pravilniku* [5].

<sup>2</sup> Tu jedinicu *veber* ne smije se miješati s današnjom istoimenom SI jedinicom, niti ovdje uporabljen njezin znak W s znakom današnje SI jedinice *vat*.

Raspodjela znanstvenika po zemljama pokazana je u tablici:

#### RASPODJELA ZNANSTVENIKA PO ZEMLJAMA

Broj mjernih jedinica	Zemlja iz koje potječe znanstvenik	Nazivi zakonitih mjernih jedinica i znanstvenici
6	Engleska	<i>dalton</i> (John Dalton) <i>grej</i> (Louis Harold Gray) <i>džul</i> (James Prescott Joule) <i>farad</i> (Michael Faraday) <i>kelvin</i> (lord Kelvin) <i>njutn</i> (Isaak Newton)
4	Francuska	<i>amper</i> (Andre-Marie Ampère) <i>bekerel</i> (Antoine Henry Becquerel) <i>kulon</i> (Charles-Augustin de Coulomb) <i>paskal</i> (Blaise Pascal)
4	Njemačka	<i>herc</i> (Heinrich Hertz) <i>om</i> (Georg Simon Ohm) <i>simens</i> (Ernst Werner von Siemens) <i>veber</i> (Wilhelm Weber)
2	Švedska	<i>Celzijev stupanj</i> ((Anders Celsius) <i>sivert</i> (Rolf Sievert)
1	Hrvatska	<i>tesla</i> (Nikola Tesla)
1	Italija	<i>volt</i> (Alessandro Volta)
1	SAD	<i>henri</i> (Joseph Henry)
1	Škotska	<i>vat</i> (James Watt)

Prvo su međunarodno prihvaćene nazive dobile mjerne jedinice *volt*, *om* i *amper*, potom *kulon*, *farad*, *henri*, *džul* i *vat*, a postupno i druge. Mjerne jedinice po godinama međunarodnoga prihvaćanja prikazane su u tablici.

#### MJERNE JEDINICE PO GODINAMA MEĐUNARODNOGA PRIHVAĆANJA

Godina međunarodnoga prihvaćanja (podebljano kao SI jedinice)	Nazivi mjernih jedinica
1881., <b>1960.</b>	amper farad kulon om volt
1889., <b>1960.</b>	džul henri vat
1930., <b>1960.</b>	herc
1938., <b>1960.</b>	veber
1948., <b>1960.</b>	njutn
1948., <b>1967.</b>	stupanj Kelvina, od 1967. god. kelvin
1956., <b>1960.</b>	Celzijev stupanj
1956., <b>1960.</b>	tesla
1971.	paskal simens
1975.	bekerel grej
1979.	sivert
1993., (2006. iznimno dopuštena izvan SI)	dalton

Kao što se vidi iz tablice, SI jedinice dobile su nazive u razdoblju od jednoga stoljeća, a već više od tri desetljeća nije dobila naziv ni jedna SI jedinica. Postoji stanovita bojazan da bi se davanjem novih naziva nenadzirano povećao broj jedinica s posebnim nazivima i znakovima.

U povijest je otišlo pedesetak naziva mjernih jedinica ili mjernih ljestvica (razni stupnjevi) nazvanih po znanstvenicima. Neki od njih nisu nikada općenito prihvaćeni, pa su zaboravljeni, drugi su otišli u povijest jer su te jedinice zastarjele.

Tako su, na žalost, napušteni nazivi po nekim iznimno zaslužnim znanstvenicima kao što su Niels Bohr, Hans Cristian Oersted, Enrico Fermi, Galileo Galilei, Carl Friedrich Gauss, suprugi Pierre i Maria Curie, James Clerk Maxwell, Wilhelm Conrad Röntgen i dr.

U sljedećim će se nastavcima dati kratki radni životopisi pojedinih znanstvenika i pojednostavljeno opisati povijest međunarodnoga usvajanja nekih od jedinica nazvanih po znanstvenicima.

Valja napomenuti kako su nazivi, znakovi i pridjevci povijesnih jedinica tijekom njihova razvoja, osobito *volta*, *oma* i *ampera*, u literaturi prilično različiti. Na pojedinom stupnju razvoja nazivaju se *apsolutnim*, *praktičnim*, *internacionalnim*, *normiranim*, *novim*, a kako su ulazile u zakone pojedinih zemalja i *legalnim* ili *zakonitim*. Neke su se rabile u tzv. *tehničkom sustavu*, iako taj skup jedinica nikada nije bio usustavljen, pa su se takve nazivale i *tehničkim jedinicama*. U ovom se prikazu uglavnom rabe nazivi, znakovi i pridjevci prema izvoru [3].

## Naziv mjerne jedinice *volt*

Mjerna jedinica napona mogla se ostvariti pojavom prvih galvanskih članaka koji održavaju stalni napon između njihovih polova te zatvaranjem strujnoga kruga uzrokuju električnu struju. Stoga je razumljivo da je mjerna jedinica napona nazvana po Volti, izumitelju prvoga galvanskog članka.

**Volt** (znak V) mjerna je jedinica napona, razlike potencijala i elektromotorne sile, danas je jedna od sastavnica *međunarodnog sustava mjernih jedinica* (SI). Nazvan je po A. Volti, a najstarija je mjerna jedinica nazvana po nekom znanstveniku.



**Alessandro Volta** (Como, 18. veljače 1745. – Como, 5. ožujka 1827.), talijanski fizičar i izumitelj, među ostalim istraživao je električne pojave, konstruirao „spremište“ statičkoga elektriciteta *elektrofor*, potom 1780. godine električni kondenzator. Volta se osobito proslavio tumačenjem pojava na tkivu živoga podrijetla, koje je krajem 18. st. zamijetio talijanski liječnik Luigi Galvani (1737. – 1798.).

Očišćeni žablji kraci, inače kulinarski specijalitet, trzali su se pri dodiru s kovinskim predmetima. Galvani je tu pojavu pripisao nekom „životnom elektricitetu“, poslije nazvanu *galvanizmom*. Volta je ustanovio kako je to elektrokemijska pojava između kovine i zakseljene kapljevine (koju je sadržavalo tkivo), poslije nazvane *elektrolitom*. Konstruirao je 1800. god. vrlo jednostavnu napravu na osnovi primjene *galvanizma*, prvi *galvanski članak*. Bio je to slog dviju pločica od različitih kovina, tzv. *elektroda* (bili su to cink i bakar) između kojih je bio pust natopljen elektrolitom (bila je to razrijeđena sumporna kiselina).

Elektrokemijskim reakcijama između kovinske elektrode i elektrolita one su na stalnim različitim električnim potencijalima. Zatvaranjem strujnog kruga preko vodiča ta *razlika električnih potencijala* prouzročuju električnu struju, pa je tako galvanski članak izvor električne struje. Uzrok pokretanja naboja prvotno je nazvan *elektromotornom silom* jer se mislilo na neku „silu“ koja pokreće naboje. Taj se neispravan naziv u tragovima nalazi i danas jer da je sila, mjerna jedinica bi bila *njutn*. Riječ je o *razlici električnih potencijala* između dviju točaka, dakle o razlici omjera energija i naboja.

Taj je galvanski članak poslije nazvan *Voltinim člankom*. Njegov je napon<sup>3</sup> reda vrijednosti jednoga današnjeg volta. Volta je ustanovio kako se serijskim slaganjem više članaka naponi zbrajaju. Tako je načinio prvu *električnu bateriju*<sup>4</sup> galvanskih članaka, prvotno nazivanu *Voltinim stupom*, koje je napon toliko puta viši koliko je članaka spojeno.

S tom je baterijom Volta obavljao mnoge pokuse s električnom strujom. Između ostaloga je uspostavljao stalnu električnu iskrnu između ugljenih štapića koji se gotovo dodiruju, poslije nazvanu *Voltinim lukom*. Unutar uspostavljenoga luka užareni su plinovi na vrlo visokoj temperaturi koji su izvor jake, gotovo bijele svjetlosti i ultraljubičastoga zračenja. Voltin je luk osnova *lučnice*, prve električne svjetiljke prije izuma žarulje i drugih električnih svjetilja. Lučnica se za posebne namjene rabila do u drugu polovicu 20. st., a njezina inačica s posebnim elektrodama i danas se rabi za električno zavaranje.

Do Voltina članka električni su se pokusi obavljali samo sa statičkim elektricitetom nastalim trljanjem smolastih tvari. Voltin je članak omogućio održavanje stalnoga električnog napona između dviju elektroda, a time i mogućnost stalne električne struje. Volta je tim izumima postao slavan. Koliko je to bio važan izum, svjedoči i to što je Voltino predavanje pred *Francuskom akademijom* u Parizu 1801. god. slušao i Napoleon Bonaparte, tada još konzul, te potom Volti dodijelio grofovski naslov i odličje *Legije časti*.

Na početku 19. st. naziv *električan* rabio se za elektrostatičke pojave, a stalna istosmjerna električna struja (tada samo iz galvanskih članaka) nazivala se prema prijedlogu A. von Humbolta *galvanizmom*. To nije prihvaćeno, ali su se do danas zadržali neki, tada nastali nazivi: *galvanska struja*, *galvanska veza*, *galvanoskop*, *galvanometar*, *galvanizacija*, *galvanoplastika* i dr.

Voltin članak imao je i velik nedostatak. Nakon nekoliko desetaka minuta elektrode su se polarizirale pri tijeku struje zbog kemijskih reakcija s elektrolitom, napon je postajao sve niži, pa članak gotovo neupotrebljiv. Zato se nastojalo načini galvanski članak u kojem se izbjegava ili makar usporava polarizacija elektroda zbog toka električne struje. Tijekom 19. st. konstruirani su i patentirani brojni galvanski članci, koji

su nazivani po njihovim izumiteljima. Bili su vrlo važni izvori električne struje u prvih stotinjak godina praktične uporabe elektriciteta. Većinom su to bile staklene posude s elektrolitom u koji su bile uronjene elektrode s raznim dodatcima i dosjetkama kojima je sprječavana polarizacija. Današnje električne baterije i akumulatori slijednici su tih prvih galvanskih članaka.



*Voltin stup – prva električna baterija*

Među njima se za praktičnu uporabu isticao jednostavan, a prilično pouzdan članak koji je 1836. godine konstruirao J. F. Daniell<sup>5</sup>. U *Daniellovu članku* bakrena je elektroda bila uronjena u elektrolit od bakrenoga sulfata, cinkova u elektrolit od cinkova sulfata, a elektroliti su bili odijeljeni polupropusnom membranom. Tako je znatno smanjena nepoželjna polarizacija elektroda.

Napon je Daniellova članka oko 1,1 V. Ta je vrijednost povijesno zanimljiva jer je napon baterije od stotinu članaka, dakle 110 V, postao prvo običajem, a potom normom gradske energetske mreže na početcima elektrifikacije (što je i danas u nekim zemljama, npr. u SAD-u), a dvostruko je 220 V, što je donedavno bila norma u Europi<sup>6</sup>. Daniellov se članak više od stoljeća rabio za baterije telegrafskih i telefonskih postaja te kućanskih instalacija (zvona, kućnih telefona, pričuvne rasvjete i sl.).

## Povijest mjerne jedinice volt

Volt je primjer kako su nazivi pramjera bili poticaj za nazivanje mjernih jedinica po znanstvenicima. Jedinice pojedinih veličina nazivane su početkom 19. st. prema pripadnim veličinama. Tako su se u neovisnim sustavima jedinica elektriciteta (CGS<sub>e</sub> sustav) i elektromagnetizma (CGS<sub>m</sub> sustav) različite jedinice električnoga napona jednostavno nazivale „električna apsolutna jedinica napona“ odnosno „magnetska apsolutna jedinica napona“. Te su jedinice bile vrlo malene te nespretne za uporabu u praktičnoj elektrotehnici.

Kao pramjera (etalon, normala) napona za praktičnu uporabu služili su u laboratorijima i radionicama galvanski članci kojima je elektromotorna sila reda vrijednosti jednoga današnjeg volta. Od 1836. godine ponajviše je za to služio *Daniellov članak* s naponom od oko 10<sup>8</sup> apsolutnih jedinica napona ( $U_0 = 1,09$  današnjih volta).

Elektrotehničari su, sjećajući se kako galvanski članci potječu od Volte, „praktičnu jedinicu“ *napona* u prvim desetljećima 19. st. spontano počeli nazivati *voltom*.

Nama je teško danas zamisliti kako se oko 1880. godine u svijetu rabilo najmanje 12 različitih jedinica napona! Stoga je

<sup>3</sup> Misli se na napon neopterećenoga izvora, dakle na *napon praznoga hoda* ili *pranapon*, obično označavan  $U_0$ , u prošlosti nazivan *elektromotornom silom* (označavan E ili EMS).

<sup>4</sup> *Baterija* je općenito uređeni skup nekih tehničkih naprava, a u vojnoj je tehnici *bitnica* ili *baterija* skup artiljerijskih oružja. U užemu smislu *baterija* je kraći naziv za *električnu bateriju*, skup povezanih izvora električne struje.

<sup>5</sup> John Frederic Daniell (12. ožujka 1790. – 13. ožujka 1845.), britanski kemičar i meteorolog.

<sup>6</sup> Danas je fazni napon gradske energetske mreže u Europi normiran na 230 V.

Razvoj mjerne jedinice *volt* pojednostavnjeno je prikazan u tablici.

### RAZVOJ MJERNE JEDINICE VOLT

Doba	Naziv	Znak	Vrijednost*	Definicija i oslonac
prva desetljeća 19. st.	sporadično: <i>volt</i>		$\sim 1 \text{ V}$	jednostavni galvanski članci ( $U_0 \approx 1 \text{ V}$ )
1836. god.	<i>volt</i>		$\sim 1 \text{ V}$	Daniellov članak ( $U_0 = 1,09 \text{ V}$ )
1881. god.	<i>apsolutni praktični volt</i>	$V_{\text{aps}}$	$10^8 \text{ CGS}_m$ jedinice napona	
1893. god.	<i>praktični volt</i>	$V_{\text{pr}}$	$V = \Omega \cdot A$	Clarkov članak ( $U_0 = 1,431 \text{ V}$ )
1908. god.	<i>internacionalni volt</i>	$V_{\text{int}}, V_0$	$1,000\ 4 V_{\text{aps}}$	Westonov članak ( $U_0 = 1,01865 \text{ V}$ ) definicija s pomoću ampera i oma: $V_{\text{int}} = A \cdot \Omega$
1933/46. god.	<i>apsolutni volt</i>	$V_{\text{aps}}$	$(1/1,000\ 34) V_0$	(8. CGPM, 1933.)
1946/48. god.	(novi) volt	V	$V_{\text{aps}}$	definicija s pomoću vata i ampera: $V = W/A$ (CIPM, 1946.; 9. CGPM, 1948.)
1960. god. <b>SI jedinica</b>	volt**	V	1 V	od 1990. god. Josephsonov učinak (CIPM, 1988.)***

\* Znak V bez indeksa označava vrijednost suvremene SI jedinice *volt*.

\*\* Opisno definiran na 9. CGPM-u 1948. godine.

\*\*\* Precizni su voltmetri umjereni u razdoblju 1990. – 1997. godine.



Volta 1801. godine prikazuje svoju bateriju Napoleonu

ujednačavanje bilo neizbježno! Tu su zadaću obavili međunarodni kongresi elektrotehničara.

Prvi međunarodni kongres elektrotehničara (iz kojega se razvila današnja Međunarodna elektrotehnička komisija, IEC, prema engl. *International Electrotechnical Commission*), održan 1881. godine u Parizu, prihvatio je pet "apsolutnih praktičnih jedinica" za koje se nastojalo da budu decimalni višekratnici CGS jedinica. Među njima je bio *apsolutni volt*<sup>7</sup>, vrijednosti  $10^8 \text{ CGS}_m$  jedinice napona.

Međunarodni elektrotehnički kongres<sup>8</sup> održan 1893. godine u Chicagu propisao je ostvarenje triju „praktičnih jedinica“: *oma*, *ampera* i *volta* (poslije su im pridruženi znakovi  $\Omega$ , V i A). Te su jedinice u skladnom međusobnom odnosu:  $V = A \cdot \Omega$ . Jedinica električnoga napona *volt* ostvarena je Clarkovim člankom<sup>9</sup>, kojemu je pridružena vrijednost  $U_0 = 1,431 \text{ V}$ , a koji je kao pramjera zamijenio dotadašnji Daniellov članak.

<sup>7</sup> Ostale su bile apsolutni kulon, amper, om i farad

<sup>8</sup> U nekim se izvorima taj kongres naziva *četvrtim*, a u nekima *drugim* jer se dva u međuvremenu održana ne smatraju slijednicima prvoga.

<sup>9</sup> Konstruirao ga je 1873. godine Josiah Latimer Clark (Great Marlow, UK, 10. travnja 1822. – London, 30. listopada 1898.), engleski inženjer, stručnjak za električni telegraf.

Međunarodna konferencija o električnim jedinicama i norma, održana 1908. godine u Londonu, unazadila je definiranja elektromagnetskih jedinica.

Uvedene su tzv. *praktične elektromagnetske jedinice* osnovane na *pramjerama*. Smatralo se da takav sustav jedinica predstavlja osnovne jedinice CGS-a te da je „... dovoljno blizak njemu za potrebe električnih mjerenja i za osnovu zakonodavstva ...“. Jedinice su nazvane *internacionalnima*<sup>10</sup> (om, amper, volt i dr.). Tako je *internacionalni volt* ( $V_{\text{int}}$ ) povezan s *apsolutnim voltom* ( $V_{\text{aps}}$ ) relacijom  $V_{\text{int}} = 1,000\ 4 V_{\text{aps}}$ .

Kao nova pramjera napona preporučan je Westonov<sup>11</sup> članak kojemu je  $U_0 = 1,018\ 65 \text{ V}$ , koji se kao međunarodna pramjera rabio od 1911. do 1990. godine.

Time je nastao *samostalan sustav elektromagnetskih jedinica*, nažalost udaljen od jedinica mehanike i topline. Posebna je poteškoća što je ušao u zakone mnogih zemalja, pa je trebalo vremena i napora mjeritelja da se ponovno vrati na *apsolutne jedinice*.

Na samom kraju 19. st. među mjeriteljima se sve više širila zamisao o općenitom i suvislom sustavu mjernih jedinica. Na tome su radila brojna međunarodna mjeriteljska tijela, kao što je *Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo* (IEC), *Međunarodna komisija za čistu i primijenjenu fiziku* (IUPAP), *Opće konferencija za utege i mjere* (CGPM) i njezin *Odbor za utege i mjere* (CIPM).

CGPM je 1933. godine odredio rok prijelaza na apsolutne jedinice do 1. siječnja 1940. Dijelom rat, a dijelom dugotrajnost vrhunskih mjerenja uvjetovali su da je CIPM tek 1946. godine, temeljem tada najboljih mjerenja, objavio pretvorbe-

<sup>10</sup> Valja ih razlikovati od suvremenih *internacionalnih* ili *međunarodnih* SI jedinica.

<sup>11</sup> Konstruirao ga je Edward Weston (Osweastry, UK, 9. svibnja 1850. – Montclair, SAD, 20. kolovoza 1936.), američki kemičar i izumitelj s oko 300 patenata, većinom iz područja elektrokemije, među njima kadmijev galvanski članak vrlo stabilnoga napona nazvan po njemu.



Volta 1801. godine prikazuje svoju bateriju Napoleonu

ne faktore između *internacionalnih jedinica* (ampera, oma, volta, vata, henrija, farada, kulona i džula) i *apsolutnih jedinica* (današnjih SI jedinica). Po njima je *apsolutni volt* jednak  $(1/1,000\ 34)$  *internacionalnome voltu*.

Te su jedinice, razgovorno nazivane „novim“, međunarodno usvojene temeljem prijedloga CIPM-a iz 1946. godine, na 9. zasjedanju CGPM-a 1948. godine. Tada je usvojena definicija *volta* s pomoću *vata* i *ampera* koja vrijedi i danas:

**Volt** (znak V) je jedinica električnoga potencijala, napona i elektromotorne sile, izvedena je SI jedinica. Volt je napon između dviju točaka homogenoga kovinskog žičanog vodiča,

kojim prolazi stalna električna struja od jednog ampera, a utrošena je snaga između tih dviju točaka jedan vat, tj.  $V = W/A$ .

Nakon 1948. godine diljem svijeta umjereni su precizni mjerne instrumenti prema „novim jedinicama“, pa se u elektrotehnici, elektronici, fizici, kemiji i drugdje rabi samo SI jedinica *volt* bez ikakvih pridjevaka<sup>12</sup>.

Na 11. zasjedanju CGPM-a 1960. godine taj je općeniti i suvisli sustav nazvan *međunarodnim sustavom mjernih jedinica* (SI). U njemu se tada već nalazila većina današnjih SI jedinica, među njima i *volt* kao izvedena SI jedinica s posebnim nazivom i znakom.

CIPM je 1988. godine odredio novu pramjeru volta, oslonjenu na Josephsonov<sup>13</sup> kvantni učinak i normiranu Josephsonovu stalnicu  $K_{J-90} = 2e/h = 483\ 597,9$  GHz/V, pri čemu je  $e$  elementarni naboj, a  $h$  Planckova stalnica. Ta se pramjera primjenjuje od 1. siječnja 1990. Time nije promijenjena definicija mjerne jedinice *volt*, nego je samo oslanjanjem na najnovije znanstvene spoznaje povećana točnost njegove reprodukcije.

## Literatura

- [1] Lončar, Josip, *Električna mjerenja*. Naklada pisca, Zagreb 1939.
- [2] Lopašić, Vatroslav, *Elektrika, Električne jedinice*. Hrvatska enciklopedija, 5. sv., Hrvatski izdavački bibliografski zavod, Zagreb 1945.
- [3] Breziščak, Marijan, *Mjerenje i računanje u tehnici i znanosti*. Tehnička knjiga, Zagreb 1971.
- [4] ....., *Međunarodni sustav jedinica (SI)*. (prijevod izvornika u izdanju Međunarodnog ureda za utege i mjere), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb 1998.
- [5] ....., *Pravilnik o mjernim jedinicama*. Narodne novine br. 2. od 4. siječnja 2007.
- [6] Jakobović, Zvonimir, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.
- [7] Borvon, Gerard, *History of the electrical units*. mreža: S-EAU-S (10. 9. 2012.)

<sup>12</sup> Važno je napomenuti, kako je prof. Josip Lončar, doajen električnih mjerenja u nas, među prvima u svijetu već 1930-ih godina u svojim knjigama i na predavanjima rabio elektrotehničke jedinice u današnjem značenju.

<sup>13</sup> Brian David Josephson (Cardif, Wales, UK, 4. siječnja 1940.), britanski fizičar, Nobelovu nagradu za fiziku 1973. godine podijelio s Leom Esakijem i Ivarom Giaeverom.



# t: TEHNOKOM

inženjering, konzalting, projektiranje, servis i održavanje

- optimiranje energetske i procesne postrojenja
- održavanje i gospodarenje energetskim sustavima
- realizacija projekata po sistemu "ključ u ruke"
- energetska obnova objekata



U našim projektima primjenjujemo mjere energetske učinkovitosti uz korištenje obnovljivih izvora energije.

Iskustvo u radu više od 25 godina!

# Naziv mjerne jedinice *om*

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ



Georg Simon Ohm

Električni otpor sastavnica strujnog kruga važan je podatak za procjenu i izračun pojava na njima. U prvim se desetljećima elektrotehnike upotrebljavalo za električni otpor petnaestak raznovrsnih mjernih jedinica. Tek je krajem 19. st. međunarodno dogovorena mjerna jedinica *om* u smislu kako ju i danas upotrebljavamo.

## Naziv mjerne jedinice *om*

Mjernu jedinicu električnoga otpora od svih je jedinica elektriciteta bilo najlakše ostvariti. Trebalo je samo uzeti određeni vodič i dogovoriti se da je njegov otpor pramjera otpora svih drugih vodiča. U sljedećemu koraku ta je pramjera trebala zadovoljiti neke mjeriteljske uvjete, kao što su stabilnost otpora, održivost pramjere i sl.

**Om** (znak  $\Omega$ ), mjerna je jedinica električnoga otpora, danas jedna od sastavnica *Međunarodnog sustava mjernih jedinica* (SI). Nazvan je prema G. S. Ohmu, a jedna je od najstarijih mjernih jedinica nazvanih prema kojemu znanstveniku.

**Georg Simon Ohm** (Erlangen, 16. ožujka 1789. – München, 6. srpnja 1854.), njemački fizičar. Studirao matematiku, fiziku i filozofiju, doktorirao 1811., potom radio kao srednjoškolski i visokoškolski profesor, a od 1849. godine kao profesor eksperimentalne fizike na sveučilištu u Münchenu. Proučavajući električne pojave ustanovio je u proljeće 1826. godine odnos između struje kao posljedice, napona kao uzroka i otpora vodiča kao posrednika, nazvan *Ohmovim zakonom*, koji je osnova za razumijevanje električne struje u vodičima i osnovne proračune.

Po njemu se, osim znamenitoga zakona i mjerne jedinice, naziva *Tehnička visoka škola Georg Simon Ohm* u Nürnbergu, *Ohmova gimnazija* u Erlangenu, *Stručna škola Georg-Simon-Ohm* u Kölnu i asteroid *Ohm*, a njegovo se poprsje nalazi u *Trijemu slave* (njem. *Ruhmeshalle*) znamenitih Bavaraca u Münchenu.

## Povijest mjerne jedinice *om*

Električni je otpor vodiča uz napon osnovni podatak kojim se određuje jakost struje kroz vodič. Zato je bilo od prvih godina primjene pojava uz električnu struju važno na neki način mjeriti ili predviđati električni otpor, a za to je potrebno odrediti mjernu jedinicu. Elektrotehničari su praktičnu jedinicu otpora spontano počeli nazivati *omom*, kojemu je znatno poslije kao znak pridruženo grčko slovo *omega* ( $\Omega$ ). Prva mu je pridružena vrijednost bila  $10^9$  CGS jedinica otpora.

Jedinica se električnoga otpora mogla jednostavno odrediti nekim određenim vodičem kao pramjerom (etalonom, normalom). Polovicom 19. st. ustanovljeno je za praktične potrebe niz jedinica otpora. Spomenut će se samo neke.

U Velikoj je Britaniji 1849/43. godine Ch. Wheatstone<sup>1</sup> načinio prvu pramjeru otpora i njome definirao „jedinicu električnoga otpora“. Bila je to bakrena telegrafska žica duljine 1 *foot* (t.j. 30,48 cm) i mase 100 *graina* (t.j. 6,479 89 g) s kojom se usporedbenim postupkom mjerio otpor, a posredno i duljina telegrafskih vodova. Vrijednost je te pramjere bila oko 2,163 m $\Omega$ , višestruko manja od današnjega *oma*.

<sup>1</sup> Sir Charles Wheatstone (6. veljače 1802. – 19. listopada 1875.) britanski znanstvenik i izumitelj, posebno u području električnoga telegrafa. Konstruirao je mjerni instrument, poslije nazvan *Wheatstoneovim mostom*, za mjerenje električnoga otpora, iz kojega su se razvili svih mosni spojevi u elektrotehnici.





Spomenik G. S. Ohmu na Tehničkom sveučilištu u Münchenu (Wilhelm von Rümmer)

*Maxwellova pramjera otpora* bila je ostvarena žicom od slitine srebra i platine (2 : 1), promjera 5 mm do 8 mm, duljine 2 m. Žica je bila spojena na dvije bakrene elektrode, izolirana svilom i zalivena u parafin. Vrijednost te pramjere bila je oko jedan današnji om.

Rabila se i Varleyjeva jedinica otpora, određena bakrenom žicom promjera 1/16 in, dužine 1 milje. Vrijednost te pramjere bila je oko 25 današnjih oma.

U Francuskoj i Švicarskoj električni se otpor izražavao u kilometrima jer je bio normiran telegrafskom bakrenom žicom promjera 4 mm i duljine 1 km. Vrijednost te pramjere bila je oko 10 današnjih oma.

U Njemačkoj se rabila mjerna jedinica otpora *simens* (znak SE, prema *Siemens Einheit*), ostvarena živinim stupcem presjeka 1 mm<sup>2</sup>, duljine 1 m. Vrijednost te pramjere bila je oko 0,9537 današnjih oma.

Takva raznolikost mjernih jedinica bila je velika smetnja razmjeni znanstvenih i stručnih informacija, primjeni tehničkih izuma i zatvarala tržišta elektrotehničkih proizvoda.

Britansko društvo za unapređenje znanosti (BAAS, prema engl. *The British Association for the Advancement of Science*) propisalo je 1861. godine „praktičnu jedinicu električnoga otpora“ s nazivom *oma* (engl. *ohma*)<sup>2</sup> u čast G. S. Ohma. BAAS je 1865. godine uveo jedinicu otpora *B. A. om* (BAU ili *omad*) oslonjenu na žičanu pramjeru od slitine platine i srebra, promjera 1 mm<sup>2</sup>, duljine 10,64,8 cm. Vrijednost joj je bila oko 1,988 današnjih oma.

Nama je teško danas zamisliti kako se oko 1880. godine u svijetu rabilo najmanje 15 različitih jedinica otpora! Stoga je ujednačavanje bilo neizbježno! Tu su zadaću obavili međunarodni kongresi.

Prvi međunarodni kongres elektrotehničara održan je 1881. godine u Parizu. To je bilo u doba naglih početaka primjene električnih pojava, ponajprije za električni telegraf i telefon, električnu rasvjetu te početke elektroindustrije. Kongres je bio dojmljiv skup stručnjaka s oko 250 izaslanika iz 28 zemalja.

Predsjedao mu je Jean-Baptiste André Dumas, ugledni francuski kemičar, a sudjelovali su znameniti znanstvenici, među njima H. Becquerel, Z. Gramme, W. Crookes, H. von Helmholtz, G. Kirchhoff, E. Mach, lord Rayleigh, Werner von Siemens, W. Thomson (koji će poslije postati lord Kelvin), J. Tyndal i dr.

<sup>2</sup> Po nekim izvorima taj se prijedlog Charlesa Brighta i Latimera Clarka prvotno odnosio na naziv mjerne jedinice *napona*.

Prva je zadaća skupa bilo određivanje mjernih jedinica i njihovih pramjera koje bi bile prihvaćene u svim zemljama. U raspravama su se oblikovale dvije oprečne strane. Engleski stručnjaci zagovarali su jedinice CGS-a osnovane na teorijskim pogledima mehanike. Njemački inženjeri trebali su praktične električne jedinice osnovane na lako ostvarivim pramjerama. Na sjednicama Odbora za električne jedinice 16. i 17. rujna 1881. godine vodila se burna i žučna rasprava. Eleuthere Mascart, francuski fizičar, koji je bio tajnik kongresa, opisao je u svojim sjećanja tijekom tih rasprava. Iako ih je predsjednik taktično i diplomatski vodio, nije se nazirao dogovor, pa je sjednicu već pred jutro prekinuo stankom za večeru.

Rasprava se nastavila i u stanci, na kojoj je Werner Siemens postavio uvjet da jedinice moraju biti ustanovljene tako da služe „za praktičnu uporabu“. Mascart je tada domišljato pokušao pomiriti stavove i trenutačno zapisao prijedlog dogovora koji obuhvaća stavove objiju strana:

- Sustav mjerenja za praktičnu uporabu osniva se na jedinicama CGS-a elektromagnetizma.
- Om i volt definirani su, a međunarodni odbor odredit će živin stupac koji predstavlja jedinicu om.

Nakon večere hitno je obavijestio predsjednika da je postignut dogovor o mjernim jedinicama, koji je samo prije nekoliko sati izgledao nemoguć. „Nikada neću zaboraviti ushićenje gospodina Dumasa kada je čuo tu neočekivanu vijest!“ zapisao je u svojim sjećanjima.



Njemačka poštanska marka od 5. svibnja 1994., posvećena otkriću Ohmovog zakona

U nastavku kongresa na sličan su način usvojene jedinice jakosti struje *amper* (umjesto dotadašnjega *vebera*), električnoga *kulon* i kapaciteta *farad*. Velik su doprinos usklađivanju stavova dali braća Siemens, Werner koji je živio i radio u Njemačkoj i William koji je živio i radio u Engleskoj. Na kraju kongresa predsjednik Dumas ustvrdio je da su s jedne strane usvojene jedinice osnovane na apsolutnim jedinicama, a s druge strane prilagođene praktičnoj uporabi, pa je stoga „sustav sada posložen!“

Među zaključcima kongresa bili su:

- Jedinica električnoga otpora nazvana je *om*, s vrijednošću od 10<sup>9</sup> CGS<sub>m</sub> jedinica električnoga otpora.
- Praktična jedinica električnoga otpora<sup>3</sup> *om* bit će određena stupcem žive presjeka 1 mm<sup>2</sup>, na temperaturi od 0° C.
- Međunarodni odbor naknadno će odrediti duljinu stupca koja predstavlja 1 Ω.

<sup>3</sup> Taj je *om* prvotno nazivan *legalnim omom* ili *kongresnim omom*.

## RAZVOJ MJERNE JEDINICE *OM*

Doba	Naziv	Znak	Vrijednost*	Definicija i oslonac
1861. god.	oma			(prijedlog)
1865. god.	BAU (omad)		1,988 $\Omega$	žičana pramjera slitine platine i srebra ( $S = 1 \text{ mm}^2$ ; $L = 1064,8 \text{ cm}$ )
1867. god.	(praktični) om		$\sim 1 \Omega$	različite žičane ili živine pramjere
1881. god.	apsolutni praktični om, „legalni ili kongresni om“	$\Omega_{\text{aps}}$	$10^9 \text{ CGS}_m$ jedinica otpora ( $10^9$ aboma)	živina pramjera ( $S = 1 \text{ mm}^2$ ; $L = ?$ )
1884. god.				živina pramjera ( $S = 1 \text{ mm}^2$ ; $L = 106 \text{ cm}$ )
1893. god.	praktični om „živin om“	$\Omega_{\text{pc}}$		živina pramjera ( $L = 106,3 \text{ cm}$ ; $m = 14,4521 \text{ g}$ )
1908. god.	internacionalni om	$\Omega_{\text{in}}, \Omega_{\text{I}}$	$1,000\,5 \Omega_{\text{m}}$	--
1933/46. god.	apsolutni om	$\Omega_{\text{a}}$	$1/1,00049 \Omega_0$	(8. CGPM 1933.)
1946/48. god.	(novi) om	$\Omega$	$\Omega_{\text{a}}$	definicija s pomoću volta i ampera $\Omega = \text{V/A}$ (CIPM, 1946.; 9. CGPM, 1948.)
1960. god. jedinica SI-ja	om**	$\Omega$	$1 \Omega$	-- Thomson-Lampardov kondenzator, od 1990. god. Hallov kvantni učinak (18. CGPM, 1987.; CIPM, 1988.)

\* Znak  $\Omega$  bez indeksa označava vrijednost suvremene jedinice SI-ja *om*.

\*\* Opisno definiran na 9. CGPM-u 1948. godine

Taj je kongres bio i poticaj za daljnje nazivanje mjernih jedinica po zaslužnim znanstvenicima, što je u završnoj riječi naglasio predsjednik Dumas.

*Međunarodna konferencija za određivanje električnih jedinica*, održana 1884. godine u Parizu, odredila je *pramjeru oma*.

- Om je električni otpor stupca žive presjeka  $1 \text{ mm}^2$ , duljine  $106 \text{ cm}$ , na temperaturi leđišta vode.

*Međunarodni elektrotehnički kongres*, održan 1893. godine u Chicagu, pobliže je definirao *internacionalne jedinice*, među njima i *om*<sup>4</sup>:

- Internacionalni om definiran je stupcem žive jednolika presjeka, duljine  $106,3 \text{ cm}$  i mase  $14,4521 \text{ g}$ , na temperaturi leđišta vode.

*Međunarodna konferencija o električnim jedinicama i normama*, održana 1908. godine u Londonu, unazadila je definiranja elektromagnetskih jedinica.

Uvedene su tzv. *praktične elektromagnetske jedinice* osnovane na *pramjerama*. Smatralo se da takav sustav jedinica predstavlja osnovne jedinice CGS-a, te da je „... dovoljno blizak njemu za potrebe električnih mjerenja i za osnovu zakonodavstva ...“. Jedinice su nazvane *internacionalnima*<sup>5</sup> (*om*, *amper*, *volt* i dr.). Tako je *internacionalni om* ( $\Omega_{\text{in}}$ ) povezan s *apsolutnim omom* ( $\Omega_{\text{aps}}$ ) relacijom  $\Omega_{\text{in}} = 1,000\,5 \Omega_{\text{aps}}$ .

Time je nastao *samostalan sustav elektromagnetskih jedinica*, nažalost udaljen od jedinica mehanike i topline. Posebna je poteškoća što je ušao u zakone mnogih zemalja, pa je trebalo vremena i napora mjeritelja da se ponovno vrati na *apsolutne jedinice*.

<sup>4</sup> Prethodno su bila predložena četiri naziva: *internacionalni om*, *normalni om*, *etalonski om* i *om iz 1893.*, a većina se upitanih članova odbora odlučilo za naziv *internacionalni om*.

<sup>5</sup> Valja ih razlikovati od suvremenih *internacionalnih* ili *međunarodnih* jedinica SI-ja.



*Trijem slave u Münchenu, u kojem se nalazi i poprje G. S. Ohma*

Na samom kraju 19. st. među mjeriteljima se sve više širila zamisao o općenitom i suvislom sustavu mjernih jedinica. Na tome su radila brojna međunarodna mjeriteljska tijela, kao što je *Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo* (IEC), *Međunarodna komisija za čistu i primijenjenu fiziku* (IUPAP), *Opća konferencija za utege i mjere* (CGPM) i njezin *Odbor za utege i mjere* (CIPM).

CGPM je 1933. godine odredio rok prijelaza na apsolutne jedinice do 1. siječnja 1940. Dijelom rat, a dijelom dugotrajnost vrhunskih mjerenja uvjetovali su da je CIPM tek 1946. godine temeljem tada najboljih mjerenja objavio pretvorbene faktore između *internacionalnih jedinica* (ampera, oma, volta, vata, henrija, farada kulona i džula) i *apsolutnih jedinica* (današnjih *jedinica SI-ja*). Po njima je *apsolutni om* jednak  $(1/1,000\,5)$  *internacionalnih oma*.

Te su jedinice međunarodno usvojene temeljem prijedloga CIPM-a iz 1946. godine na 9. CGPM-u 1948. godine. Tada je usvojena definicija *oma* s pomoću *volta* i *ampera* koja vrijedi i danas:

**Om** (znak  $\Omega$ ) je jedinica električnoga otpora, izvedena je jedinica SI-ja. Om je otpor vodiča bez izvora u kojemu stalan napon od jednoga volta između njegovih krajeva prouzročuje struju od jednoga ampera, tj.  $\Omega = V/A$ .

Razvoj mjerne jedinice *om* pojednostavnjeno je prikazan u tablici.

Nakon 1948. godine diljem svijeta umjereni su precizni mjerne instrumenti prema „novim jedinicama“, pa se u elektrotehnici, elektronici, fizici, kemiji i drugdje rabi samo jedinica SI-ja *om* bez ikakvih pridjevaka<sup>6</sup>.

CIPM je 1988. godine odredio novu pramjeru *oma*, oslonjenu na Hallov<sup>7</sup> kvantni učinak i preporučenu Klitzingovu<sup>8</sup> stalnicu  $R_{K-90} = 25\,812,807\ \Omega$ . Ta se pramjera primjenjuje od 1. siječnja 1990. Time nije promijenjena definicija mjerne jedinice *om*, nego je samo oslanjanjem na najnovije znanstvene spoznaje povećana točnost njegove reprodukcije.

## Literatura

- [1] Brezinščak, Marijan. *Mjerenje i računanje u tehnici i znanosti*. Tehnička knjiga, Zagreb 1971.
- [2] *Međunarodni sustav jedinica (SI)*. (prijevod izvornika u izdanju Međunarodnog ureda za utege i mjere), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb 1998.
- [3] *Pravilnik o mjernim jedinicama*. Narodne novine br. 2. od 4. siječnja 2007.
- [4] Jakobović, Zvonimir, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.
- [5] Borvon, Gérard, *History of the electrical units*. mreža: S-EAU-S (10. 9. 2012.)
- [6] *Povijest oma*. <http://www.sizes.com/units/ohm.htm> (5. 11. 2013.)

<sup>6</sup>Važno je napomenuti kako je prof. Josip Lončar, doajen električnih mjerenja u nas, među prvima u svijetu već 1930-ih godina u svojim knjigama i na predavanjima rabio elektrotehničke jedinice u današnjemu značenju.

<sup>7</sup>Edwin Herbert Hall (Great Falls, SAD, 7. studenoga 1855. – Cambridge, 20. studenoga 1938.), američki fizičar, otkrio 1879. godine pojavu koja je po njemu nazvana *Hallovim učinkom*.

<sup>8</sup>Klaus-Olaf von Klitzing (Środa, Poljska, 28. lipnja 1943.), njemački fizičar, 1985. godine dobio Nobelovu nagradu za fiziku za otkriće kvantiziranoga Hallova učinka.

# Naziv mjerne jedinice *amper*

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ



André-Marie Ampère

Mjernu je jedinicu jakosti struje zbog dinamičnosti pojave teško ostvariti, održavati i pohraniti kao neku statičnu pramjeru. Stoga su voltmetri kao prve pramjere ostvarivali neki učinak, po kojem se zaključivalo o jakosti struje, a suvremenom strujnom vagom se ostvaruje definirani amper, a njime omjer vrijednosti pramjera napona i otpora.

## Naziv mjerne jedinice *amper*

**Ampere** (znak A), mjerna je jedinica jakosti električne struje, danas jedna od osnovnih jedinica *Međunarodnog sustava mjernih jedinica* (SI). Nazvana je prema A. M. Ampèreu, a jedna je od najstarijih mjernih jedinica nazvana prema nekome znanstveniku.

**André-Marie Ampère** (Lyon, 20. siječnja 1775. – Marseille, 10. lipnja 1836.), francuski fizičar i matematičar. Odrastao je u imućnoj obitelji, a otac ga je pod utjecajem zamisli J. J. Rousseaua poticao da samostalno aktivno uči izravno iz prirode te ga opskrbljivao knjigama znamenitih prosvjetitelja i enciklopedista G. L. Leclerca, D. Diderota, J. le R. d'Alamberta, a potom znanstvenika L. Eulera i D. Bernoullija. Za vrijeme Francuske revolucije otac mu je bio giljotiniran kad je André-Marie imao 18 godina te se potom sam probijao kroz život. Prvo je radio kao učitelj matematike, profesor fizike, kemije i matematike, unatoč nedostatku formalnih kvalifikacija. Na sveučilištu u Parizu predavao je kolegije filozofije i astronomije, a 1824. godine izabran je za profesora fizike na uglednome *Collège de France*.

Ampère je 1820. godine saznao za otkriće H. C. Ørstedta o djelovanju električne struje na magnetsku iglu, čime je ustanovljena veza između elektriciteta i magneta. Ampère je postavio matematički formuliranu osnovu elektromagnetizma, a njegova formulacija, nazvana *Ampereovim zakonom*, jedna je od Maxwellovih jednačbi. U svojim je pokusima 1822. godine sa silama između vodiča kojim teče električna struja postavio osnove strujne vage.

Za života je Ampère primio mnoga priznanja te je izabran za člana znanstvenih društava i akademija.

Njegovo je ime zapisano među imenima 72 najuglednija francuska znanstvenika na Eiffelovu tornju u Parizu, a jedno je brdo na Mjesecu nazvano *Ampereovim brdom*.

## Povijest mjerne jedinice *amper*

Još je M. Faraday 1820-ih godina elektrolitičko mjerilo protekloga elektriciteta (danas bismo ga nazvali *kulonmetar*) nazvao *voltametrom*<sup>1</sup>, danas već gotovo zaboravljeni naziv. Uz struju iz stalnoga izvora (galvanskoga članka) i mjerenje vremena njime se može odrediti jakost struje, pa je to prvotno bila pramjera (etalon, normala) za jedinicu jakosti struje.

U *V. Britaniji* rabila se B. S. jedinica jakosti električne struje *veber*, vrijednosti 0,1 jedinice struje CGS<sub>M</sub>-a, prema Ohmovu zakonu određena omjerom pripadnih jedinica napona i otpora.

<sup>1</sup> Iz *voltmetra* je potekao naziv *voltimetrija* ili *voltamperimetrija* za kemijske elektroanalitičke postupke. Naziv ne valja miješati sa sličnozvučnicom *voltmetar*.



Spomenik Ampèreu na istoimenom trgu u Lyonu gdje je prvo djelovao

Oslonac joj je bio voltametar, u kojemu struja od jednoga vebera pri elektrolizi bakrenoga sulfata istaloži na katodi 1,19 g bakra na sat.

U Njemačkoj se rabila jedinica struje definirana naponom Daniellova članka kroz vodič otpora 1 simens<sup>2</sup>.

Za nju su se rabila dva oslonca:

- obujam plina (u kubnim centimetrima) u minuti koji se pri elektrolizi oslobodi iz sumporne kiseline,
- masa (u gramima) na sat istaloženoga bakra na katodi pri elektrolizi bakrenoga sulfata.

Prvi međunarodni kongres elektrotehničara (iz kojega se razvila današnja Međunarodna elektrotehnička komisija, IEC, prema engl. *International Electrotechnical Commission*), održan 1881. godine u Parizu, odredio je novi naziv mjerne jedinice jakosti struje *amper* (današnji znak A) definirajući ga kao struju koju uzrokuje napon od 1 V kroz vodič otpora 1 Ω, t.j.  $A = V/\Omega$ .

Oslonac je bio voltametar u kojemu stalna struja iz srebrnoga nitrata istaloži na katodi 1,118 mg srebra u sekundi.

Time je Ampèreu, kao građaninu zemlje domaćina, iskazano priznanje, ali je izostavljen W. E. Weber, po kojemu se u nekim zemljama već rabila jedinica jakosti struje *veber*. Stoga mu je kongres odao posebno priznanje za 50-godišnjicu rada, a poslije će po njemu biti nazvan *veber* kao jedinica SI-ja za magnetski tok.

Međunarodna konferencija za određivanje električnih jedinica, održana 1884. godine u Parizu, odredila je pramjeru *oma* te vrijednosti *volta* i *ampera*:

- Amper je vrijednost 0,1 CGS<sub>M</sub> jedinice električne struje.

Međunarodni elektrotehnički kongres održan 1893. godine u Chicagu pobliže je definirao *internacionalne jedinice*, među njima i *amper*:

- Internacionalni amper struja je koja pri elektrolizi srebrnoga nitrata istaloži na katodi 1,118 mg srebra u sekundi.

G. Giorgi 1901. godine predložio je suvisli sustav mjernih jedinica, osnovan na metru, kilogramu, sekundi i amperu, nazvan *MKSA sustavom* ili *Giorgijevim sustavom*.

Međunarodna konferencija o električnim jedinicama i normama, održana 1908. godine u Londonu, unazadila je definiranja elektromagnetskih jedinica.

Uvedene su tzv. *praktične elektromagnetske jedinice* osnovane na *pramjerama*. Smatralo se da takav sustav jedinica predstavlja osnovne jedinice CGS-a, te da je „... dovoljno blizak njemu za potrebe električnih mjerenja i za osnovu zakonodavstva ...“. Jedinice su nazvane *internacionalnima*<sup>3</sup> (*om*, *amper*, *volt* i dr.). Tako je *internacionalni amper* (A<sub>in</sub>) povezan s *apsolutnim amperom* (A<sub>aps</sub>) relacijom  $A_{in} = 0,999\ 9\ A_{aps}$ .

Time je nastao *samostalan sustav elektromagnetskih jedinica*, na žalost udaljen od jedinica mehanike i topline. Posebna je poteškoća što je ušao u zakone mnogih zemalja, pa je trebalo vremena i napora mjeritelja da se ponovno vrati na *apsolutne jedinice*.

Na samom kraju 19. st. među mjeriteljima se sve više širila zamisao o općenitom i suvislom sustavu mjernih jedinica. Na tome su radila brojna međunarodna mjeriteljska tijela kao što je *Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo* (IEC), *Međunarodna komisija za čistu i primijenjenu fiziku* (IUPAP), *Opća konferencija za utege i mjere* (CGPM) i njezin *Odbor za utege i mjere* (CIPM).

CGPM je 1933. godine odredio rok prijelaza na apsolutne jedinice do 1. siječnja 1940. Dijelom rat, a dijelom dugotrajnost vrhunskih mjerenja uvjetovali su da je CIPM tek 1946. godine temeljem tada najboljih mjerenja objavio pretvorbene faktore između *internacionalnih jedinica* (*ampera*, *oma*, *volta*, *vata*, *henrija*, *farada*, *kulona* i *džula*) i *apsolutnih jedinica* (današnjih *jedinica SI-ja*). Po njima je *apsolutni amper* jednak (1/0.999 85) *internacionalnih ampera*.

Te su jedinice međunarodno usvojene temeljem prijedloga CIPM-a iz 1946. godine, na 9. zasjedanju CGPM-a 1948. godine, a *amper* kao osnovna jedinica MKSA sustava. Tada je usvojena definicija *ampera* koja vrijedi i danas:



Njemačka poštanska marka s likom André-Marie Ampèrea iz niza *Znamenite osobe*

<sup>2</sup>Tu se jedinicu ne smije miješati s današnjom istoimenom jedinicom električne vodljivosti.

<sup>3</sup>Valja ih razlikovati od suvremenih *internacionalnih* ili *međunarodnih* SI jedinica.

Doba	Naziv	Znak	Vrijednost*	Definicija i oslonac
1873. god.	B. S. jedinica <i>veber</i>		0,1 CGS <sub>m</sub> jedinice struje	voltmetar: 1,19 g/h bakra
1881. god.	<i>apsolutni praktični amper</i>	A <sub>pr</sub>	0,1 CGS <sub>m</sub> jedinice struje.	
1893. god.	<i>praktični amper</i>	A <sub>pr</sub>	$A = V/\Omega$	voltmetar: 1,118 mg/s srebra
1908. god.	<i>internacionalni amper</i>	A <sub>int</sub>	0,999 9 A <sub>aps</sub>	
1933/46. god.	<i>apsolutni amper</i>	A <sub>aps</sub>	1/0,999 85 A <sub>int</sub>	(8. CGPM, 1933.)
1946/48. god.	(novi) amper	A	A <sub>aps</sub>	definicija s pomoću sile (CIPM, 1946.; 9. CGPM, 1948.) ( <i>strujna vaga</i> )
1960. god. <b>SI jedinica</b>	amper**	A	1 A	---

\* Znak A bez indeksa označava vrijednost suvremene jedinice SI-ja *amper*.

\*\* Definiran na 9. CGPM-u 1948. god.

**Amper** (znak A) je jedinica jakosti električne struje, osnovna je jedinica SI-ja. Amper je jakost stalne električne struje koja bi, tekući dvama usporednim, neizmerno dugačkim ravnim vodičima, zanemarujući male na kružnoga presjeka, razmaknutim u zrakopraznom prostoru jedan metar, proizvela među tim vodičima silu od  $2 \times 10^{-7}$  njutna po metru njihove duljine.

Razvoj mjerne jedinice *amper* pojednostavnjeno je prikazan u tablici.

Na 11. zasjedanju CGPM-a 1960. godine MKSA je kao općeniti i suvisli sustav nazvan *Međunarodnim sustavom mjernih jedinica* (SI). U njemu se tada već nalazila većina današnjih jedinica SI-ja, među njima i *amper* kao osnovna jedinica SI-ja s posebnim nazivom i znakom.

Definicijski amper ostvaruje se tzv. *strujnom vagom* (koje je osnovu postavio u svojim pokusima još A. M. Ampère), mjernim instrumentom kojim se mjeri sila između dvaju vodiča kojima teče ta struja uravnotežena utegom. Njome se ne umjeravaju ampermetri, nego se određuje vrijednosti omjera promjera napona  $U_0$  i otpora  $R_0$ , tj.  $I_0 = U_0/R_0$ , a njima se određuje *amper*.

CIPM je 2005. godine odlučio da se mjerne jedinice *kilogram*, *amper*, *kelvin* i *mol* definiraju s pomoću prirodnih stalnica. Temeljem toga je 2006. godine predloženo da se jedinica *amper* definira tokom određene količine čestica s elementarnim nabojem u vremenu.



## Literatura

- [1] Brezinščak, Marijan, *Mjerenje i računanje u tehnici i znanosti*. Tehnička knjiga, Zagreb 1971.
- [2] ..., *Međunarodni sustav jedinica (SI)*. (prijevod izvornika u izdanju Međunarodnoga ureda za utege i mjere), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb 1998.
- [3] ..., *Pravilnik o mjernim jedinicama*. Narodne novine br. 2. od 4. siječnja 2007.
- [4] Jakobović, Zvonimir, *Leksikon mjernih jedinica*. Školska knjiga, Zagreb 2008.
- [5] Borvon, Gérard, *History of the electrical units*. mreža: S-EAU-S (10. 9. 2012.)
- [6] *Povijest oma*. <http://www.sizes.com/units/ohm.htm> (5. 11. 2013.)

**T**  
O.M.T. **TARTARINI**

**PICO**  
Flow Controls



**T**  
O.M.T. **TARTARINI**



**FRANCEL**



**Perar**

**TECNO FILTRI**



**GALLICASSIMA**



REGULAR FULL BODY

**FISHER**



**macel plin**  
tehnologija strujanja



**macel plin**

Malešnica 3c, 10090 Zagreb

adresa: Croatia

tel: ++385 1/3484 441

fax: ++385 1/3484 455

mail: macel.plin@zg.t-com.hr

web: www.macel-plin.hr

od projektiranja do održavanja čast nam je biti Vam na usluzi

# Naziv mjerne jedinice *tesla*

dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ



Nedavno pronađen Teslin plavi portret iz 1916. godine (Vilma von Lwoff-Paraghy)

Usvajanje jedinice tesla je primjer kako su nazivi nekih mjernih jedinica međunarodno teško prihvaćeni. Ponckad je to više sklop okolnosti i utjecaja pojedinaca i skupina u međunarodnim tijelima, nego što je to posljedica vrednovanja znanstvenih i stručnih zasluga.

## Naziv mjerne jedinice *tesla*

**Tesla** (znak T), mjerna je jedinica *magnetske indukcije* (*gustoće magnetskoga toka*), danas jedna od sastavnica *Međunarodnog sustava mjernih jedinica* (SI). Nazvan je prema Nikoli Tesli. Definiran je kao indukcija homogenoga magnetskoga polja koje djeluje na vodič silom od jednoga njutna po metru duljine vodiča, ako je vodič okomit na polje i njime teče stalna električna struja jakosti jedan amper, dakle *tesla* je *njuti po amperu i metru*, tj.  $T = N/(A \cdot m) = Wb/m^2$  (gdje je Wb znak za *veber*, mjernu jedinicu magnetskoga toka).

To je jedina SI jedinica nazvana po jednom Slavenu. Olakotna je uporabna okolnost što njegovo prezime ne sadržava neki suštavi slavenski glas, pa u pisanom obliku nema slova s dijakritičkim znakom. Stoga je naziv *tesla* lako čitljiv i izgovorljiv na svim jezicima svijeta.

**Nikola Tesla** (Smiljan, 10. srpnja 1857. – New York, 7. siječnja 1943.), genijalni izumitelj, osobito na području elektrotehnike. Brojni se njegovi izumi izravno primjenjuju i danas (npr. proizvodnja, prijenos i raspodjela električne energije u obliku višefaznih izmjeničnih struja), a brojni su u osnovi mnogih tehničkih dostignuća, bez kojih je današnji svijet nezamisliv (bežične komunikacije, radar, radiolokacija, elektromedicinska terapija i dr.). O Teslinom se životu i radu podosta govori i piše, osobito na godišnjice njegova rođenja ili smrti. Stoga se na ovom mjestu neće pisati o njemu osobno, nego će se prikazati kako je dobio najveće međunarodno priznanje, naziv jedne mjerne jedinice Međunarodnoga sustava.

## Poteškoće s dvama magnetskim veličinama

Početna je poteškoća bila izjednačavanje i miješanje mjernih veličina *jakost magnetskog polja* (znak *H*) i *magnetska indukcija* (znak *B*), koje su povezane *magnetskom permeabilnosti*  $\mu$  sredstva. U CGS sustavu je magnetskoj permeabilnosti vakuuma (znak  $\mu_0$ ) pridružena vrijednost 1, ali ne bez dimenzije. Ipak, to je dovodilo da su se te veličine, osobito pri pisanju brojčanih jednadžbi, često izjednačavale i zamjenjivale.

K tomu još postoje i dva naziva za jednu od tih mjernih veličina, što je također zbunjujuće. Naime, u Europi je uobičajeniji naziv *magnetska indukcija* (franc. *induction magnetique*), a u SAD *gustoća magnetskog toka* (engl. *magnetic flux density*, rjeđe *magnetic induction*).

Zbrka je bila tolika, da je *Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo* IEC 1930. godine moralo donijeti posebnu odluku da su *magnetska indukcija B* i *jakost magnetskog polja H* dvije posebne mjerne veličine, koje povezuje magnetska permeabilnost  $\mu$  sredstva jednadžbom  $B = \mu \cdot H$ .



## Povijest jedinice *tesla*

Postojanje jedinice *tesla* izgleda nam danas potpuno normalnim, smatramo kako je genijalni elektrotehničar Nikola Tesla to svakako zaslužio. Ipak, njezino međunarodno prihvaćanje nije išlo lako i jednostavno. Na sjednici 11. CGPM-a u predvečerje 18. listopada 1960., kada je prihvaćen *Međunarodni sustav mjernih jedinica* (SI), vodila se dramatična borba za priznavanje doprinosa Nikole Tesle elektrotehnici i davanje naziva *tesla* mjerne jedinici magnetske indukcije.

Premalo se zna i spominje kako je za to osobito zaslužan prof. France Avčin<sup>1</sup>, slovenski znanstvenik, pisac i humanist. Prof. Avčin je bio, ne samo stručnjak mjeritelj i poštovatelj Teslina djela, nego i poliglota, što se pri međunarodnom prihvaćanju jedinice *tesla* pokazalo osobito važnim. Vladao je s četirima stranim jezicima, a služio se s još nekoliko. Brilljantnim raspravama na izvrsnom francuskom (svojedobno je studirao u Parizu) i engleskom jeziku, prof. Avčin je u to predvečerje pridonio da je nakon brojnih oporbi nekih izaslanika, na kraju izglasan naziv mjerne jedinice *tesla*. Zanimljiva su sjećanja samoga prof. Avčina, vrlo osobna ali zato iznimno dojmljiva. Izložio ih je na *Simpoziju »Nikola Tesla«* 1976. godine [1].

Prof. Avčin je još kao mlad stručnjak spoznao da je *magnetska indukcija* ( $B$ ) vrlo važna u elektromagnetizmu, znatno važnija od *jakosti magnetskoga polja* ( $H$ ): »cijeli magnetizam možeš napisati bez  $H$ , bez  $B$  pak ne«<sup>2</sup>.



Nikola Tesla uz svoje mjerne instrumente prvih godina 20. st.

<sup>1</sup> France Avčin (1910. – 1984.), inženjer elektrotehnike, doktor tehničkih znanosti, dugogodišnji profesor Elektrotehničkoga fakulteta Sveučilišta u Ljubljani, pisac niza znanstvenih radova iz područja mjeriteljstva. Autor mnogih tehničkih izuma, među njima i alpinističkih: *dereze avčinke*, sigurnosne planinarske vreće i dr. Čovjek široka duha, športaš, planinar, alpinist, gorski spasilac, lovac, skijaš, ..... . Pisac gotovo pjesničkih, ekološki nadahnutih knjiga *Kjer tišina šepeta* (Gdje tišina šapuće) 1965. god. i *Človek proti naravi* (Čovjek protiv prirode) 1969. god. Ovu posljednju je posvetio *mladeži, da izliječi čovjekov bolesni svijet*. U njoj je, između ostaloga zapisao i svoje životno načelo: *Čovjeka može spasiti samo složan zajednički život, sloboda duha i znanstveni napredak*.

<sup>2</sup> Svi navodi su iz referata prof. Avčina [1].

Zato se je kao član Tehničkoga odbora TC 24 *Međunarodnoga elektrotehničkoga povjerenstva* (IEC) odmah nakon 2. sv. rata zalagao da se pronađe naziv za jedinicu magnetske indukcije, te da bi za to bio doličan Nikola Tesla, velikan elektrotehnike.

Prva poratna sjednica 9. CGPM-a održana je 13. do 21. listopada 1948., a prof. Avčin je bio član YU-izaslanstva. Za konferencijskim je stolom sjedio po abecedi zemlje pretposljednji, a posljednji je sjedio izaslanik Francuske kao domaćina, znameniti fizičar i nobelovac Louis de Broglie, osnivač valne mehanike, a tada tajnik *Francuske akademije*. Tada je nastalo dragocjeno poznanstvo s L. de Broglieom te Avčino iskustvo o radu međunarodnih organizacija.

Sjednica IEC-a održavala se 22. lipnja do 1. srpnja 1953. u Opatiji. Već u pripremama je prof. Avčin javno upozoravao da tamo nije mjesto nezalicama i »gledaocima koji bi se prekrizanih ruku gostili na račun zajednice«. Bilo je to doba kada su se i na stručne skupove slali ideološki i politički povjerljivi ljudi, bez obzira na stručnost. Zato je na njega organiziran pravi pogrom, jer da je time uzrokovao nepopravljivu štetu prijedlogu jedinice *tesla*. Prof. Avčin se sjeća: »beogradski i zagrebački kolege su me se javno odrekli, s tim da su mi Zagrepčani – jedan po jedan – davali za pravo. .... Sa svojim nediplomatskim oglašavanjem još jednom nisam išao u neke račune.«

Prof. Avčin je bio član izaslanstva i na 10. CGPM-u 1954. god. Tom je sjednicom predsjedao Maurice de Broglie, Luisov brat. Švicarsku je zastupao Avčinov znanac prof. Mirko Roš, inače Slovenac, predsjednik *Švicarskoga instituta za ispitivanje materijala* (u razdoblju 1924. – 1949.), koji je Avčinu bio dragocjeni savjetnik i učitelj. Na tom se je zasjedanju Avčin zalagao za usvajanje *ampera* kao četvrte osnovne jedinice SI, što su mu zamjerali fizičari, koji su se zalagali da to bude magnetska permeabilnost vakuuma ( $\mu_0$ ). Na njihovom je čelu bio nizozemski fizičar i kemičar prof. Jan Hendrik de Boer iz *Instituta za teorijsku fiziku* u Amsterdamu, tajnik *Međunarodne udruge za čistu i primijenjenu fiziku* (UIPAP), koji će mu to vratiti šest godina poslije osporavajući naziv mjerne jedinice *tesla*.

Na proslavu stogodišnjice Teslina rođenja 1956. godine bili su pozvani mnogi uglednici iz zemlje i svijeta, iz IEC-a, bio je tu i nobelovac Niels Bohr (tvorac prvoga uporabivoga modela atoma), ali »nezgodni« prof. Avčin nije bio niti pozvan.

Mjerna jedinica *tesla* je ipak, uz mnoga nastojanja, bila prihvaćena 1956. god. u IEC-u, a također i u *Međunarodnom odboru za utege i mjere* (CIPM) 1958. god., ali glavna se odluka morala donijeti u *Općoj konferenciji za utege i mjere* – CGPM-u.

Povijesno zasjedanje 11. CGPM-a, na kojem je usvojen *Međunarodni sustav mjernih jedinica* (SI), sazvano je za 11. do 20. listopada 1960., u sjedištu *Međunarodnoga ureda za utege i mjere* (BIPM), u dvorcu *Pavillon de Breteuil* u gradiću Sèvresu pokraj Pariza. U radnim materijalima je jedinica *tesla* bila predložena zajedno sa svim drugim jedinicama predloženim za osnivanje SI-a.

Prof. Avčin je dobio materijale za to zasjedanje »po inerciji«. Uz ostale su bili najavljeni već spomenuti Avčinov »znanac« prof. de Boer, ugledni talijanski fizičar prof. Eligio Perucca i dr. YU-izaslanstvo su činili ljudi koji o predlaganju jedinice *tesla* nisu ništa znali, a niti su vladali službenim jezicima skupštine. Zalaganjem dr. Jože Vilfama, tadašnjega potpredsjednika Skupštine Slovenije i iskusnoga diplomata, prof. Avčin je pridružen izaslanstvu kao *savjetnik*, s time da je troškove plaćala Slovenija! YU-izaslanstvo ga je hladno primilo, s komentarom iza leđa: »A što će ovaj ovdje, koliko će još da nas bude?«.

Tako je izaslanstvo, umjesto da se pripremi za obranu Tesle i *tesle*, nespremno dočekalo četvrtu sjednicu toga zasjedanja, u srijedu, 18. listopada u 15 sati. Pod točkom 15. *Međunarodni sustav jedinica je Povjerenstvo za sustav jedinica*, kojim je predsjedao ugledni mjeritelj J. Stulla-Götz iz Austrije<sup>3</sup>, predložilo 12. zaključak, u kojem je među 13 predloženih izvedenih jedinica nazvanih po znanstvenicima, bila i jedinica magnetske indukcije *tesla* i njezin znak T. O drugim predloženim jedinicama, i starim i novim, nije bilo rasprave, ali je na sjednicu *tesla* krenuo opći napad.

Prvo je danski fizičar Jensen tražio da se briše naziv *tesla* i da jedinica magnetske indukcije ostane bez posebnoga naziva, dakle samo *veber po četvornom metru* (Wb/m<sup>2</sup>). Iza njega je nastupio de Boer, protiveći se nazivanju izvedenih jedinica; dakle *teslu* treba brisati. Slijedio je prof. Perucca, uglađen i diplomatski, ali protiv *tesle*. Avčinu je tada sinulo da su u podlozi stari, davno razriješeni sporovi između Tesle i talijanskih izumitelja: Galilea Ferrarisa o izumu višefaznih struja i indukcijskoga motora, te Guglielma Marconija o izumu radija.

Od ostatka YU-izaslanstva nije bilo nikakve koristi. Tada je prof. Avčin odlučio da svojim izvrsnim francuskim i engleskim, službenim jezicima zasjedanja, bez uvijanja pobije njihove argumente.

Na sreću, pojavila su se i dva saveznika. Prof. Arutinov, direktor *Svesavezna mjeriteljskog instituta „Mendeljejev“* iz tadašnjega Lenjingrada, izložio je nastojanja u elektrotehnici da se daje kratke i lagane nazive svim jedinicama, što *tesla* zadovoljava, te da se jedinica *tesla*, pošto ju je 1956. god. prihvatio IEC, već u njezovoj zemlji upotrebljava.

Slijedio je prof. Richard Vieweg<sup>4</sup>, predsjednik *Fizikalno-tehničkog saveznog ureda* u Braunschweigu, iz tadašnje Savezne Republike Njemačke, vrlo ugledan, »istinski pravičan i dobar prijatelj«. Založio se da se ograniči nazivanje mjernih jedinica, ali da je *tesla* već toliko u uporabi, te ga treba ostaviti.

To je ohrabrilo prof. Avčina, da je u raspravi na oba službena jezika izložio povijest jedinice *tesla*, upozorio da je već ušla i u neke zakone (npr. tadašnje Čehoslovačke). Na kraju je, na osnovi prigovora prve trojice osporavatelja *tesle* podrugljivo predložio da se ispusti i jedinica sile *njutn*, jer je i to izvedena jedinica ( $N = \text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ ), te neka se vrati na stari *pentadin* (10<sup>3</sup> dina).

<sup>3</sup> Poslije je, u razdoblju 1962. – 1968. godine bio predsjednik *Međunarodne organizacije za zakonsko mjeriteljstvo* (OIML).

<sup>4</sup> U razdoblju 1960. – 1964. godine bio je predsjednik CIPM-a, te je jedan od osnivača OIML-a.



Prof. France Avčin – zaslužan za međunarodno prihvaćanje mjerne jedinice tesla

Dr. Allen V. Astin<sup>5</sup>, izaslanik SAD-a, je bio »ni toplo ni hladno«, iako je pripomenuo kako je Nikola Tesla bio američki državljanin i kako je tamo ostvario svoje fantastične uspjehe.

Odlučan je bio nastup prof. Stulla-Götza, austrijskog izaslanika. On je napomenuo kako Austriji ne odgovara znak predmetka *deka* (znak da), ali će ga ipak ozakoniti. Zato poziva Skupštinu da 12. zaključak prihvati u cijelosti, dakle uključujući i jedinicu *tesla*.

Ponovno je nastupio de Boer, nepomirljivo se »u ime fizičara« protivio »svim nastojanjima elektrotehničara u uvođenju posebnih naziva jedinica, s kojima pritišću cijeli svijet.« Prof. Avčin to komentira riječima nekadašnjeg francuskoga kralja Luja XIV.: *Država, to sam ja!*

Nakon podulje rasprave pristupilo se glasovanju o mjerne jedinici *tesla*. Rezultat je bio slab, 11 za, 6 protiv i čak 12 suzdržanih! De Boer smatra da bi bila pogreška prihvatiti tako slabo podržan prijedlog. Tada je Hoti, inače pravnik, potpredsjednik *Narodnoga mađarskoga ureda za mjere*, upozorio kako je po statutu dovoljna obična većina, ali je ipak, zajedno s Arutinovim predložio da se glasuje za cijeli 12. zaključak.

Slijedio je još jedan pokušaj rušenja *tesle*. Već spomenuti prof. Perucca i portugalski izaslanik Carreira, napali su jedinicu *kilogram* i njezin decimalni znak (kg) kao nespretne, i tako pokušali spriječiti prihvaćanje 12. zaključka.

Predsjedniku zasjedanja Batillonu, inače tadašnjem predsjedniku *Francuske akademije*, bilo je dosta te rasprave. Predložio je glasovanje o cijelom 12. zaključku. U trenutku glasovanja je delegat Rumunjske bio duhom odsutan, pa ga je Rus Arutinov oštro *probudio*. Rezultat je glasovanja bio: 18 za, 1 protiv (de Boer) i 11 suzdržanih. Prof. Avčin je to pobjednički zapisao:

»Bio je 18. listopada 1960., u 17:30. Veliko ime Tesla je bilo primljeno u Međunarodni sustav mjernih jedinica „za sva vremena i sve narode“<sup>6</sup>«.

Sjednica je završila u 19:15. U predvorju je Avčinovo *lovačko uho* uhvatilo iz telefonske govornice riječi šefa YU-izaslanstva,

<sup>5</sup> U razdoblju 1951. – 1969. godine bio je direktor *Nacionalnoga ureda za norma* (NBS).

<sup>6</sup> Franc. *a tous les temps, à tous les peuples*; načelo tvoraca Metarskoga sustava s kraja 18. st.

upućene Poslanstvu SFRJ: »Čvrstome stavu naše delegacije uspjelo je .....«.

»Zavrtjelo mi se. Brže u prvi taksu, pa u moj skromni *hotelček!* Potom sam kupio *une bouteille du rouge* – burgundca za tu posebnu priliku – i legao u postelju te se iz sigurnosnih razloga u njoj *dobro napil.*«

De Boer poslije toga nije htio Avčina niti pogledati, kad su se susretali samo bi odvratio pogled. Ipak, prof. Avčin je svoju širokogrudnost pokazao i time što je glavnog osporavatelja jedinice *tesla* pošteno, iako vjerojatno s gorčinom, citirao u svom posljednjem mjeriteljskom djelu 1983. godine. Često se prisjećao, kako mu je taj dvoboju pojedinca protiv organiziranih osporavatelja, u predvečerje 18. listopada 1960., bila

najteža borba, u inače burnom životu. Poslije je sve bilo tiho, palo u zaborav. Prof. Avčin je dobio samo usmeno priznanje *s tapšanjem po ramenu*, da je *ipak borac!*

Stoga je ovaj prikaz i znak zahvalnosti prof. Avčinu što se izborio za mjernu jedinicu *tesla* i tako ovjekovječio Teslino ime. Sam je o tome samozatajno napisao:

»Teslin spomenik sada stoji, najveći mogući i najtrajniji: *monumentum aere perennius*<sup>7</sup>, trajniji od bronce. Duboko sam sretan i zahvalan dobroj sudbini što sam mu za vječni spomen smio ugraditi svoj skromni podložni kamen!«

## Literatura

- [1] Avčin, France, *Sprejetje enote "tesla (T)" v Mednarodni merski sistem (SI) za veličino indukcija (B)*. Simpozij »Nikola Tesla« u okviru programa proslave 120. obljetnice rođenja Nikole Tesle. Zagreb-Šmiljan/Gospić, 7 – 10. jula 1976., I. knjiga, JAZU, Zagreb 1978.
- [2] ..... *France Avčin, 1910-1984*. Izvještaji, vijesti i poruke (8). Mjeriteljsko društvo Hrvatske, Zagreb 1984.
- [3] ..... *Medunarodni sustav jedinica (SI)*. (prijevod izvornika u izdanju Međunarodnog ureda za utege i mjere), Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo, Zagreb 1998.
- [4] Jakobović, Zvonimir, *Mjerna jedinica tesla*. Radio HRS br. 6 (119), studeni 2006, str. 22-24.

<sup>7</sup> Lat., *spomenik trajniji od mjedi*.

# Logaritamske i srodne veličine i njihove jedinice

Mirko VUKOVIĆ, dipl. ing. el.  
dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ

Premda u svakodnevnome životu za mjerenje različitih veličina u pravilu upotrebljavamo linearne ljestvice (na primjer duljine, mase, temperature itd.), inženjeri i znanstvenici često rade s veličinama kojih su vrijednosti u rasponu od više redova veličine te takve veličine nije prikladno, a često grafički ni moguće, prikazivati u linearnim odnosima (ljestvicama). U tim je područjima tehnike i znanosti prikladno u primjenama umjesto s uobičajenim mjerenim veličinama raditi s logaritamskim funkcijama tih veličina kojima se ti intervali s velikim rasponima vrijednosti preslikavaju u uže intervale. Treba napomenuti da se recipročne vrijednosti tih odnosa izražavaju istim vrijednostima, ali s negativnim predznakom.

Premda većini ljudi logaritamski oblik zapisa djeluje znanstveno on se prirodno pojavljuje u opisu mnogih prirodnih pojava. Na primjer, ispitivanja su pokazala da organi osjeta čovjeka imaju logaritamske značajke<sup>(1)</sup>. Tako i osjet

zvuka čovjeka ima logaritamsku značajku, što je u tijesnoj vezi s prvom primjenom logaritamskih veličina i njihovih jedinica upravo u prijenosu zvučnoga signala u telefoniji, odnosno u elektroakustici.

U ovome ćemo članku dati prikaz logaritamskih veličina i njihovih jedinica te trenutni status tih jedinica u odnosu na međunarodni sustav jedinica (SI) kao i pravila uporabe tih jedinica utvrđena međunarodnim normama IEC-a, ISO-a i ITU-a.

## 1. Logaritamske veličine

Logaritamskim veličinama nazivaju se veličine koje su definirane s pomoću logaritamskih funkcija. Za potpunu definiciju



<sup>1</sup> Njemački fiziolog Ernest Weber (1795. – 1878.) utvrdio je da ne primamo apsolutne nego relativne promjene jakosti podražaja. On je proveo niz pokusa kojima je otkrio da je odziv na podražaj razmjernan ne apsolutnom, nego relativnom povećanju jakosti podražaja. Weberov je zakon kasnije popularizirao njemački fizičar Gustav Theodor Fechner (1801. – 1887.) te je po toj dvojici znanstvenika nazvan Weber-Fechnerovim zakonom. Taj je zakon dan jednostavnim matematičkim izrazom:

$$p = k \ln S + C,$$

pri čemu je  $p$  jakost osjeta,  $S$  jakost podražaja,  $\ln$  prirodni logaritam, a  $k$  i  $C$  stalnice. To pokazuje da se odziv pokorava logaritamskome zakonu. Drugim riječima za povećanje odziva u jednakim koracima odgovarajući se poticaj mora povećavati u stalnome omjeru, tj. geometrijskom progresijom.

logaritamske veličine <sup>(2)</sup> osim argumenta potrebno je specificirati i osnovicu logaritma.

Premda logaritam (s bilo kojom specificiranom osnovicom) daje istu informaciju o promatranoj mjerenoj veličini kao i sam argument, u određenim je tehničkim područjima (elektronici, telekomunikacijama, akustici, automatskome upravljanju) prikladno raditi s logaritamskim prikazima tih veličina jer se na taj način znatno olakšavaju izračuni, omogućuju grafički prikazi veličina koje se mijenjaju u veoma širokome rasponu vrijednosti (s omjerima između najveće i najmanje vrijednosti područja promjene veličine od više redova veličine) itd. U tim je tehničkim područjima glavna zadaća tehničkih uređaja i sustava osigurati što je moguće manje izobličenje pri prijenosu i obradbi signala. Signali se u takvim sustavima prenose serijski kroz različite elemente sustava (linije, pojačala, filtre itd.), pri čemu je izlaz jednoga elementa ulaz drugoga elementa i pritom se prijenosne značajke takvih sustava i njihovih elemenata množe. Prikazom prijenosnih značajka tih veličina [koji se opisuju omjerima izlazne i ulazne veličine (struje, napona, snage)] u logaritamskome obliku i radom s logaritamskim veličinama operacije množenja svode se na zbrajanje, dijeljenja na oduzimanje, potenciranja na množenje eksponentom. Takvi se sustavi pri njihovoj analizi obično rastavljaju na funkcionalne blokove, pri čemu je izlaz jednog bloka ulaz u drugi blok te se njihove prijenosne funkcije (kojima se opisuju pojačanja i prigušenja (slabljenja) signala na različitim frekvencijama) množe.

Veličine definirane logaritmima različitih osnovica međusobno su razmjerne, ali imaju različite vrijednosti te su prema tome različite veličine. Zbog razmjernosti između logaritama s različitim osnovicama, brođane se vrijednosti logaritamskih veličina mogu izraziti s pomoću logaritma s različitim osnovicama te tako uporabom različitih osnovica logaritama definirati i različite jedinice za te veličine kako ćemo vidjeti u nastavku.

## 2. Logaritamski omjeri veličina polja i veličina snage

Veličina koje je kvadrat razmjeran snazi kad ona djeluje na linearni sustav naziva se *veličinom polja* <sup>(3)</sup>. Za te se veličine upotrebljava opći znak  $F$  (vidi [1]). Veličina koja je razmjerna snazi naziva se u skladu s [1] *veličinom snage*. Za nju se obično upotrebljava opći znak  $P$ . Primjeri su veličina polja električna struja, napon, jakost električnoga polja, zvučni tlak brzina čestice i sila, dok veličine snage označuju također i veličine povezane s energijom kao što su na primjer djelatna, jalova i prividna snaga u elektrotehnici, akustička i elektromagnetska snaga te odgovarajuće gustoće snage.

<sup>2</sup> U skup logaritamskih i srodnih veličina ubrajaju se i linearne kombinacije logaritamskih veličina ili derivacija logaritamske veličine ili omjere logaritamske veličine i druge veličine, npr. koeficijent prigušenja.

<sup>3</sup> Veličine polja o kojima je riječ u ovome članku treba razlikovati od veličina kojima se opisuju polja u matematici i fizici.



Za sinusno promjenjive veličine polja kao argument logaritamske funkcije uzima se omjer amplituda ili efektivnih vrijednosti (druga korijena iz srednje vrijednosti kvadrata) <sup>(4)</sup>.

Za logaritamske omjere veličina polja upotrebljavaju se dvije vrste logaritama: logaritmi s osnovicom  $e$  ili prirodni logaritmi za koje se upotrebljava znak  $\ln$  (ili  $\log_e$ ) i dekadski (desetačni) logaritmi za koje se upotrebljava znak  $\lg$  (ili  $\log_{10}$ ).

Kako bi se u primjenama izbjegle nejasnoće, u praksi se pokazalo prikladnim da se za prijenos podataka o naravi odgovarajućega logaritamskog omjera veličina upotrebljavaju određene jedinice koje je potrebno eksplicitno navesti. Te jedinice potječu iz uporabe logaritama s različitim osnovicama.

U skladu s navedenim razmatranjem ovisno o odabiru vrste logaritma (logaritma s osnovicom  $e$  ili logaritma s osnovicom 10) nameću se kao rješenja dvije temeljne brođane jedinice za izražavanje vrijednosti logaritamskih veličina koje su samo posebni nazivi brojeva. To su jedinica *neper* (znak  $Np$ ) <sup>(5)</sup> koja predstavlja vrijednost logaritamskoga omjera veličina polja  $F_1$  i  $F_2$  kad je  $F_1/F_2 = e$  ili vrijednost logaritamskoga omjera veličina snage  $P_1$  i  $P_2$  kad je  $P_1/P_2 = e^2$  i jedinica *bel* (znak  $B$ ) <sup>(6)</sup> koja predstavlja vrijednost logaritamskog omjera veličina polja  $F_1$  i  $F_2$  kad je  $F_1/F_2 = \sqrt{10}$  ili vrijednost logaritamskog omjera veličina snage  $P_1$  i  $P_2$  kad je  $P_1/P_2 = 10$ . U praksi se *bel* <sup>(7)</sup> rijetko upotrebljava, upotrebljava se isključivo njegov nižekratnik *decibel* (znak  $dB$ ), pri čemu je  $1\text{ dB} = (1/10)\text{ B}$ . Jedinice *neper*, *bel* i *decibel* prihvatio je CIPM za uporabu s međunarodnim sustavom jedinica, ali ih ne smatra jedinicama SI-ja. Prema tome između tih jedinica imamo sljedeće odnose:

<sup>4</sup> Za nesinusne veličine polja njihovu je efektivnu vrijednost potrebno specificirati ili upotrebljavati u odgovarajućemu vremenskom odsječku. Kad je riječ o periodičnim veličinama, taj je vremenski odsječak jednak trajanju jedne periode te veličine.

<sup>5</sup> Jedinica *neper* nazvana je po škotskome matematičaru i teologu, barunu Johnu Napieru od Merchistona (1550. – 1617.) izumitelju logaritama.

<sup>6</sup> Jedinica *bel* nazvana je po američkom inženjeru škotskoga podrijetla Alexanderu Grahamu Bellu (1847. – 1922.), izumitelju telefona.

<sup>7</sup> U međunarodnome elektrotehničkom rječniku IEC 60050-801 *bel* se definira kao „jedinica razine veličine razmjerne snazi kad je osnovica logaritma jednaka deset“. Također, „jedinica razine veličine polja kad je osnovica logaritma jednaka kvadratnome korijenu iz broja deset“. Primjeri su veličina sličnih snazi zvučna snaga i zvučna energija. Primjeri su veličina koje izražavaju polje zvučni tlak i napon. [IEV 801-22-02]

$$1 \text{ Np} = (\ln e) \text{ Np} = 2 (\lg e) \text{ B} = 20 (\lg e) \text{ dB} \approx 8,685 \ 889 \text{ dB}$$

$$1 \text{ B} = 2 (\lg \sqrt{10}) \text{ B} = 10 \text{ dB} = (\ln \sqrt{10}) \text{ Np} \approx 1,151 \ 292 \text{ Np}$$

$$1 \text{ dB} = \frac{1}{10} \text{ B} = \frac{1}{10} (\ln \sqrt{10}) \text{ Np} \approx 0,115 \ 129 \ 2 \text{ Np}$$

Budući da su logaritmi istoga broja s različitim osnovicama međusobno razmjerni<sup>(8)</sup> te da njihov odnos ovisi samo o tim osnovicama lako je uspostaviti vrijednost između dviju logaritamskih jedinica. Kad je riječ o neperu (koji se temelji na uporabi prirodnoga logaritma s osnovicom  $e$ ) i belu (koji se temelji na uporabi dekadskoga logaritma s osnovicom 10) taj je odnos dan sljedećim izrazom  $1 \text{ B} = (1/2)\ln 10 \text{ Np} \approx 1,151 \ 293 \text{ Np}$ . Uporaba nepera uglavnom je ograničena na teoretske izračune s veličinama polja, kad je ta jedinica najprikladnija, dok se u drugim slučajevima, posebno za veličine snage, bel ili, u praksi njegov nižekratnik decibel, znak dB, široko upotrebljavaju. Treba istaknuti da činjenica da je neper odabran kao suvisla jedinica ne podrazumijeva da treba izbjegavati uporabu bel. CIPM i OIML prihvatili su bel za uporabu sa SI-jem. Ta situacija je u određenom smislu slična činjenici da se u praksi obično upotrebljava jedinica stupanj<sup>(9)</sup> umjesto suvisle jedinice SI-ja radijan (rad) za ravninski kut.

Da bi se u praktičnim primjenama logaritamskih veličina izbjegle nejasnoće, jedinicu uvijek treba pisati eksplicitno nakon brojčane vrijednosti čak kad je jedinica neper,  $1 \text{ Np} = 1$ . Prema tome za veličine snage razina je općenito dana izrazom  $L_p = 10 \lg(P/P_0) \text{ dB}$  te nas zanimaju brojčana vrijednost i argument omjera  $P/P_0$ . Brojčana vrijednost međutim nije ista kao veličina  $L_p$  jer jedinica decibel (ili jedinica bel) nisu jednake jedan, 1. To se primjenjuje na veličine polja kad je općenito razina dana izrazom  $L_F = 10 \lg(F/F_0)^2 \text{ dB}$ .

Odnos između veličine polja i veličine snage može se prikazati na sljedeći način. Ako su  $P_1$  i  $P_2$  dvije veličine snage povezane s odgovarajućim veličinama polja faktorima razmjernosti  $k_1$  i  $k_2$  tada možemo pisati:  $P_1 = k_1 F_1^2$ ,  $P_2 = k_2 F_2^2$ . Otuda proizlazi da je

$$\begin{aligned} Q_{dB} &= \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_2} = \frac{1}{2} \ln \frac{k_1 F_1^2}{k_2 F_2^2} = \ln \frac{F_1}{F_2} + \frac{1}{2} \ln \frac{k_1}{k_2} \\ &= Q_{(F)} + \frac{1}{2} \ln \frac{k_1}{k_2} \end{aligned}$$

iz čega se vidi da u općemu slučaju odnos između  $Q_{dB}$  i  $Q_{(F)}$  ovisi o omjeru faktora razmjernosti  $k_1/k_2$ . U posebnome slučaju, kad je  $k_1 = k_2$  bit će  $Q_{dB} = Q_{(F)}$ .

To objašnjava zašto se u izrazima za veličine snage  $Q_{dB}$  u brojčanim vrijednostima pojavljuje faktor 1/2 te faktori 2, 20 i 1/2.

U elektrotehnici omjer  $k_1/k_2$  često je omjer impedancija ili admitancija. Stoga usporedba vrijednosti logaritamskih omjera koji uključuju veličine polja bez odgovarajućih podataka o impedanciji ili admitanciji mogu biti bez značenja ili navoditi na pogrešan zaključak.

Za praktične primjene u elektronici, telekomunikacijama i akustici i automatskome upravljanju, uglavnom se općenito

upotrebljava nižekratnik bel (B), decibel (dB)<sup>(9)</sup>, koji se temelji na dekadskim logaritmima.

U teoretskim se izračunima iz kompleksnoga zapisa i prirodnih logaritama za amplitudu kao rezultat prirodno pojavljuje neper (Np) zajedno s radijanom (rad) za fazni kut. Promatrajmo kao primjer omjer dviju kompleksnih veličina  $E_1, E_2$ .

$$\begin{aligned} \frac{E_1}{E_2} &= \frac{|E_1| e^{j\vartheta_1}}{|E_2| e^{j\vartheta_2}} = \frac{|E_1|}{|E_2|} e^{j(\vartheta_1 - \vartheta_2)} \\ Q_{dB} &= \ln \frac{E_1}{E_2} = \ln \frac{|E_1|}{|E_2|} + j(\vartheta_1 - \vartheta_2) \end{aligned}$$

Kad je riječ o osnovicama 10 i  $e$  te se jedinice nazivaju redom belom i neperom. Neper (Np) se upotrebljava za izražavanje vrijednosti veličina čije se brojčane vrijednosti temelje na uporabi Neperovih (ili prirodnih) logaritama ( $\ln = \log_e$ ). Bel i decibel (B i dB), pri čemu je  $1 \text{ dB} = (1/10) \text{ B}$ , upotrebljavaju se za izražavanje logaritamskih omjera veličina čije se brojčane vrijednosti temelje na dekadskim logaritmima ( $\lg = \log_{10}$ ). Jedinice neper, bel i decibel prihvatio je CIPM za uporabu s međunarodnim sustavom jedinica, ali ih ne smatra jedinicama SI-ja.

### 3. Razine

U mnogim se slučajevima usporedba neke veličine sa specifičanom referentnom veličinom iste vrste (i dimenzije) izražava logaritmom omjera tih dviju veličina pri čemu je veličina u nazivniku referentna veličina iste vrste kao i veličina u brojniku. Takav se logaritamski omjer dviju veličina polja ili dviju veličina snage naziva razinom<sup>(10)</sup>. Razina se općenito označuje znakom  $L$  kojem se kao indeks može dodati oznaka veličine. Na primjer, za razinu polja upotrebljava se oznaka  $L_p$  a za razinu snage oznaka  $L_F$ . Mogu se upotrebljavati i drugi nazivi i znakovi. Sama po sebi veličina čija se razina iskazuje može biti jednostavna veličina, npr. snaga ili omjer, npr.  $P/A$ , pri čemu je  $A$  ploština, dok se za referentnu veličinu pretpostavlja da ima stalnu vrijednost, npr.  $1 \text{ mW}$ ,  $1 \text{ W}$ ,  $1 \text{ mW/m}^2$ ,  $20 \text{ mPa}$ ,  $1 \text{ mV/m}$ .

Pojam razine ne primjenjuje se na kompleksne veličine. Stoga se razine općenito daju u decibelima.

Iz svojstava logaritama proizlazi da je razlika između dviju razina određena istom referentnom veličinom neovisna o vrijednosti referentne veličine.

<sup>9</sup> U praksi je na međunarodnoj razini uporaba decibela (dB) prevladala otkad je ITU (1968.) donio odluku da će upotrebljavati samo decibel. To je u određenome smislu slično činjenici da se jedinica stupanj (...<sup>o</sup>) općenito upotrebljava u praksi umjesto suvisle jedinice SI-ja radijan (rad) za ravninski kut.

<sup>10</sup> U IEC 60050-801 razina se definira kao „logaritam omjera dane veličine i referentne veličine iste vrste; osnovica logaritma, referentna veličina i vrsta razine moraju se navesti“. U napomenama uz tu definiciju utvrđuje se da se vrsta razine označuje uporabom složenoga naziva kao što je razina zvučne snage ili razina zvučnoga tlaka, te da osnovica logaritama proizlazi iz uporabe jedinice razine, koja odgovara toj osnovici. [IEV 801-22-01]

<sup>8</sup> Iz logaritamskog računa poznato je da je odnos dvaju logaritama s osnovicama  $a$  i  $b$  ( $a, b > 0$ ) broja  $F$  povezan izrazom  $\log_a(F) = \log_b(b) \log_b(F)$ .

Na primjer za razliku razina snage dobivamo:

$$\Delta L_p = 10 \left( \lg \frac{P_2}{P_{\text{ref}}} \right) \text{ dB} - 10 \left( \lg \frac{P_1}{P_{\text{ref}}} \right) \text{ dB} = 10 \left( \lg \frac{P_2}{P_1} \right) \text{ dB}$$

neovisno o vrijednosti  $P_{\text{ref}}$ .

Za određene referentne veličine u odnosu na koje se iskazuju razine normirane su brojčane vrijednosti

U području akustike referentne su razine definirane u normi ISO 1683 (vidi [10]).

## 4. Dodatni podatci o logaritamskim omjerima veličina polja i veličina snage

U skladu s temeljnim načelima algebre veličina nije dopušteno nikakvo pridjeljivanje naziva ili znaka jedinice kao sredstva koje daje podatke o posebnoj naravi fizičke veličine ili kontekstu promatranoga mjerenja (vidi normu ISO 80000-1:20, *Veličine i jedinice – 1. dio: Opća načela*). Međutim takva se pridjeljivanja još uvijek upotrebljavaju za razine u telekomunikacijama i akustici. To je uobičajeno i za ponderirane ljestvice u akustici. Takve se dopunske informacije moraju pridruživati veličinama, a ne jedinicama.

Primjeri su takvih odnosa:

$$\begin{aligned} L_I (\text{re } 1 \text{ A}) &= -10 \text{ Np ili } L_{I/A} = -10 \text{ Np} \\ L_P (\text{re } 1 \text{ mW}) &= 5 \text{ dB ili } L_{P/mW} = 5 \text{ dB} \\ L_P (\text{re } 1 \mu\text{V/m}) &= 7 \text{ dB ili } L_{E/1\mu\text{V/m}} = 5 \text{ Np} \\ L_p (\text{re } 20 \mu\text{Pa}) &= 15 \text{ dB ili } L_{p/20\mu\text{Pa}} = 15 \text{ dB} \\ L_A (\text{re } 20 \mu\text{Pa}) &= 60 \text{ dB ili } L_A = 60 \text{ dB} \end{aligned}$$

Ako je brojčana vrijednost referentne veličine u zagradama nakon „re“ ili nakon kose crtice u donjemu indeksu jednaka 1, ona se može izostaviti, npr.  $L_p (\text{re mW}) = 7 \text{ dB}$  ili  $L_{P/mW} = 7 \text{ dB}$ .

U praksi se često upotrebljava sljedeći kraći oblik s razmakom između znaka jedinice i dodatnim podatcima koji daju na primjer referentnu vrijednost ili ponderiranu ljestvicu:

$$\begin{aligned} -10 \text{ Np (1 A)} \\ 5 \text{ dB (1 mW)} \\ 5 \text{ Np (1 } \mu\text{V/m)} \\ 15 \text{ dB (20 } \mu\text{Pa)} \\ 60 \text{ dB (A)} \end{aligned}$$

Kad se pri uporabi kraćega oblik zapisa u zagradama nalazi broj 1, taj se broj ne smije izostavljati.

Sljedeći se oblici trebaju međutim **izbjegavati** jer se dodatni podatci moraju pridruživati veličini, a ne vrijednosti veličine ili jedinici:

$$\begin{aligned} -10 \text{ Np(1 A)} \\ 7 \text{ dB(1 mW) ili } 7 \text{ dBm} \\ 5 \text{ Np(1 } \mu\text{V/m) ili } 5 \text{ Np}\mu \\ 15 \text{ dB(20 } \mu\text{Pa)} \\ 60 \text{ dB(A) ili } 60 \text{ dBA} \end{aligned}$$

U shemama i tablicama te na mjerilima preporučuje se da se brojčana vrijednost označuje kao omjer promatrane veličine i jedinice kojom se izražava; na primjer  $\frac{L_A (\text{re } \mu\text{Pa})}{\text{dB}}$ .

## 5. Logaritamske veličine koje se upotrebljavaju u teoriji informacija

U teoriji informacija upotrebljavaju se logaritmi s trima različitim osnovicama za brojčane vrijednosti. To su *binarni logaritam*, znak lb (ili  $\log_2$ ), *prirodni logaritam*, znak ln (ili  $\log_e$ ), *dekadski logaritam*, znak lg (ili  $\log_{10}$ ).

U teoriji informacija dobivaju se sljedeći opći izrazi logaritamske veličina ( $Q$ ) izražene u različitim jedinicama:

$$Q = (\text{lb } x) \text{ Sh} = (\ln x) \text{ nat} = (\lg x) \text{ Hart}$$

pri čemu je  $x$  realni broj, šenon (znak Sh) je vrijednost veličine  $Q$  kad je argument  $x = 2$ , prirodna jedinica informacije (znak nat) vrijednost je veličine  $Q$  kad je argument  $x = e$ , hartli (znak Hart) vrijednost je veličine  $Q$  kad je argument  $x = 10$ .

Prema tome između tih jedinica vrijede sljedeći odnosi:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Sh} &= (\text{lb } 2) \text{ Sh} = (\ln 2) \text{ nat} = (\lg 2) \text{ Hart} = \\ &= 0,693 \ 147 \ \text{nat} = 0,301 \ 030 \ \text{Hart} \\ 1 \ \text{nat} &= (\ln e) \ \text{nat} = (\lg e) \ \text{Hart} = (\text{lb } e) \ \text{Sh} = \\ &= 0,434 \ 294 \ \text{Hart} = 1,442 \ 695 \ \text{Sh} \\ 1 \ \text{Hart} &= (\lg 10) \ \text{Hart} = (\text{lb } 10) \ \text{Sh} = (\ln 10) \ \text{nat} = \\ &= 3,321 \ 928 \ \text{Sh} = 2,302 \ 585 \ \text{nat}. \end{aligned}$$

U teoriji informacija ne upotrebljava se kompleksni zapis. Ni međunarodni sustav veličina na kojemu se temelji SI (ISQ) ni sam SI nije ni u kakvu odnosu s teorijom informacija. Iz tehničkih razloga binarni je prikaz veoma uobičajen u informacijskoj tehnici. To je razlog zašto se u teoriji informacija upotrebljavaju binarni, a ne prirodni logaritmi. Treba međutim napomenuti da je uobičajeno u teoriji informacija, kad nije nužno specificirati vrijednosti veličine, raditi s logaritima čija osnovica nije specificirana [znak log (vidi normu ISO 80000-2, *Veličine i jedinice – 2. dio: Znakovi matematičkih operacija i znakovi veličina koji se upotrebljavaju u prirodnim znanostima i tehnici*)].

S veličinom  $Q$  definiranom dogovorno binarnim logaritmom, tj.:

$$Q = \text{lb } x$$

pa je šenon (Sh) suvisla jedinica koja se može zamijeniti s brojem jedan (znak 1).

Na primjer, za neki događaj s vjerojatnošću  $p = 1/3$  sadržaj informacije  $I$  jednak je:

$$I = \begin{cases} (\text{lb } 3) \text{ Sh} = 1,585 \ \text{Sh} \\ (\ln 3) \text{ nat} = 1,098 \ \text{nat} \\ (\lg 3) \text{ Hart} = 0,477 \ \text{Hart} \end{cases}$$

## 6. Druge logaritamske veličine

### 6.1 Općenito

Osim omjera veličina polja i snage te logaritamskih veličina iz teorije informacija postoje i druge logaritamske veličine. Primjeri su takvih veličina logaritamski frekvencijski interval, optička gustoća, kiselost (pH).

Jedinice neper (Np) i bel (B), ili njegov nižekratnik decibel (dB), ne smiju se upotrebljavati kad ne postoji odnos između promatrane veličine polja ili veličine snage.

Jedinice šenon (Sh), prirodna jedinica informacije (nat) i hartli (Hart) mogu se upotrebljavati samo u teoriji informacija.

### 6.2 Logaritamski frekvencijski interval

Za *logaritamski frekvencijski interval* za brojčanu se vrijednost upotrebljavaju logaritmi s dvjema različitim osnovicama. To su binarni logaritam, znak lb (ili  $\log_2$ ), i dekadski logaritam, znak lg (ili  $\log_{10}$ ).

Za *logaritamski frekvencijski interval* u različitim se jedinicama dobivaju sljedeći opći izrazi:

$$G = \left( \text{lb} \frac{f_2}{f_1} \right) \text{ oct} = \left( \text{lg} \frac{f_2}{f_1} \right) \text{ dec}$$

pri čemu su  $f_2 \geq f_1$  dvije frekvencije; oktava (oct) je vrijednost veličine  $G$  kad je argument  $f_2/f_1 = 2$ , a dekada (dec) je vrijednost veličine  $G$  kad je argument  $f_2/f_1 = 10$ .

Prema tome između oktave i dekade vrijede sljedeći brojčani odnosi:

$$1 \text{ oct} = (\text{lb } 2) \text{ oct} = (\log 2) \text{ dec} = 0,301 \text{ 030 dec}$$

$$1 \text{ dec} = (\text{lg } 10) \text{ dec} = (\text{lb } 10) \text{ oct} = 3,321 \text{ 928 oct.}$$

Nižekratnik je dekade savart, vrijednosti 1 savart = 0,001 dec.

S veličinom  $G$  dogovorno definiranom binarnim logaritomom, tj.

$$G = \left( \text{lb} \frac{f_2}{f_1} \right)$$

što je praksa u akustici, oktava (znak oct), suvisla je jedinica pa se može zamijeniti s brojem jedan (znak 1) (vidi ISO 80000-8 [2]).

## 7. Nazivi, znakovi i definicije

Nazivi, znakovi i definicije logaritamskih veličina i njihovih jedinica u elektrotehnici preporučeni su u drugim dijelovima norme IEC 60027, uglavnom u 2. dijelu. Nazivi, znakovi i definicije logaritamskih veličina i njihovih jedinica u teoriji informacija preporučeni su u normi ISO/IEC 2382-16 (vidi [6]).

## Kratki pregled povijesti rasprava na međunarodnoj razini o logaritamskim jedinicama

Za mjerenje kakvoće prijenosa signala u telefoniji od 1896. do 1923. godine upotrebljavala se jedinica koja je bila definirana omjerom izlazne i ulazne zvučne snage između dviju točaka na telefonskome kabelu, a nazivala se *miljom normiranoga kabela* (mile of standard cable, MSC). Tako je Britanska pošta upotrebljavala jedinicu MSC koja je bila jednaka omjeru snaga pri signalu od 800 Hz na dva kraja otvorene žice duljine jedne milje koja je imala masu od 20 funta (~ 9 kg), otpor od 88 oma, induktivitet od 1,0 mH i kapacitet od 54 nF. U SAD-u je MSC imao slične vrijednosti, osim što za njega nisu bili definirani masa i induktivitet, a kapacitet je bio zao kružen na 60 nF. Taj je etalon odgovarao parametrima otvorene bakrene žice veličine B&S AWG 19 (~ 0,65 mm<sup>2</sup>), duljine jedne milje. Jedinica MSC približno je odgovarala promjeni zvučne snage koju može osjetiti ljudsko uho. Kako je MSC bio ovisan o frekvenciji, njegova je primjena bila ograničena na telefoniju. Stoga se s razvojem telekomunikacijske tehnike, pogotovu u području viših frekvencija, pokazalo potrebnim definirati drugu jedinicu koja bi imala generički karakter te koja bi se mogla primjenjivati i drugim tehničkim područjima.

W. H. Martin iz Sustava Bell u svojem članku *Transmission Unit and Telephone Transmission Reference Systems* (vidi [11]) definirao je zahtjeve koje bi trebala zadovoljavati nova jedinica za mjerenje djelotvornosti prijenosa. Ona bi trebala biti logaritamska po karakteru (budući da je uz ostalo logaritamska jedinica poželjna u akustičkim mjerenjima jer je osjećaj glasnoće u uhu logaritamska funkcija zvučne energije), neovisna o frekvenciji, temeljiti se na omjeru snaga (koji je stvarna mjera djelotvornosti prijenosa), biti prikladna za primjene i u drugim područjima osim akustike, imati približno isti iznos kao i „milja normiranoga kabela“ kako bi se izbjegle promjene u postojećim tehničkim rješenjima kad je riječ o mjerenju prijenosa te prikladna za izračune.

Stoga je 1924. godine MSC zamijenjen je tzv. *jedinicom prijenosa* (Transmission Unit, TU). Jedinica prijenosa odabrana je tako da se dva iznosa snaga razlikuju za jedan TU kad je njihov omjer jednak 10<sup>0,1</sup> te da se dvije snage razlikuju za  $N$  jedinica kad je njihov omjer jednak 10<sup>0,1 $N$</sup> . Broj jedinica prijenosa koji odgovara omjeru dviju snaga  $P_1$  i  $P_2$  tada je jednak logaritmu s osnovicom 10 omjera  $P_1/P_2$  podijeljenom s 0,1. To se može napisati kao  $N = 10 \log_{10}(P_1/P_2)$ . Kako je  $N$  logaritamska funkcija omjera snaga bilo koja dva broja jedinica  $N_1$  i  $N_2$ , koji redom odgovaraju dvama omjerima  $P_a/P_b$  i  $P_c/P_d$ , mogu se zbrojiti te će rezultat  $N_1 + N_2$  odgovarati umnošku tih omjera  $(P_a/P_b) \times (P_c/P_d)$ . Iz prethodnoga se izraza vidi da je mjera u jedinicama prijenosa omjer dviju vrijednosti snaga  $P_1$  i  $P_2$  jednaka  $N$  kad je  $N = \log_{10}(P_1/P_2) / \log_{10}(10^{0,1})$ .

Uvođenjem jedinice TU uklonjeni su problemi koji su bili povezani s uporabom *milje normiranoga kabela* koji su se odnosili na frekvencijsku ovisnost zbog svojstvenih kapaciteta i induktiviteta *normiranoga kabela*. TU je bio neovisan o fre-



kvenciji te se mogao upotrebljavati za određivanje omjera snaga na bilo kojoj frekvenciji te tako primjenjivati i u drugim područjima, a ne samo u telefoniji.

Definiranje jedinica MSC i TU kao i rasprave o njima u to su se doba vodile uglavnom na razini operatera telefonskih sustava poput Sustava Bell.

U kontinentalnoj je Europi već u to vrijeme kao jedinica logaritamskoga prigušenja bio prihvaćen *neper*. Ta se jedinica temeljila na „prirodnome sustavu ili sustavu  $\beta l$ “ koji se temeljio na parametru prigušenja pridruženu kabelskim linijama. Znak  $\beta$  predstavlja stalnicu prigušenja, a  $l$  je duljina linije. Sustav  $\beta l$  zagovarala je Međunarodna telefonska i telegrafska konferencija. Međutim bio je prihvaćen isključivo u kontinentalnoj Europi.

Jedinstven međunarodni dogovor <sup>(11)</sup> o odabiru jedne zajedničke jedinice za opis djelotvornosti prijenosa signala u telekomunikacijama pokušao se postići na sastancima *Međunarodnoga savjetodavnog odbora za međugradsku telefoniju* u Europi na kojim su sudjelovali i predstavnici SAD-a, odnosno Sustava Bell. Predstavnici SAD-a preporučivali su da se temeljna jedinica definira tako da po iznosu bude jednaka „deset jedinica prijenosa“, što je bilo istovrijedno omjeru snaga od  $10^{1,0}$ , te da se ta temeljna jedinica nazove *belom* prema Alexanderu Grahamu Bellu, izumitelju telefona. Iz praktičnih je razloga u uporabi *bel* bio zamijenjen *decibelom* jer se uporabom manje od tih dviju jedinica postiže veće razlučivanje. Predmetkom *deci* željelo se istaknuti da je odnos između tih dviju jedinica jednak jednoj desetini. Odnos od jedne desetine između tih dviju jedinica određuje omjer između vrijednosti eksponenata u odgovarajućim omjerima snaga iskazanim potencijom broja 10, koji je za decibel jednak 0,1, a za bel 1,0. Sam je omjer snaga u slučaju decibela jednak desetome korijenu iz broja deset, a u slučaju bela on je jednak deset, a ne odgovarajućemu omjeru eksponenata u potenciji broja 10. Tako je vrijednost omjera snaga koja odgovara jednom decibelu jednaka  $10^{0,1} = 1,259$  (ili približno 5:4), dok je omjer snaga koji odgovara 2 decibela jednak  $10^{0,2} = 1,585$  (ili približno 3:2) <sup>(12)</sup>. Za normalnu čujnost najslabiji zvuk koji se može osjetiti nalazi se u području od približno 1 do 2 decibela.

Međutim, rasprava o odabiru jedne međunarodno preporučene jedinice nikad nije riješena, nego je završena kompromisom prema kojem je *Europski međunarodni savjetodavni odbor* europskih uprava za međugradsku telefoniju te dvije jedinice bel (odnosno njegov nižekratnik decibel) i neper smatrao prihvatljivima za svjetsku praksu. Bel i decibel uglavnom su se upotrebljavali u Sjevernoj Americi i UK-u, a neper je ostao u uporabi u kontinentalnoj Europi.

U najnovije vrijeme (2001. godine) nekoliko je vodećih znanstvenika iz područja mjeriteljstva i mjernih jedinica I. M. Mills, B. N. Taylor i A. J. Thor [8] pokrenulo, pitanje odabira *nepera* kao preporučene jedinice za opis logaritamskoga prigušenja ili pojačanja snage jer njegov opis kao logaritamske veličine zadovoljava sve znanstvene smjernice i kriterije za prihvaćanje kao jedinice SI-ja.

<sup>11</sup> U to je vrijeme to zapravo bio dogovor predstavnika vodećih industrijskih država iz Sjeverne Amerike i Europe.

<sup>12</sup> Najmanja primjetna razlika između dviju zvučnih razina koje može osjetiti ljudsko uho približno je jednaka 3:2.



Alexander Graham Bell



John Napier barun od Merchistona

U Preporuci 1 (CI-2001) Savjetodavni odbor za jedinice (Comité Consultatif des Unités, CCU) potvrdio je odluku CIPM-a da se za *broj jedan* prihvati posebni naziv *neper* sa znakom Np kao nedimenzijska izvedena jedinica SI-ja za izražavanje vrijednosti logaritamskih veličina kao što su logaritamski dekrement, razina polja ili razina snage koje su definirane s pomoću prirodnih logaritama. Također je preporučio da se za uporabu s jedinicama SI-ja, kad se upotrebljavaju logaritmi s osnovicom

deset, prihvate jedinice bel (znak B) i njegov nižekratnik decibel (znak dB), koji se obično upotrebljava u praksi.

Naime, prema mišljenju CCU-a prirodni logaritam (logaritam s osnovicom e) ima prednost u odnosu na logaritme s drugim osnovicama za izražavanje vrijednosti logaritamskoga prigušenja, razina polja i razine snage jer se uporabom toga logaritma pojednostavnjuju veličine i veličinske jednadžbe. Nadalje, kako se za kompleksne veličine može upotrebljavati samo prirodni logaritam CCU je smatrao da time radijan i neper postaju slične jedinice te da stoga moraju u SI-ju imati isti status.

Stoga je CCU preporučio da se za suvislu jedinicu SI-ja *jedan* za iskazivanje vrijednosti logaritamskih veličina u područjima

kao što su prigušenje signala, elektrotehnika i akustika prihvati poseban naziv *neper* sa znakom Np, kako bi se održao unutrašnji sklad SI-ja.

Ta je preporuka upućena 21. općoj konferenciji za utege i mjere (CGPM), ali nikad nije prihvaćena. Premda formalno CGPM nije priznao neper, bel i decibel kao jedinice SI-ja; međutim je priznao kao jedinice izvan SI-ja jer su neformalno, iako ne formalno, iz pragmatičnih razloga u praksi prihvaćene svugdje u svijetu.

Glavne međunarodne normizacijske organizacije ITU, ISO i IEC u nizu su preporuka i norma prihvatile uporabu tih jedinica u normizacijskoj praksi.

## Literatura

- [1] Međunarodna norma IEC 60027-3:2002; *Slovni znakovi u elektrotehnici – 3. dio: Logaritamske veličine i jedinice*, IEC, Ženeva, Švicarska
- [2] ISO 80000-8:2007, *Veličine i jedinice – 8. dio: Akustika*
- [3] IEC 60050-801:1994, *Međunarodni elektrotehnički rječnik – Poglavlje 801: Akustika i elektroakustika*
- [4] Preporuka ITU-R V.574-3, *Uporaba decibela i nepera u telekomunikacijama (1990.)*, Međunarodna telekomunikacijska unija, Ženeva, Švicarska
- [5] Međunarodna norma ISO 80000-3:2006; *Veličine i jedinice – 3. dio: Prostor i vrijeme*, ISO, Ženeva, Švicarska
- [6] ISO/IEC 2382-16:1996; *Informacijska tehnika – Rječnik – 16. dio: Teorija informacija*
- [7] Međunarodni sustav jedinica (Le Systeme international d'unités, SI), Bureau international des poids et mesures (BIPM), Pariz, Francuska (u tu je publikaciju uključena i odluka CI-180 koja se odnosi na uporabu jedinica neper, bel i decibel sa SI-jem). Postoji hrvatski prijevod te publikacije u izdanju DZM-a (2008. godine)
- [8] Definitions of the units radian, neper, bel and decibel, I. M. Mills, B. N. Taylor i A. J. Thor, *Metrologia* (2001), 38, 353-361, BIPM
- [9] On logarithmic ratio quantities and their units, I. M. Mills, C. Morfey, *Metrologia* (2005), 42, 246-252, Institute of Physics Publishing BIPM
- [10] Decibel – The Name for the Transmission Unit, W. H. Martin, *The Bell System Technical Journal*, Jan. 1929.
- [11] Transmission Unit and Telephone Transmission Reference Systems, W. H. Martin, *Journal A.I.E.E.*, June 1924.
- [12] Децибелы, Е. А. Зелдин, *Энергия*, Москва, 1972., УДК 621.3.081.4
- [13] NUWC-NPT Technical Report 11,980, June 2010, *The Decibel Report: Acoustic Sound Measurement, Modeling and the Effects of Sonar on Marine Mammals*, Richard A. Katz, Naval Undersea Warfare Center Division Newport, Rhode Island, SAD
- [14] ISO 1683:2008, *Akustika – Preporučene referentne vrijednosti za akustičke i vibracijske razine*

# IT'S SIMPLE

...because we know how to create...

design

text

fonts

picture

match print

press

editing

layout



**LASERPLUS**  
GRAFIČKA ČAROLIJA

tel: 01 6180 111 • fax: 01 6180 703

email: [laser@laser-plus.hr](mailto:laser@laser-plus.hr)

www: [www.laser-plus.hr](http://www.laser-plus.hr)

# Povijest zapadnoga kalendara

Mirko VUKOVIĆ, dipl. ing. el.  
dr. sc. Zvonimir JAKOBOVIĆ, dipl. ing.

## Uvod

Da bi mogli planirati i usklađivati svoje djelatnosti i organizirati život u zajednici, ljudi moraju utvrditi za sve jedne te iste vremenske odnose. Stoga su se sva ljudska društva trudila uspostaviti službeno računanje vremena. Drugim riječima, morali su utvrditi i pratiti redosljed odabranih zakonomjernosti prirodnih pojava koje se vremenski opetuju na istovjetan način. Takav se sustav brojenja većih vremenskih odsječaka na temelju periodičnog kretanja nebeskih tijela (Sunca i Mjeseca) naziva *kalendarom* <sup>(1)</sup>.

Kalendarom se uređuje život društva, određuju radni i neradni dani te vjerski i državni blagdani, održavaju se tradicije čime se stvara simbolička veza između članova jednoga društva. Svaka država i religija ima svoj kalendar u kojem su određeni nacionalni i vjerski blagdani.

*Kalendarom* se nazivaju i tablični prikazi dana u određenoj godini, raspoređeni po kalendarskim mjesecima i tjednima, često s pripadnim svetkovinama, blagdanima i praznicima te navodima imena svetaca po crkvenom kalendaru, a katkad i vrlo slobodno raspoređenim osobnim narodnim imenima. Također se *kalendarom* nazivaju godišnjaci, almanasi i slične prigodne godišnje publikacije.

U osnovi svih kalendara leži kretanje nebeskih svjetila <sup>(2)</sup>, a osnovna je vremenska jedinica određeni prirodni ciklus. Stoga je za uvođenje brojenja vremena bilo potrebno s najvećom mogućom točnošću utvrditi trajanje tih odabranih stabilnih prirodnih ciklusa koji se ponavljaju na istovjetan način.

## Kalendarske vremenske jedinice (dan, mjesec, godina)

U tom se svojstvu ističu tri astronomska ciklusa: vrtnja Zemlje oko svoje osi, koja određuje trajanje dana, vrtnja Mjeseca oko Zemlje, koje se odvija u jednom lunarnom mjesecu, i vrtnja Zemlje oko Sunca koja određuje godinu.

Stoga svi kalendari dijele vrijeme na dane, mjesece i godine. U svako se doba u svim kulturama sam po sebi nametao *dan* kao prirodna jedinica vremena i osnovna sastavnica kalendara. Smjena *obdanice* i *noći* u danu određuje ritam života na Zemlji. Za određivanje dijelova unutar jednoga dana primjenjujemo sustav koji su razradili još babilonski astronomi razdijelivši dan na dvanaest obdaničnih ili danjih i dvanaest noćnih sati <sup>(3)</sup>.

Zbog svoje veličine članak *Povijest zapadnog kalendara* bit će objavljen u dva nastavka. Prvi dio, koji je dan u ovom broju obuhvaća povijest kalendara do gregorijanske reforme. U drugome će dijelu biti dan prikaz povijesti prihvaćanja gregorijanskoga kalendara u Hrvatskoj, povijest uvođenja brojenja godina od Kristova rođenja, osvrt na algebarsko rješavanje kalendarskoga problema te kao dodatak prijevod *bule Interyvissimas pape Grgura XIII.*

<sup>1</sup> Naziv kalendar dolazi od latinske riječi *calendarium*, što znači knjiga dugova. Naime, u starom su Rimu dužnici morali plaćati dugove prvoga dana mjeseca te se u skladu s tim i prvi dan u rimskome mjesecu nazivao kalende (*calendae*).

<sup>2</sup> Prema *Svetome pismu* Bog je odredio „Neka budu svjetila na svodu nebeskom da luče dan od noći, da budu znaci blagdanima, danima i godinama,“ [Knjiga postanka 1, 14] te je načinio „dva velika svjetila, veće da vlada danom, manje da vlada noću“ [1, 16].

<sup>3</sup> Pretpostavlja se da je taj odabir potekao iz činjenice da 12 lunarnih sinodičkih mjeseci odgovara približno jednoj sinodičkoj godini. Kako se godina dijeli na dvanaest dijelova, tako se i dani mogu dijeliti na sličan način. Napominjemo također da su Babilonci upo-

Različita su društva na različite načine određivala početak dana. U starom Egiptu i Indiji dan je započinjao s izlaskom Sunca, a u Židova, muslimana i Kineza zalaskom Sunca. U starom Rimu dan je počinjao u ponoć, u čemu se iskazivala težnja racionalizaciji: početak novoga dana bio je jednako udaljen od izlaska i zalaska Sunca. Danas je taj odabir drevnih Rimljana postao norma za cijeli svijet <sup>(4)</sup>.

Veća kalendarska jedinica nazvana je *mjesecom*, njezino trajanje iznosi 30 dana ili 31 dan (a veljača 28 ili 29) i u izravnoj vezi s kretanjem Mjeseca. U lunarnim i lunarno-sunčanim kalendarima mjesec je neposredno povezan s Mjesečevim fazama. U Indiji mjesec je razdijeljen na dva razdoblja, svjetliju polovinu – od mladoga mjeseca do punoga mjeseca – i tamniju polovinu. Islamski mjesec počinje samo nakon prve pojave njegova lunarnoga srpa preko dva dana nakon mladoga Mjeseca. U Sunčevim kalendarima mjesec nije više povezan s Mjesečevim fazama. On služi za dijeljenje godine na prikladnije odsječke.

Mjesecima se često daju nazivi <sup>(5)</sup> koji opisuju klimatske osobitosti ili poljodjelske radove. To vrijedi i za hrvatske nazive mjeseci kao i nazive u nekim drugim slavenskim jezicima (češkom, slovačkom, ukrajinskom, makedonskom, lužičko-srpskom).

Najveća jedinica vremena u kalendaru – *godina* obuhvaća puni vegetacijski ciklus, a odgovara ciklusu od jednoga punog okretaja Zemlje po orbiti oko Sunca. Svako društvo utvrđuje njezin početak koji služi kao važan prag društvenog života. U državama s umjerenom klimom početak nove godine dolazi na povratne trenutke Sunčeva ciklusa, obično zimskoga suncostaja ili proljetne ravnodnevnice, rjeđe – ljetnoga suncostaja (stari Egipat, stara Grčka) ili jesenske ravnodnevnice (europski kalendar). U agrarnim zemljama godina je često započinjala u proljeće (njemački, iranski, prvi rimski kalendar).

Nastup nove godine svuda je imao posebnu važnost. Ljudi nisu bili uvjereni u ravnomyjnost kretanja nebeskih svjetlila i pri približavanju nove godine oni su pomagali magičnim obredima njezinu dolasku.

Postavlja se pitanje na temelju kojih se referentnih točaka određuje taj odsječak. Kao i u slučaju dnevne vrtnje Zemlje te referentne točke mogu biti različite. Najstabilnija će referentna točka biti mjesto presjeka zemljine orbite s pravcem koji polazi iz središta Sunca prema udaljenoj zvijezdi stajačici. Razdoblje vrtnje Zemlje u odnosu na tu točku naziva se *zvjezdanom* ili *sideričkom godinom*, koja ima najstalnije trajanje. Međutim, vrijeme godine, tj. smjena godišnjih doba ovisi o kretanju Zemlje u odnosu na ravnodnevnice u kojima se

nebeski ekvator presijeca s *ekliptikom*. Zbog *precesije* te se točke kreću u smjeru suprotnom od smjera kretanja Zemlje te je zbog toga trajanje godine koju one definiraju i koja se naziva *tropskom godinom* manje od trajanja zvjezdane godine. Godinu možemo također definirati na temelju prolaza Zemlje kroz *perihel*, točku orbite najbližu Suncu. Takva se godina naziva *anomalističkom*, njezino je trajanje dulje jer se perihel pomiče u smjeru kretanja Zemlje. Na kraju možemo definirati kretanje Zemlje u odnosu na čvorove Mjesečeve orbite koji imaju najbrže kretanje prema Zemlji te se zbog toga takva godina naziva *drakonskom godinom* (prema mitološkom zmaju koji proždire Mjesec i Sunce), a s njom je povezana najkraća pomrčina Sunca i Mjeseca.

Treba napomenuti da usklađivanje tih triju ciklusa, dana, mjeseca i godine, čini velike poteškoće pri izradbi kalendara: između njih ne postoji jednostavan matematički odnos, ni jedan od njih nije cjelobrojni višekratnik drugoga, a osim toga njihovo trajanje nije savršeno stalno.

Ovdje dajemo broj srednjih Sunčevih dana u svakoj od tih godina:

#### zvjezdana godina

365,25636 dana = 365 dana 6 h 9 min 10 s

#### tropska godina

365,24220 dana = 365 dana 5 h 48 min 46 s

#### anomalistička godina

365,25964 dana = 365 dana 6 h 13 min 53 s

#### drakonska godina

346,62003 dana = 346 dana 14 h 52 min 51 s.

Iz praktičnih se razloga kalendarsko računanje vremena mora temeljiti na duljini tropske godine kako ne bi dolazilo do razilaženja s godišnjim dobima, odnosno vegetacijskim ciklusom. Ali računati vrijeme strogo na temelju tropskih godina nije prikladno jer se njihova smjena odvija u različita doba dana.

## Tjedan, posebna jedinica

Tjedan zauzima u kalendaru posebno mjesto. To je jedinstveni potpuno umjetni ciklus koji se ne temelji na prirodnim zakonitostima ni na posebnoj matematičkoj logici: tjedan se sastoji od sedam dana i taj se ciklus beskonačno ponavlja. U drugim kulturama bilo je i drugačijih tjedana, na primjer u drevnom je Egiptu tjedan trajao deset dana. Tjedan se ne slaže s drugim kalendarskim vremenskim jedinicama: godina sadržava punih 12 mjeseci, ali ne cijeli broj tjedana (52 tjedna i jedan ili dva dana). Sedmodnevni tjedan ostavili su nam u nasljeđe Babilonci. On je potekao iz Mezopotamije u kojoj se broj sedam smatrao kobnim. Zabrane raznih vrsta nalagale su 7., 14., 21. i 28. dan mjeseca. Početak je tjedna u raznim kulturama bio različit. Danas, prema kršćanskom računanju, u većini svijeta građanski tjedan počinje ponedjeljkom. Neke kulture u svojim kalendarima nisu imale tjedna, na primjer kineska i japanska, pa sedmodnevni tjedan smatraju i danas tekovinom židovsko-kršćanske kulture.

Stari su Židovi prvi od svih naroda uskladili čitav svoj život s tjednim ciklusom. Oni su smatrali da im je tjedan dan *Knji-*

trebljavali šezdesetični brojčani sustav te to također može objašnjavati davanje prednosti broju 12, kojim se 60 dijeli bez ostatka.

<sup>4</sup> Tako se na primjer u Međunarodnome elektrotehničkom rječniku IEC-a kalendarski dan definira kao „vremenski odsječak koji započinje u ponoć i završava u iduću ponoć“ [IEV 113-01-15]. U napomenama uz tu definiciju dodaje se da se „završetak kalendarskoga dana u ponoć podudara s početkom idućega dana također u ponoć“ te da je „trajanje kalendarskog dana 24 h, osim u posebnim slučajevima (ljetno vrijeme, prijestupna sekunda)“.

<sup>5</sup> U većini zapadnoeuropskih jezika upotrebljavaju se nazivi mjeseci potekli iz latinskih naziva tih mjeseci prilagođeni izričaju na odgovarajućemu suvremenom jeziku.

*gom postanka*. Svevišnji je stvorio svijet za šest dana, počinjući od nedjelje, a sedmi je dan, tj. u subotu počinnuo od svojega rada. U vrijeme babilonskoga sužanjstva stari su Židovi počeli strogo štovati subotu – odmor na sedmi dan – a to znači, život u tjednome ritmu. Nemajući više mogućnosti molitve u hramu, oni su u vremenu obnovili (jedan od sedam dana posvetili su Bogu) ono što su izgubili u prostoru. Potom se tjedan raširio u Maloj Aziji, Grčkoj, Aleksandriji, starome Rimu. U V. stoljeću on je prešao u Indiju, a otuda pak na Daleki istok na kojem se vjerojatno uobičajio u IX. stoljeću. Nakon judaizma i druge su monoteističke religije počele posvećivati jedan dan u tjednu Gospodinu, kršćani – nedjelju, muslimani – petak. Na taj su način oni stvorili novi binarni ritam u kojem se redovito izmjenjuju dani odmora i rada, obični i posebni dani. Taj ritam ima važno mjesto u organizaciji društvenoga života.

Danas se po njemu ravna cijeli svijet.

## Godišnja doba

Kao i dani i godišnja su doba realnost dana neposrednim opažanjem. Međutim, za razliku od dana, godišnja doba nisu jedinice vremena. Njihov broj varira u različitim klimatskim pojasovima. U umjerenj klimi godina ima četiri osjetno izražena doba, čiji se početak podudara s danima ravnodnevnice i suncostaja.

## Stari kalendari

### Prvi kalendari bili su lunarni

Kako uvesti računanje vremena? Uzeti kao osnovu Mjesec ili Sunce? Ili možda uskladiti lunarni ili sunčani ciklus u jednoj kalendaru?

Mjerenje vremena na temelju lunarnoga mjeseca veoma je stara pojava. Opažanje lunarnog ciklusa lako se provodi. Mjesec se faze bez poteškoća razlikuju po obliku nebeskog svjetlila. Možemo provesti paralele sa sunčanom godinom: 12 lunarnih mjeseci (354 dana) primjerno odgovara smjeni četiriju godišnjih doba. U Mezopotamiji, starom Egiptu, staroj Grčkoj, starom Rimu i Kini ljudi su u početku upotrebljavali lunarne kalendare koji su se u pravilu sastojali od 12 mjeseci od po 30 i 29 dana naizmjenice, s tim da nisu odstupali od lunarnoga mjeseca (29,53 dana). U Babilonu je onda kad bi nesukladnost sunčane godine počinjala praviti neugodnosti monarh proglašavao dodavanje umetnutoga (interkalarnoga) mjeseca.

Zbog toga su neki narodi pokušali prilagoditi svoj lunarni kalendar sunčanoj godini te su redovito dodavali umetnute mjesece. Takav je kalendar postajao lunarno-sunčanim kalendarom.

Danas je najpoznatiji lunarni kalendar islamski kalendar. Uveden je 634. godine, sastoji se od 12 mjeseci od 30 i 29 dana. Trajanje posljednjega mjeseca nije postojano i može biti 29 ili 30 dana, da bi što je više moguće odgovaralo kretanju Mjeseca.

Lunarni kalendar zadovoljava potrebe nomadskih naroda i naroda koji žive od ribarstva, međutim nije prikladan za poljodjelce jer se njime ne uzima u obzir smjena godišnjih doba.

U islamskom računanju vremena lunarne godine uključuju se u tridesetogodišnje cikluse, koji se sastoje od 19 običnih godina od po 354 dana i 11 prijestupnih godina od po 355 dana. Kako je islamska godina kraća za 11 ili 12 dana, mjeseci se sa svakom godinom pomiču unatrag u odnosu na godišnje doba. Islamski i gregorijanski kalendari odgovaraju jedan drugome svake 34 godine.

## Metonov ciklus, koji su prilagodili stari Židovi

Starogrčkome astronomu Metonu (V. stoljeće pr. Kr.) pripisuje se razradba djelotvornoga sustava, koji omogućuje uključivanje lunarnoga kalendara u sunčanu godinu. Meton je primijetio da 19 sunčanih godina gotovo točno odgovara 235 lunarnih mjeseci. Znači ako 19 lunarnih godina broji 228 mjeseci za provedbu usklađivanja lunarnoga i sunčanoga kalendara potrebno je dodati 7 umetnutih mjeseci u 19 godina. Oduševljeni tim otkrićem Atenjani su povodom olimpijskih igara 432. godine pr. Kr. ugravirali Metonov ciklus zlatnim slovima u Atenin hram. U to ga se vrijeme nisu strogo pridržavali. Umetnuti mjeseci nisu se uvijek dodavali tamo gdje je to bilo potrebno.

U IV. stoljeću pr. Kr. stari Židovi veoma su se spretno koristili tim ciklusom i izradili zamršen lunarno-sunčani kalendar. Iz vjerskih su razloga Židovi stalno željeli da njihov tradicionalni lunarni kalendar bude u skladu s ritmom smjene godišnjih doba. Blagdan Pashe ili Pesah morao je padati početkom proljeća jer je taj blagdan bio spomen na izlazak iz Egipta koji se, kako je opisano u Bibliji, vremenski podudara s proljetnim blagdanom beskvasnih kruhova. Kad je odstupanje mjeseci i godišnjih doba dostiglo znatni iznos, kad je postajalo jasno da ječam potreban za pashalne obrede ne zrije u nisanu – mjesecu u kojem se slavi Pasha – savjet svećenika *sime-drij* vršio je empirijsku korekciju ponavljajući posljednji mjesec u godini. Godine 359. prvosvećenik Gille II. proveo je reformu kalendara, kako bi Židovi u dijaspori mogli slaviti blagdane istodobno. Nakon toga židovski je kalendar dobio svoj završni oblik integriranjem Metonova otkrića. Sa svoje strane Babilonci i Kinezi također su oduzimali Metonov ciklus i pretvorili svoje lunarne kalendare u lunarno-sunčane.

## Prvi kalendari na Sredozemlju

Presudan su korak u razvoju kalendara učinili stari Egipćani. Oni su bili prvi narod na Sredozemlju koji je upotrebljavao sunčani kalendar (u trećem tisućljeću pr. Kr.), on je bio razrađen s najvećom mogućom jednostavnošću što ga je učinilo veoma djelotvornim i široko dostupnim. Kao polazište poslužilo je utvrđivanje jedne podudarnosti: jedan put u godini zvijezda Sirius izlazi nakratko prije jutarnjeg svjetla i nakon toga započinju poplave Nila. Stari su Egipćani razdijelili godinu na dvanaest mjeseci po trideset dana, kojoj su oni dodavali pet dodatnih dana, tzv. *epagomenih dana*. Poplave Nila odvijale su se tri godine zaredom svakih 365 dana, a četvrtu godinu jedan dan kasnije. Tu su godinu nazvali promje-

njivom jer se svake četiri godine helijakalni izlazak <sup>(6)</sup> Siriusa pomicao jedan dan unatrag. Godina je bila za četvrtinu dana kraća nego što je to bilo potrebno, ona se pomicala u odnosu na godišnja doba i sklad se uspostavljao samo po isteku 1460 godina. Nakon rimske okupacije egipatski je kalendar doveden u sklad s Cezarovim kalendarom (o kojem se govori u nastavku), ali je promjenjiva godina ostala u narodnome kalendaru sve do III. stoljeća.

U starom Egiptu kalendar je bio povezan s dvjema pojavama: nebeskom (redovito pojavljivanje Siriusa) i zemaljskom (redovito plavljenje Nila). U tom fragmentu kalendara s blagdanima s otoka Elefantina nabrojani su darovi koje treba prijeti bogovima u dan kad se Sirius (grčki *Sotis*) ponovno pojavi na nebu nakon 70-dnevnoga izbivanja. Na taj su dan prilagodili početak nove godine. Staroegipatski svećenici žestoko su se opirali bilo kakvim pokušajima reforme kalendara i svake su godine odavali počasti Siriusu na novi datum. *Sirius* ili *alfa Velikog psa*, najsjajnija je zvijezda zvijezda *Veliki pas* (latinski: *Canis Maior*), izlazi zajedno sa Suncem u razdoblju od kraja srpnja do kraja kolovoza, otkuda i dolazi naziv tog razdoblja na nekim jezicima (npr. francuski: *canicule*), a u nas se u to doba govori o *pasjim vrućinama!*

## Starorimski lunarno-sunčani kalendar

Da bismo razumjeli kako je organiziran naš današnji kalendar moramo se vratiti starorimskome kalendaru.

Starorimski kalendar uredio je drugi rimski kralj Numa Pompilije <sup>(7)</sup>. Kako piše povjesničar Plutarh u *Usporednim životopisima znamenitih Grka i Rimljana* <sup>(8)</sup> on „nije proveo reformu kalendara baš sa strogom preciznošću, ali niti bez ikakve znanstvene podloge“. Kako nisu ništa znali o neujednačenosti između kretanja Mjeseca i Sunca Rimljani su za Romulova <sup>(9)</sup> kraljevanja odredili duljinu mjeseci bez ikakva reda tako da je duljina nekih mjeseci bila dvadeset dana, drugih trideset i pet, a nekih i više jer su pazili samo da godina ima

<sup>6</sup> Helijakalni izlazak (starogrč. *ηελιακος*: sunčani) prvi izlazak nekoga nebeskog svjetlila (zvijezde ili planeta) nakon njegova razdoblja nevidljivosti neposredno prije izlaska Sunca.

Svakogodišnji helijakalni izlazak jedne te iste zvijezda dolazi približno na isti datum ( $\pm 1$ ) te se mogu upotrebljavati za održavanje pravilnog brojenja dana u kalendaru. Tako podudarnost početka godine s helijakalnim izlaskom Sirijusa, koji je najavljavao plavljenje Nila, igra posebnu ulogu u kronologiji staroga Egipta.

U procesu godišnjega kretanja Sunce se premješta među zvijezdama kretanjem od zapada prema istoku. Zbog toga dio zvijezda, koje zalaze na danju širini opažanja, postoje vremenski odsječci kad se one nalaze na dnevnom nebu zajedno sa Suncem. Tijekom vremena Sunce se premješta na istok zbog čega zvijezda počinje izlaziti ujutro prije Sunca. U određenome trenutku zvijezda se prestaje gubiti u zrakama praskozorja i može se promatrati. Smatra se da se u određeni dan dogodio helijakalni izlazak zvijezde. Na raznim širinama do helijakalnoga izlaska zvijezde ne dolazi nužno isti dan.

<sup>7</sup> Vladao od 714. pr. Kr. do 673. pr. Kr.

<sup>8</sup> Vidi hrvatski prijevod *Usporednih životopisa* u izdanju ITRO August Cesarec Zagreb 1988. godine.

<sup>9</sup> Romul, osnivač Rima i prvi rimski kralj.

tristo i šezdeset dana <sup>(10)</sup>. Numa je uzimajući u obzir da je razlika između Mjesečeve i Sunčeve godine jedanaest dana (prva ima 354, a druga 365 dana), udvostručio tih jedanaest dana razlike i uveo svake druge godine nakon posljednjeg mjeseca *februara* prijestupni mjesec koji su Rimljani nazivali *mercedinom* <sup>(11)</sup>, a imao je dvadeset i dva dana.

Numa je također promijenio i red mjeseci te odredio da januar (siječanj) koji je za Romula bio jedanaesti mjesec bude prvi, a mart (ožujak), koji je bio prvi, postane treći <sup>(12)</sup>, dok je februar (veljača), koji je bio dvanaesti i posljednji, postao drugi. Neki smatraju da je mjesece januar i februar Numa dodao kalendaru jer su u početku Rimljani imali samo deset mjeseci u godini.

Prvi mjeseci godine nosili su imena bogova. Siječanj (januar) bio je mjesec boga s dvama licima Janusa, boga svakoga početka, čije je jedno lice okrenuto prošloj godini, a drugo početku nove. Veljača (februar), mjesec mrtvih bio je posvećen očišćenju (latinski *februare*: čistiti). Mart je bio posvećen bogu Marsu: April je bio mjesec božice Venere (vjerojatno je dobio naziv po njezinu etrurskome imenu Apra) <sup>(13)</sup>, maj mjesec božice Maje <sup>(14)</sup> majke Merkurove, a možda i mjesec predaka (latinski *maiores*). U junu su slavili božicu Junonu <sup>(15)</sup> i mlado pokoljenje (latinski: *iuuiores*). Svaki od preostalih

<sup>10</sup> Izvorno je rimska godina počinjala 1. ožujka i sastojala se od 304 dana ili 10 mjeseci (martius, aprilis, maius, junius, quintilis, sextilis, september, october, november i december). Nakon ta 304 dana slijedilo je neimenovano i nebrojeno zimsko razdoblje.

<sup>11</sup> *Mercedonius*, koji se također nazivao *intercalaris*, bio je interkalarni mjesec dodan u prijestupnoj godini rimskoga kalendara. Tako dobivena godina imala je 377 ili 378 dana. Točan mehanizam kojim se to provodilo nije jasno navedeno u starim izvorima. Suvremeni znanstvenici drže da je *februarius* bio skraćen na 23 ili 24 dana, iza njega je dolazio interkalarni mjesec od 27 dana. Stariji znanstvenici držali su da je u interkalarnoj godini duljina februara bila fiksirana na 23 dana te da je iza njega slijedio mjesec promjenjive duljine *mensis intercalaris* s 27 ili 28 dana. Bez obzira na podatke, pet dana a. d. VI. Kal. Mart. Do Prid. Kal. Mart. koji su se normalno nalazili na kraju februara zaključni su dani *mensis intercalaris* u interkalarnoj godini. Kao rezultat toga godina se produživala ukupno za 22 ili 23 dana. Naziv *mercedonius* dolazi od *merces* što znači plaće jer su u to doba godine radnici dobivali plaće.

Smatra se da se taj mjesec umetao svake dvije ili tri godine kako bi se lunarna godina od 355 dana uskladila s tropskom godinom. Odluku o umetanju interkalarnoga mjeseca donosio je vrhovni svećenik (latinski *pontifex maximus*).

<sup>12</sup> Povjesničar Plutarh smatra da je Numa mjesec mart, nazvan po bogu rata Martu, uklonio s prvoga mjesta (koje mu je dao prvi rimski kralj Romul) zato što je želio da se u svakoj prilici više cijeni građanska moć od vojničke. Jer se smatralo da je Jan u prastaro doba, kao polubog i kralj, bio promicatelj građanskoga i društvenoga reda te izmijenio prijašnji zvjerski i divlji način življenja svojih podanika. Zbog toga ga predočuju s dvama licima naznačujući time da je učinio da ljudski život promijeni oblik i izgled.

<sup>13</sup> Postoji i tumačenje koje navodi Plutarh da je taj mjesec punoga cvata proljeća dobio naziv prema latinskoj riječi *aperire*: otvarati (april) jer otvara i raskriva pupoljke raslinstva.

<sup>14</sup> Maja, najstarija Plejada, jedna od sedam kćeri Atlanta i Plione. U rimskoj mitologiji Maja se obično povezivala s božicom zvanom Maia Maestas (Maja veličanstvena). Smatrala se božicom planina, polja i proljeća.

<sup>15</sup> Junona, rimska božica braka i žena Jupiterova. Bila je zaštitnica Rima.

mjeseci nazivan je njegovim rednim brojem: *quintilis* (5. mjesec), *sextilis* (6. mjesec), *september* (7. mjesec), *october* (8. mjesec), *november* (9. mjesec), *december* (10. mjesec).

Ovdje treba napomenuti da Rimljani nisu brojili dane sekvenzijski od 1. Umjesto toga oni su imali fiksne točke u svakome mjesecu: **kalende** (latinski *calendae*) koje su bile prvi dan u mjesecu, **ide** (latinski *idus*), koje su bile 13. dan u siječnju, veljači, travnju, lipnju, kolovozu, rujnu, studenom i prosincu ili 15. dan u ožujku, svibnju, srpnju ili listopadu, i **none** (latinski *nonae*), koje su bile 9. dan prije ida (brojeći same ide kao 1. dan). Dani između kalenda i nona nazivali su se "4. dan prije nona", "3. dan prije nona" i "2. dan prije nona". (Prvi dan prije nona bile bi same none). Slično su dani između nona i ida nazivali "n-ti dan prije ida", a dani nakon ida nazivali su se "n-ti dan prije kalenda" (idućega mjeseca).

## Cezarova reforma uprave i kalendara

Velikim svećenicima bilo je neoprezno prepušteno pravo da na temelju opažanja po svojoj volji mijenjaju duljinu nekih razdoblja, posebno umetnutoga mjeseca, kako bi se osigurala najbolja moguća podudarnost s prirodnim ciklusima. To međutim oni u praksi često nisu obavljali, djelomično zbog neznanja, djelomično zbog političkih i drugih interesa. Nadalje prijestupne su se godine smatrale nesretnima te su se izbjegavale u doba kriza kao na primjer za vrijeme Drugoga punskog rata. Naime, funkciju vrhovnoga svećenika (lat. *pontifex maximus*) obično su obavljali političari ili vojnici koji su često zanemarivali umetanje mjeseca u pravo vrijeme ili su ga namjerno umetali ranije ili kasnije kako bi omogućili da službenici ostanu dulje na svojem položaju ili da bi prisilili druge da siđu prije s položaja, tako da su kalendar pretvorili u instrument korupcije i prijevara. Imajući neograničenu vlast, oni su svojim prijateljima produživali rok sudačke dužnosti, skraćivali ga svojim neprijateljima, skraćivali ili odgađali rokove plaćanja, omogućivali prekupcima da se brzo obogate ili ih dovodili do osiromašenja. Takva nepredvidljiva umetanja ili *interkalacije* značila su da datumi nakon *februariusa* nisu mogli biti poznati unaprijed te da rimski građani koji su živjeli izvan Rima često nisu znali tekući datum<sup>(16)</sup>. Takve zloporabe dovele su do toga da su jesenski praznici *Autumnalia* padali u proljeće, urod se sabirao sredinom zime itd. Tako se narušavao odnos između građanske i astronomske godine, te je posljednjih godina Republike u starome Rimu vladao potpuni kaos u brojenju dana.

Kako bi uklonio taj nered, Julije Cezar<sup>(17)</sup> odlučio je reformirati kalendar. Doveo je grčkoga astronoma Sosigena<sup>(18)</sup>, koji je živio u Aleksandriji u Egiptu i imenovao ga svojim savjetnikom. Odlučeno je da u budućnosti kalendar neće uzimati u obzir Mjesec i da će se on u najvećoj mjeri dovesti u sklad s godinom. Taj reformirani, tzv. *julijanski kalendar* u potpunosti je Sunčev kalendar.

<sup>16</sup> Voltaire je ironično primijetio da su rimski vojskovođe redovito pobjeđivali u bitkama, ali da nikad nisu znali kad se to dogodilo.

<sup>17</sup> Gaj Julije Cezar (100. – 44. pr. Kr.), rimski vojskovođa, političar i pisac.

<sup>18</sup> O Sosigenovu životu ne zna se mnogo, nije poznata ni godina njegova rođenja ni smrti.



Spomenik Juliju Cezaru u Rimu

Kako se trajanje godine tada procjenjivalo na 365 dana i četvrtinu dana, Cezar je utvrdio četverogodišnji ciklus: tri su se prve godine sastojale od 365 dana, a četvrta od 366 dana. Dopunski dan dodavao se u veljači (februaru) i ponavljao se datum 24. veljače, šestoga dana do ožujkskih (martovskih) kalenda. On se nazivao *bis sextus* (dvaput šesti) te je taj latinski naziv s određenim jezičnim prilagodbama ušao u neke jezike kao naziv prijestupne godine. Duljina mjeseca bila je 30. i 31. dan s iznimkom veljače (februara) koja je imala 28 ili 29 dana. Umetanje u sredinu godine dvaju mjeseci, koji su poslije dobili imena u čast uglednika *juli* (srpanj) i *august* (kolovoz), dovelo je do apsurdna koji traje i danas: deveti se mjesec u godini naziva *septembar* („sedmak“), deseti *oktobar* („osmak“), jedanaesti *novembar* („devetnjak“) i dvanaesti *decembar* („desetnjak“).

Julijanski kalendar nije bio posve točan – Sunčeva godina u stvarnosti je bila nešto kraća od prihvaćene vrijednosti, međutim taj je kalendar bio jednostavan, svima dostupan i davao mogućnost za planiranje i organizaciju budućih djelatnosti.

Julijanski kalendar bio je na snazi u većini zemalja do 1582. godine. I danas se upotrebljava u vjerskom životu u pravoslavnim crkvama.



## Kršćanstvo preuzima kalendar

Car Konstantin <sup>(19)</sup> prihvatio je kršćanstvo 313. godine te je već u IV. stoljeću kršćanstvo postalo državna vjera, a kršćani su činili važan dio pučanstva Rimskoga Carstva. Početkom IV. stoljeća crkva postupno počinje preuzimati julijanski kalendar. Ona ga je uskladila s kršćanskom liturgijom i provela kolosalni rad da bi formulirala vlastiti ciklus spomena, zamjenom rimskih slavlja kršćanskim. Kršćanski kalendar podsjeća na Kristov život, njegovo rođenje, smrt i uzašašće na nebo, a najvažnijima se smatraju dva blagdana: Kristovo rođenje (Božić) i Kristovo uskrsnuće (Uskrs, Vazam). On je bio razrađen u razdoblju od IV. do IX. stoljeća i otada se nije mijenjao.

Promišljenim rasporedom vjerskih blagdana Crkva je popunila kršćanskim sadržajem najvažnije trenutke u godini. Liturgijski i poljoprivredni kalendar međusobno se dopunjavaju. Poljodjelski se radovi intenzivno obavljaju u razdoblju između svibnja i listopada. Osnovni događaji liturgijskoga kalendara koncentrirani su u razdoblju od studenoga do Uskrsa (mrtva sezona poljodjelskih radova).

Promjenom kalendara kršćanstvo je nametnulo cijelome društvu svoju koncepciju vremena. Zajedno s liturgijskim utvrđen je dan sjećanja na svete. Počevši od prvih stoljeća kršćanske ere apostoli, mučenici i ispovjednici postali su predmet štovanja. Sveci i Bogorodica promatraju se kao posrednici pred Bogom te se tako kao i blagdani Božića i Uskrsa, dani njihova štovanja ne nalaze u kalendaru bez reda. Crkva je prilagodila dane sjećanja na njih ključnim trenucima sunčeve godine, vremenu poganskih blagdana da bi kršćanski elementi nadomjestili poganske.

Na primjer, rođenje Ivana Krstitelja dolazi u dane ljetnoga suncostaja na 24. lipnja. Sveti Ivan Krstitelj veoma je štovan u kršćanskom svijetu. Njegov su blagdan u srednjemu vijeku nazivali *ljetnim Božićem*. Taj je blagdan simetričan blagdanu Kristova rođenja. Moguće objašnjenje možemo naći u Evanđelju po Ivanu. „On mora rasti, a ja se umanjivati“ [Ivan, 3, 30]. Sveti Augustin to objašnjava ovako: „... Počevši od dana Ivanova rođenja, dani se skraćuju, ali počevši od dana Kristova rođenja, oni se ponovno produljuju“.

Razdoblje koje dijeli Božić od Bogojavljenja 12 su blagdanskih dana. Ti se dani svetkuju za sjećanje na velike svece, prvoga mučenika svetoga Stjepana (26. prosinca), svetoga Ivana (27. prosinca), dan nevine dječice (28. prosinca). Vjerojatno se time želio dati kršćanski sadržaj blagdanima završetka godine.

Drugi je važan primjer kršćanske akulturacije dan *Svih svetih*, blagdan onih svetih koji nisu našli svoje mjesto u kalendaru. Taj je blagdan od davnine bio tradicionalan za Istočnu crkvu, od IV. stoljeća uvodio se i na Zapadu, a slavio se u proljeće. Papa Grgur III. (731. – 741. godine) prebacio ga je na 1. studenoga koristeći se velikom popularnošću keltskog praznika spomena na pokojne (trag toga je 31. listopada *Noć vještica* ili *Halloween* ≈ *Sveta noć*, koja se iz Irske proširila u SAD i Australiju, a komercijalizacijom i drugdje). Dva stoljeća na-

kon toga dan Svih svetih postao je jedan od velikih kršćanskih blagdana. U pravoslavnome se svijetu slavi u nedjelju iza Duhova. U X. stoljeću sv. Odilon <sup>(20)</sup>, opat samostana Cluny, utvrđuje na 2. studenoga *Dušni dan*, dan spomena na sve mrtve vjernike.

Kao i u starih Židova i u kršćanskom je kalendaru ostala sačuvana podjela na razdoblja od sedam dana (tjedni). Kršćanstvo nije odstupilo od ideje da se jedan dan toga ciklusa posveti Bogu, ali su za to odabrali dan koji dolazi nakon *sabata* (dan odmora koji je odgovarao našoj suboti) jer je na taj dan uskrsnuo Isus. Isto kao što je sabat bio stožerni dan tjedna u starih Židova, nedjelja, dan odmora u cijelosti posvećen Bogu, koji kolektivno označuje Crkvu, postao je središtem u Crkvi i središtem tjedna u kršćana. Kršćanski kalendar koji uređuje također i gospodarski život omogućio je Crkvi da drži pod stalnim nadzorom gospodarsko i društveno vrijeme. Postupno je Rimsko Carstvo prešlo na tjedni ritam, a car je Konstantin uveo u gradovima nedjeljom zabranu svake društvene djelatnosti.

Crkva vlada nad računanjem vremena. Samo su učeni ljudi mogli određivati datum slavljenja Uskrsa. Prema ustaljenom običaju župni su svećenici u dan blagdana Bogojavljenja (6. siječnja) objavljivali *ex chatedra* datum Uskrsa pokazujući time vlast Crkve nad kalendarom.

## Veliki kršćanski blagdani, Božić i Uskrs

Dan Kristova rođenja (hrvatski *Božić*; mali Bog; latinski *Christi Natalis*, *Nativitas Domini*) slavio se u prvim stoljećima u mjesnim Crkvama na razne dane u godini, najčešće 6. siječnja. Od IV. stoljeća u Rimu se slavi 25. prosinca, neposredno poslije zimskog suncostaja, na dan velike rimske svetkovine ponovnoga rođenja *Nepobjedivog Sunca* (latinski *dies natalis Solis Invicti*) jer su kršćani doživljavali Krista kao Božansko Sunce. Crkva je time htjela poganski blagdan zamijeniti kršćanskim. Ubrzo se taj datum slavljenja Božića raširio po cijelome kršćanskom svijetu.

Pravoslavne crkve koje su ostale na julijanskome kalendaru sada slave Božić 13 dana poslije, tj. 7. siječnja, jer tada pada 25. prosinac po julijanskome kalendaru.

Iako je gledano s vjerskoga stajališta Uskrs najveći kršćanski blagdan jer se slavi ispunjenje Isusova poslanja, Božić pobuđuje najdublje ljudske osjećaje radosti zbog novorođenoga Isusa, obilježava se ne samo liturgijskim slavljenjem nego i brojnim običajima i prigodnim pjesmama, postao je blagdanom okupljanja u toplini obiteljskoga doma, u posljednje vrijeme i uz uzajamna darivanja, osobito djece.

Datum svetkovanja Uskrsa postao je predmetom mnogobrojnih sporova. Prema Evanđelju Krist je umro uoči dana židovske Pashe, tj. prema židovskome kalendaru na dan punoga mjeseca nakon početka proljeća. Kršćani su željeli ustanoviti dan Uskrsa koji nije ovisio o židovskome kalendaru, ali su pritom dolazili na početak proljeća. Na Nicejskome crkvenom saboru 325. godine određeno je da će se blagdan Uskrsa obilježavati za sve kršćane u istu nedjelju u razdoblju pu-

<sup>19</sup> Konstantin Veliki (latinski *Flavius Valerius Aurelius Constantinus Augustus*, 273. – 337.), rimski car (od 306. godine), rođen u Naissusu (današnjem Nišu, u Srbiji). Godine 312. proglasio je kršćanstvo državnim vjerom.

<sup>20</sup> Sv. Odilon de Cluny (962. – 1049.), opat samostana Cluny u Francuskoj (994. – 1049.).

noga Mjeseca koji dolazi iza proljetne ravnodnevnicе. U VIII. stoljeću nicejski crkveni kalendar (metoda izračuna datuma pomičnih blagdana) prihvaća se konačno polazeći od toga da proljetna ravnodnevnicа pada 21. ožujka (marta).

Tijekom povijesti postojale su brojne rasprave oko određivanja datuma Uskrsa. Poznat je *kvatrodeciman* (latinski *quattuordecim*: četrnaest), prepirka o tome kad je Polikarp Smirski<sup>(21)</sup> slijedom Ivanove tradicije da je Isus razapet u petak raspravljao s papom Anicetom<sup>(22)</sup>. Naziv kvatrodeciman odnosi se na praksu slavlja Pashe za kršćane na četrnaesti dan nisana, prvoga mjeseca židovskog kalendara u Starom zavjetu. Problem je bio u tome treba li to slavlje ujedno biti i slavlje Isusova uskrsnuća ili bi se trebala odrediti neka nedjelja koja bi tome bila posvećena. Naime rimska je praksa bila nastavljajanje slavlja sve do kraja tjedna. Ni jedan ni drugi nisu se uspjeli složiti te je pitanje ostalo neriješeno. Rimski kršćani koji su u Rim doselili iz azijskih provincija nastavili su slaviti Uskrs četrnaestoga dana *nisana* bez obzira na dan u tjednu. Stoga je papa Viktor I.<sup>(23)</sup> pozvao azijske biskupe da napuste svoj običaj i prihvate slavljenje Uskrsa nedjeljom. Kako su oni ustrajali u slavljenju Uskrsa na 14. nisana, papa Viktor je izopćio biskupa Polikrata Efeškog<sup>(24)</sup> i ostatak azijskih biskupa zbog privrženosti slavljenju 14. nisana. Izopćenje je poslije opozvano te su se obje strane pomirile zbog intervencije biskupa Ireneja Lyonskoga koji je podsjetio Viktora na njegova tolerantnoga prethodnika. Sama metoda računanja datuma Uskrsa nije službeno riješena sve do prvoga Nicejskog sabora 325. godine, premda se dotad rimski način proširio na većinu mjernih crkava.

Na prvome Nicejskom saboru 325. godine odlučeno je da se Uskrs slavi na istu nedjelju u cijeloj Crkvi, ali vjerojatno nije donesena nikakva metoda određivanja (nisu sačuvani nikakvi spisi o tom saboru). Problem se premjestio u Aleksandriju gdje su slavili Uskrs na prvu nedjelju poslije najranijeg četrnaestog dana mjeseca koji bi bio 21. ožujka ili nakon toga datuma. Od srednjeg vijeka to je pravilo pojednostavnjeno: Uskrs se slavi u nedjelju nakon punoga Mjeseca na sam dan ravnodnevnicе ili nakon nje. To međutim i nije posve dosljedno slijedilo crkvena pravila.

Uskrs pada na prvu nedjelju poslije prvoga proljetnog punoga Mjeseca 21. ožujka (ravnodnevnicа) ili nakon toga datuma (riječ je o proljetnoj ravnodnevnicі koja se dobiva tabličnim računanjem, a ne astronomskim mjerenjima!).

Taj puni mjesec četrnaesti je dan tablične lunacije (mladi Mjesec).

Rimska je crkva rabila vlastite metode određivanja datuma Uskrsa sve do 6. stoljeća kad je preuzela aleksandrijsku metodu.

<sup>21</sup> Sveti Polikarp, mučenik. Sv. Irinej za njega je napisao da je „bio učenik apostola te prijatelj mnogima koji su vidjeli Gospodina“. Za biskupa Smirne postavio ga je sam sv. Ivan apostol. Sv. Polikarp pretrpio je mučeništvo, u 86. godini života spaljen je na lomači.

<sup>22</sup> Anicet (latinski *Anicetus*), jedanaesti papa (155. – 166.). Bio je rodom iz Sirije. Katolička crkva ga štuje kao sveca.

<sup>23</sup> Papa Viktor I., četrnaesti papa (189. – 199.), rimokatolička crkva, pravoslavne i koptske crkve slave ga kao sveca. Potječe iz Provincije Afrike (Tripolitanije). Nije poznat datum njegova rođenja kao ni njegovo pravo ime.

<sup>24</sup> Polikrat (*Polykrates*, oko 130. – 196.), biskup u Efezu. Poznat po zagovaranju kvatrodecimanske prakse slavljenja Uskrsa.

## Uvođenje novoga gregorijanskog kalendara

### Razlozi kalendarske reforme

Krajem III. stoljeća po Kr. proljetna je ravnodnevnicа padala na 21. ožujka. Zbog toga su crkveni oci koji su sudjelovali u radu Nicejskoga sabora uzimali da će onako kako je bilo 325. godine, tako biti i u budućnosti. Međutim, zapazilo se da je srednja duljina godine u julijanskome kalendaru bila za 0,0078 dana ili za 11 minuta i 14 sekunda dulja od tropske godine. Zbog toga se svakih 128 godina gomilala pogriješka od jednoga cijelog dana: trenutak prolaska Sunca kroz točku proljetne ravnodnevnicе pomicao se za to vrijeme za jedan dan unazad – od ožujka prema veljači. Svi blagdani povezani s definiranjem datuma kalendara pomicali su se „unaprijed“: proljetni u ljeto, ljetni u jesen itd. Tako se krajem XVI. stoljeća proljetna ravnodnevnicа pomakla unazad za 10 dana i došla na 11. ožujka.

Na taj način, ako puni Mjesec u XVI. stoljeću padne između 11. i 21. ožujka tada se prema crkvenim pravilima on ne smatra proljetnim, a Uskrs praznuje samo 30 dana poslije idućega punog mjeseca. Kao rezultat toga tipično proljetni blagdan pomiče se prema ljetu što nije moglo ostati nezamiječeno.

### Gregorijanska reforma

Reformu kalendara proveo je papa Grgur XIII. na temelju nacrtā talijanskoga liječnika i matematičara Luigija Liliija<sup>(25)</sup>.

Reforma kalendara koja je započela 1575. godine prema ukazu pape Grgura XIII.<sup>(26)</sup> bila je logični nastavak Tridentskoga sabora (1545. – 1563.). Tridentski sabor odobrio je uvođenje ispravka u kalendar te je Grgur XIII., pravnik po obrazovanju, postavio sebi zadatak oživotvoriti njegove smjernice. Reforma kalendara postala je jedna od glavnih zadaća njegova pontifikata. Glavni cilj koji je naveo papa bio je učvrstiti crkvu osla-

<sup>25</sup> Luigi Lilio (latinski *Aloysius Lilius*, oko 1510. – 1576.), talijanski liječnik, astronom, filozof i kroničar. Rodio se u Kalabriji, studirao u Napulju, a živio i umro u Veroni. Glavni je autor prijedloga koji je nakon određenih preinaka postao temelj za gregorijansku reformu kalendara.

<sup>26</sup> Papa Grgur XIII. (1502. – 1585.) bio je papa od 1572. do 1585. godine. Rođen je u Bologni kao Ugo Boncompagni. Studirao je i doktorirao pravo u Bologni. Papa Pavao III. pozvao ga je u Rim kad mu je bilo 36 godina gdje je obavljao u vrijeme pape Pavla III. i Pavla IV. različite visoke dužnosti. Papa Pio IV. poslao ga je na Tridentski sabor. Bio je također i papinski izaslanik na dvoru španjolskog kralja Filipa II. s kojim je uspostavio iznimno dobre odnose. Kao papa odlučno je provodio unutarcrkvenu obnovu i protureformaciju. Podupirao je rad novoosnovanoga isusovačkog reda. Pomagao je djelovanje isusovaca u Aziji (u Japanu, Indiji i Filipinima). Pod njegovim pokroviteljstvom Isusovački rimski kolegij postao najvažnije obrazovno središte u Europi toga doba, koje su nazivali Sveučilištem naroda. Objavio je cjelovitu zbirku kanonskoga prava *Corpus iuris canonici*. Podizao je i otvarao zavode za školovanje klera (Rimski kolegij ili Gregorijana, Germanicum, Ilirski kolegij u Loretu i dr.). Bio je izravno u vezi s mnogim svecima: Carlom Borromeom, Filippom Nerijem, Ignacijom Lojolom i Robertom Bellarminom, a neizravno sa sv. Terezijom Avilskom i sv. Ivanom od Križa.

bljenu reformacijom. On je težio usklađivanju crkvenoga i prirodnoga vremena, stabilizaciji datuma ravnodnevnice, nužne zato da bi Uskrs dolazio u proljeće, korekciji lunarnoga kalendara da se Uskrs ne bi slavio u mladom Mjesecu. Otada će težnja za točnošću prevladavati nad teretom tradicije, pod mišlju vodiljom: „Vrijeme Svevišnjega mora biti točno, a za to je nužno reformirati julijanski kalendar!“

Osim toga motiva vjerskog karaktera postojala je vjerojatno želja u kritičnom trenutku u samome jeku vjerskih ratova potvrditi vlast Crkve nad kalendarom kad se kalendar počeo pretvarati u sustav mjerenja koji se ne pokorava duhovnoj vlasti.

Povjerenstvo koje je bilo osnovano za obavljanje te zadaće suočilo se s poteškoćama strukturnoga reda (Sunčeva godina ne sadržava cijeli broj dana) i usmjerilo svoj izbor na jednostavno rješenje koje je predložio Luigi Lilio, naime svakih 400 godina uklanjaju se tri kalendarska dana ukidanjem prijestupnih dana u trima od četiriju stoljetnih godina. Na kraju ovoga članka dat ćemo podrobno aritmetičko obrazloženje za takav odabir.

Glavni aktivist povjerenstva bio je njemački isusovac Christophor Clavius<sup>27</sup>), pa je on postao personifikacijom toga kalendara. Clavius je napisao pet radova u kojima je objašnjavao bit reforme kalendara i suprotstavljao se mnogobrojnim kritičarima koji su ukazivali na netočnosti u novome kalendaru. Treba napomenuti da je papa u povjerenstvo imenovao i jednoga Hrvata, Dubrovčanina Nikolu Nalješškovića<sup>28</sup>). Nalješšković je međutim tada bio prestar te nije mogao putovati u Rim i izravno sudjelovati u radu povjerenstva, ali je povjerenstvu poslao pisani prilog koji je dočekan s velikim pljeskom i uzvicima oduševljenja.

Prijestupne (s 366 dana) ostaju samo godine koje su djeljive s brojem 400 bez ostatka (tj. 1600., 2000., 2400. godina

itd.). Ostale stoljetne godine (1700., 1800., 1900. godina itd.) moraju brojiti 365 dana.

Da bi se uklonile nagomilane razlike, Lilio je namjeravao ukloniti deset dana. Na kraju je predložio nov sustav računanja *epakta*, rasta Mjeseca na 1. siječnja svake godine.

Papa Grgur XIII. potpisao je 24. veljače 1582. godine posebnu bulu *Inter gravissimas* (*Među najvažnijim ...*), čiji puni tekst dajemo uz ovaj članak, kojom je uveden u uporabu novi kalendar. Papa je naredio da se ukloni deset kalendarskih dana u listopadu 1582. godine, ne narušavajući pritom red kojim dolaze jedan iza drugoga dani tjedna tako da je odredio da nakon četvrtka 4. listopada 1582. slijedi petak s nadnevkom 15. listopada. Kao početak godine za sav je kršćanski svijet odredio 1. siječnja. U buli papa govori sljedeće: „Trebali smo ne samo vratiti ravnodnevnice na mjesto koje joj je određeno od davnine, od kojeg je ona od vremena Nicejskoga sabora odstupila za približno deset dana, i XIV. lunu (crkvena oznaka punoga mjesec) vratiti na mjesto od kojega je ona za četiri i pet dana odstupila, nego također utvrditi način i pravila kojima će se postići da se u budućnosti ravnodnevnica i XIV. luna nikad ne pomaknu sa svojih mjesta.“

Pod prijetnjom izopćenja iz Crkve svakoga tko ne prihvati crkvenu reformu, papa Grgur XIII. u svojoj je buli propisao: „A zbog toga radi vraćanja ravnodnevnice na njezino prijašnje mjesto za koje su oci Nicejskoga sabora odredili 12. dan prije travanjskih kalenda (21. ožujka) propisujemo i naređujemo da se iz mjeseca listopada ove 1582. godine isključi deset dana, od trećega dana prije nona (5. listopada) do dana uoči ida (14. listopada) uključivo“. Tako bi se proljetna ravnodnevnica pomaknula na 21. ožujka „na svoje mjesto“. A da se ne bi i dalje gomilala pogriješka, odlučeno je da se iz svakih 400 godina isključe tri dana. Prihvaćeno je da se običnim smatraju one stoljetne godine čiji je broj stotica djeljiv s četiri bez ostatka. Usklađen je s Mjesječevim fazama i 19-godišnjim lunarnim ciklusom, određena su pravila njegove redovite korekcije u svakome stoljeću.

Novi kalendar, koji je po papi Grguru nazvan *gregorijanskim* ili *grgurskim kalendarom*, upućen je svim kršćanskim državama. Reforma kalendara nije bila neočekivana. Četiri godine prije, 1578. godine, papa Grgur XIII. pobrinuo se da se vladari država i viši crkveni dužnosnici kratko upoznaju s Lilijevim projektom.

Prednost gregorijanskoga kalendara sastoji se u jednostavnosti (gregorijanski je kalendar svake godine premašivao tropsku godinu samo za 26 sekunda). Do danas to odstupanje čini malo više od tri sata, a tek oko 4905. godine ono će dostići jedan dan!

Gregorijanski kalendar mogao se činiti neosnovanim jer su se znanstvena istraživanja provodila s pomoću najjednostavnijih instrumenata te je zbog toga bilo odabrano približno rješenje, a i zbog toga što je reformu proglasila vjerska vlast čiji autoritet nije bio neosporan. Ipak već četiri stoljeća mi upotrebljavamo taj kalendar. Osim toga on je danas i u građanskom životu postigao svjetsko prihvaćanje.

<sup>27</sup> Cristophor Clavius (1538. – 1612.), njemački isusovac, matematičar i astronom. Bio je glavni arhitekt gregorijanskoga kalendara. Pred kraj svojega života bio je najslavniji astronom u Europi. O njegovu se životu u mladim danima malo zna, osim da je rođen u Bambergu. Ni njegovo krsno ime nije poznato sa sigurnošću. Neki znanstvenici misle da se zvano Christoph Clau (ili Klau). Postoji također mišljenje da je ime Clavius izvedeno igrom riječi od izvornoga njemačkoga imena koje je možda bilo Schlüssel (njemački; hrvatski *ključ*; latinski *clavis*). Godine 1555. stupio je u isusovački red. Školovao se na sveučilištu Coimbra u Portugalu gdje se vjerojatno upoznao i s čuvenim matematičarom Petrom Numesom (latinski *Petrus Nonius*). Nakon toga je studirao teologiju u isusovačkome Rimskom kolegiju. Godine 1579. bio je zadužen za stvaranje računskoga temelja za kalendarsku reformu kojom bi se zaustavio spori proces pomicanja crkvenih blagdana u odnosu na godišnja doba. Predložio je reformu kalendara koju je proveo papa Grgur XIII. Bio je jedan od prvih matematičara koji su upotrebljavali desetičnu točku kao desetični znak. Kao astronom Clavius se strogo držao geocentričnoga modela Sunčeva sustava. Po njemu je nazvan najveći krater na Mjesecu.

<sup>28</sup> Nikola Nalješšković (oko 1500. – 1587.), hrvatski pjesnik, dramatik i znanstvenik. Rodom iz dubrovačke pučke obitelji trgovaca i znanstvenika. U poznim se godinama bavio astronomijom i matematikom. Objavio je znanstveno djelo o nebeskoj sferi (Dialogo sopra la sfera del mondo) tiskano u Veneciji 1579. godine, u kojem je objavio gibanje raznih nebeskih tijela. Ta mu je knjiga donijela toliku slavu da ga je papa uvrstio u kalendarsko povjerenstvo.

## Polemike oko reforme

Kalendarska reforma 1582. godine izazvala je buru protesta i vatrene polemike, posebno među znanstvenicima. Protiv nje su se izjasnila gotovo sva sveučilišta Zapadne Europe, a posebno kategorično Pariško sveučilište i Bečko sveučilište. Mnogi su vodeći znanstvenici toga doba tvrdili da je gregorijanski kalendar astronomski neosnovan, da je to samo „iskrivljavanje julijanskoga kalendara“ itd. Reformu je, ništa manje gorljivo, branio jedan od članova kalendarskoga povjerenstva Christophor Clavius. Bez obzira na aktivo suprotstavljanje, gregorijanska je reforma bila provedena brže zahvaljujući tome što je ona odgovarala duhu vremena. XVI. stoljeće bilo je vrijeme jačanja katolicizma (kao odgovor na protestantsku reformu), jačanja država i intelektualnoga napretka, koji je prethodio znanstvenoj revoluciji XVII. stoljeća.

## Prijam u europskim kršćanskim zemljama

U rimokatoličkim zemljama i njihovim kolonijama prijelaz na gregorijanski kalendar općenito se odvijao prema planu. Gregorijanska reforma brzo je prihvaćena u katoličkoj Europi: već 1582. godine u Italiji, Španjolskoj, Portugalu i Francuskoj (u njoj je nakon nedjelje 9. listopada nastupio ponedjeljak 20. listopada), a tijekom nekoliko idućih godina u Austriji, Ugarskoj i Hrvatskoj (prihvaćanju kalendarske reforme u Hrvatskoj posvećena je iduća točka). Poljska je tada



Brončani kip pape Grgura XIII., palača Accursio, Bologna, Italija

uključivala i Litvu i Latviju, a u njima se kalendarskoj reformi pružao snažan otpor kao dio političkoga previranja toga razdoblja. Nakon toga, kad su se ta područja odvojila od Poljske, ona su se vratila na julijanski kalendar i služila njime sve do XX. stoljeća. Belgija i katolički dijelovi Nizozemske na sličan su način prešli s julijanskog na gregorijanski kalendar krajem 1582. godine.

Transalpinske katoličke regije prihvatile su reformu na drukčiji način. Neki dijelovi Austrije prešli su na novi kalendar u listopadu 1583. godine, a drugi dva mjeseca poslije, u prosincu te godine. Grad Augsburg prihvatio je gregorijanski kalendar u veljači 1583., ali je Bavarska kao cjelina čekala do listopada. Würzburg, Münster i Mainz prešli su na novi sustav u studenome, ali je svaki isključio različit skup od deset dana. Katolički dijelovi Švicarske prešli su na gregorijanski kalendar 12./22. siječnja 1584., a neki su kantoni bili podijeljeni u njegovoj uporabi preko stoljeća. Češka i Moravska te parlament u Pragu pod carem Rudolfom II. također je prihvatio reformu za katolike u siječnju 1584. godine.

Protestanti su odbili novi kalendar. Pedeset godina prije toga Martin Luther, koji je znao za plan reforme, izjavio je da kalendar mora uvesti svjetovna, a ne crkvena vlast. Protestanti su smatrali novi kalendar kao „papinsku“ mjeru, kao papinu težnju da vrijeme stavi pod svoju upravu. Ta im je inicijativa izgledala to sumnjivija jer je dolazila od pape Grgura XIII., žestokog pristaše katoličke protureformacije koji se navodno otvoreno radovao bartolomejskoj noći. Kao odgovor na papinsku bulu pojavila se cijela bujica pamfleta, anonimnih pisama, glasina o bliskom „kraju svijeta“. Njih su posebno vatreno širili protestanti koji su smatrali da je „bolje razići se sa Suncem nego sastati s papom“. Na primjer 1583. godine protestantski profesor Luka Osiander (stariji) nazvao je reformu bezbožnom, a papu antikristom koji je zaželio zapovijedati zvijezdama. Međutim, istaknuti znanstvenik Johannes Kepler<sup>(29)</sup>, premda je i sam bio protestant, zauzimao se za reformu kalendara. Iz tih je razloga u protestantskim i anglikanskim državama reforma bila provedena tek nakon više od stotinu godina.

Protestantska područja Njemačke bila su snažno protiv novoga kalendara. Michael Mastlin<sup>(30)</sup>, profesor astronomije na sveučilištu u Tübingenu predvodio je opoziciju i čak izdao knjigu molitava protiv njega. Protestantska Njemačka i Danska odupirale su se prihvaćanju gregorijanskoga kalendara sve do kraja XVII. stoljeća. Za prihvaćanje novoga kalendara u Danskoj posebno je zaslužan danski astronom Ole Rømer<sup>(31)</sup> koji je uspio uvjeriti danskoga kralja u vrijednost kalendarske reforme.

Švedsko prihvaćanje novoga kalendara imalo je neobičnu povijest. Švedska se odlučila za postupni prijelaz s julijanskoga

<sup>29</sup> Johannes Kepler (1571. – 1630.), veliki njemački astronom i matematičar. Ustanovio je da se planeti oko Sunca gibaju po elipsama te utvrdio njihove zakonitosti, tzv. *Keplerove zakone*.

<sup>30</sup> Michael Mastlin (ili Mostlin) (1550. – 1631.), njemački astronom i matematičar, profesor u Heidelbergu i Tübingenu, bio je mentor Johanna Keplera.

<sup>31</sup> Ole Christensen Rømer (1644. – 1710.), danski astronom koji je prvi izmjerio (1676.) brzinu svjetlosti. Poznat je također po definiraju Rømerove temperaturne ljestvice (valja ju razlikovati od Réaumurere ljestvice).

kalendara na gregorijanski, ukidanjem u svakoj od prijestupnih godina u razdoblju od uključivo 1700. do 1740. godine po jedan suvišni dan (što iznosi ukupno jedanaest suvišnih dana) kako bi se 1. ožujka 1740. godine uskladili s gregorijanskim kalendarom. (Međutim, u tome razdoblju švedski kalendar nije bio usklađen ni s julijanskim ni s gregorijanskim kalendarom.)

U skladu s tim 1700. godina (koja je prema julijanskome kalendaru trebala biti prijestupna) u Švedskoj nije bila prijestupna. Međutim, zabunom 1704. i 1708. godina ostale su prijestupne. Time kalendar u Švedskoj više nije bio u skladu ni s julijanskim ni s gregorijanskim kalendarom, tako da su se odlučili vratiti „natrag“ na julijanski kalendar. Za to su umetnuli dodatni dan u 1712. godinu, čime je ta godina u Švedskoj bila dvostruko prijestupna, pa je veljača 1712. godine u Švedskoj imala 30 dana.

Poslije je Švedska (1753. godine) prešla na gregorijanski kalendar isključivanjem 11 dana kao i ostale protestantske države.

Velika Britanija je, kao jedna od posljednjih država Zapadne Europe preuzela gregorijanski kalendar 1752. godine, koji je odbio prihvatiti primas Anglikanske crkve Velike Britanije iz istih razloga zbog kojih su ga odbijali protestanti. Državni tajnik Velike Britanije lord Chesterfield<sup>(32)</sup> tijekom dviju godina pobrinuo se da se stvori društveno mišljenje za podršku uvođenju gregorijanskoga kalendara u Engleskoj u popularnim časopisima, a također promidžbom te ideje u aristokratskim krugovima. Engleska se pridružila kalendaru susjednih država zahvaljujući samo njegovoj energiji, vještini i sposobnosti uvjeravanja. Godine 1752. početak godine pomaknut je s 1. travnja na 1. siječnja. Iz kalendara je bilo isključeno 11 dana. Nakon 2. rujna nastupio je 14. rujna što je bilo povod za mnogobrojne manifestacije praćene povcima: „Vratite nam naših 11 dana“.

Pravoslavne su crkve još više nego protestantske ustrajale u odbijanju prihvaćanja gregorijanskoga kalendarskog sustava, premda su još 1583. godine na Konstantinopolskom saboru priznale netočnost julijanskoga kalendara. Stvar je bila u tome što je u gregorijanskome kalendaru dosta često Uskrs dolazio sa židovskom Pashom ili čak prije nje (tako je od 1851. godine do 1951. godine katolički Uskrs došao prije židovske Pashe 15 puta), što je bilo zabranjeno „Apostolskim pravilima“. Ali „pridržavajući se“ tih pravila pravoslavna je crkva 1986., 1989. i 1994. godine slavila, a općenito svakoga ciklusa od 5, 8, 11, 16 i 19 godina slavi Uskrs ne nakon prvoga proljetnog punog Mjeseca nego nakon drugog, zbog nesukladnosti Metonova ciklusa s julijanskim kalendarom svakih 19 godina samo pet puta u prvu nedjelju nakon punog Mjeseca. Samim tim ona narušava zaključke za čiju se provedbu još i dalje bori.

Tek je početkom XX. stoljeća većina pravoslavnih država prihvatila u građanskom životu gregorijanski kalendar: Rusija 1918. godine (čime su *Oktobarsku revoluciju* pretvorili u *zapravo* u *novembarsku*), Rumunjska 1919. godine, Grčka 1924. godine. Pravoslavni narodi Kraljevine Srba, Hrvata i Slovenaca (poslije Kraljevine Jugoslavije) prihvatili su u građansko-me životu gregorijanski kalendar 1919. godine. Neke pravo-

slavne crkve (u Rusiji, Grčkoj, Srbiji, Jeruzalemu) i danas su ostale vjerne julijanskomu kalendaru, koji sada odstupa od gregorijanskoga za 13 dana.

Treba napomenuti da su i pravoslavne crkve pokušale reformirati julijanski kalendar. Tako se u svibnju 1923. godine sastao u Carigradu *Svepravoslavni kongres* koji je odlučivao o reformi julijanskoga kalendara koja bi dovela do reforme gregorijanskoga i julijanskoga kalendara i izgradnje jedinstvenoga dotad najpreciznijega kalendara. Glavni arhitekt toga prijedloga bio je poznati srpski znanstvenik Milutin Milanković<sup>(33)</sup>. Milanković je svoj prijedlog podrobno opisao u izvještaju Srpskoj kraljevskoj akademiji nakon povratka s kongresa.

Cilj je toga pokušaja reforme bilo da se stvori novi strogo znanstveno utemeljen kalendar, koji bi uzeo u obzir napredak astronomije od vremena gregorijanske reforme te prema tome bio točniji od gregorijanskoga s tim da se u praktičnoj primjeni što više približi gregorijanskome, odnosno da se u dugome nizu godina podudara s njim tako da se u praksi dugo ne bi osjetila nikakva razlika. Naravno, pravoslavne crkve željele su izbjeći da široke narodne mase svih kršćanskih religija to protumače kao da se „pravoslavna crkva ipak poklonila pred katoličkom“.

Da bi se to postiglo, Milanković je u ime Srpske pravoslavne crkve, odnosno delegacije Kraljevine Srba, Hrvata i Slovenaca, formulirao sljedeće rješenje:

Da bi se novi kalendar doveo na isti datum s gregorijanskim, bilo je potrebo ukinuti iz julijanskoga kalendara koji su upotrebljavale pravoslavne crkve trinaest dana. Nadalje predložio je da prijestupne godine budu one koje su djeljive s četiri bez ostatka (kao što je to bilo i u julijanskome kalendaru) s iznimkom stoljetnih godina (tj. onih godina kojih brojevi završavaju dvjema ničicama) koje bi trebale biti prijestupne samo onda ako broj njihovih stoljeća podijeljen s 9 daje ostatak 2 ili 6. Sve ostale stoljetne godine bile bi obične.

To bi pravilo osiguralo dugogodišnju podudarnost datuma s gregorijanskim kalendarom, što je i bio najvažniji cilj prijedloga te bi razilaženje u datumima između novoga „pravoslavnog“ kalendara i gregorijanskoga kalendara nastupilo tek 2800. godine, odnosno tek nakon 877 godina računano od 1923. godine, kad je prihvaćen taj prijedlog.

Ta reforma premda je jednoglasno prihvaćena 30. svibnja 1923. godine u Carigradu nikad nije primijenjena u praksi.

<sup>32</sup> Philip Dormer Stanhope, lord Chesterfield (1694. –1773.), britanski državnik i pisac.

<sup>33</sup> Milutin Milanković (1879. – 1958.), srpski inženjer, klimatolog i astronom, rođen u Dalju u Hrvatskoj. Bio je svjetski ugledan znanstvenik. Svjetsku je slavu postigao svojom teorijom ledenih doba koja povezuje promjene Zemljine orbite i dugoročne klimatske promjene (tzv. Milankovićeve cikluse). Bio je dopisni član JAZU (danas HAZU) od 1925. godine.

## Prihvaćanje gregorijanskoga kalendara u hrvatskim zemljama

Sada ćemo se kratko osvrnuti na prihvaćanje gregorijanskog kalendara u hrvatskim zemljama oslanjajući se na članak poznatog hrvatskog povjesničara Vjekoslava Klaića: *Novi Kalendar u Hrvatskoj i Slavoniji* (objavljen u Vjesniku Arheološkoga muzeja u Zagrebu Vol 11, No 1, travanj 1911. godine).

Klaić navodi da je 25. studenoga 1583. nadvojvoda Ernest, zamjenik kralja Rudolfa II. <sup>(1)</sup>, pozvao suca i građane Zagreba pismom iz Beča da plate jedan dio ratne daće koju je odredio Sabor kraljevina Hrvatske i Slavonije. Na hrvatu toga pisma potvrdio je ovim riječima sudac zagrebački: „1584. secunda Januari penes novum Calendarium, iuxta vetus vero 23. Decembris 1583. reddite sunt nobis“ (2. siječnja 1584. po novome kalendaru, isto opet po starom 23. prosinca 1583. nama je predano). Po tome se može zaključiti da je grad Zagreb već krajem 1583. godine računao po novome kalendaru, ali je usporedno označivao dane i po starome kalendaru.

Kralj Rudolf II. iz Praga je 7. veljače 1584. godine uputio pismo građanima Zagreba i drugim gradskim općinama (Varaždinu, Koprivnici, Križevcima) u kojem traži pod prijetnjom kazne da se što prije uvede novi kalendar. Prema tome, može se vjerovati da je novi kalendar u Hrvatskoj i Slavoniji uveden kraljevskom odlukom od 7. veljače 1584. godine.

O tome svjedoče i saborski zapisnici iz 1584. i 1585. godine iz kojih se vidi da se u Saboru već tada rabio novi kalendar. Saborski zapisnik, kako navodi Klaić, od 17. prosinca 1584. godine završava ovim riječima: Dano u kraljevskom gradu Zagrebu na Gričkim goricama (brdu Gradcu), sedamnaestoga prosinca prema novome reformiranom kalendaru (latinski: *Datum in civitate reginae Montis graecencis zagrabiensis, decima septima die mensis Decembris, iuxta novum reformatum Calendarium...*).

Premda su kalendar prihvatile Ugarska i Hrvatska, ipak je u Hrvatskoj i Slavoniji bilo onih koji ga nisu prihvaćali. Stoga je hrvatsko-slavonski Sabor koji je ban Toma Bakač Erdödi <sup>(2)</sup> sazvao u Zagrebu 24. srpnja 1588. godine morao zaprijetiti velikom globom od 200 forinta onima koji bi se držali staroga kalendara. Plemićki su suci morali u svojim kotarima razglasiti uvođenje novoga kalendara. Svatko tko bi se nakon toga služio starim kalendarom bio



Naslovnica zagrebačkog kalendara za godinu 1787., još na latinskome jeziku. Tiskan je u tada najvećoj zagrebačkoj tiskari, koju je 1773. godine osnovao bečki tiskar Johann Thomas Trattner, prvo u Varaždinu, a 1776. godine prenio ju je u Zagreb. Tu je tiskaru 1793/94. godine kupio Maksimilijan Vrhovac (1752. – 1827.), zagrebački biskup od 1787. godine, veliki dobrotvor i mecena, radi tiskanja hrvatskih knjiga kao ostvarenja prosvjetiteljskih zamisli i odupiranja mađarizaciji. (Samoborski muzej)

<sup>1</sup> Rudolf II. (1552. – 1612.), car Svetoga Rimskog Carstva (1576. – 1612.), ugarsko-hrvatski kralj (1576. – 1608.), češki kralj (1576. – 1611.). Bio je obrazovaniji od većine tadašnjih vladara, govorio je više jezika (njemački, latinski, španjolski, talijanski i češki), a imao je veliko znanje iz drugih područja. Dobro je poznao latinsku poeziju, rimsku povijest, matematiku i astronomiju. Svoj dvor preselio je iz Beča u Prag na kojem je okupio brojne znanstvenike i umjetnike, među kojima su bili Tycho Brache, Johannes Kepler, Faust Vrančić i dr.

<sup>2</sup> Toma Bakač Erdödy (1558. – 1624.), hrvatski velikaš i hrvatsko-slavonsko-dalmatinski ban (1584. – 1595. i 1608. – 1614.). Junak protuturskih ratova. Pobjednik u slavnoj bitci kod Siska (1593. godine). Za tu ga je pobjedu pohvalio papa Klement VII., a španjolski kralj Filip II. imenovao ga je vitezom reda sv. Spasitelja. Veliki hrvatski pjesnik A. G. Matoš posvetio je banu T. Bakaču pjesmu Pri svetom kralju.

bi pozvan pred županijski sud te osuđen na globu od 200 forinta, koja bi se namirila iz njegova pokretnoga imetka, a ako ne bi imao takvog imetka iz njegova posjeda, protiv takve osude nije bilo pravnoga lijeka.

U Dalmaciji i Istri koje su tada bile pod mletačkom upravom nemamo podataka o uvođenju novoga kalendara. Vjeruje se da je uveden istodobno kad i u Mletcima. Isto tako nemamo podatke o uvođenju kalendara u Dubrovačkoj Republici.

U dijelovima Slavonije i u Bosni koji su bili pod turskom okupacijom novi je kalendar uveden među katolicima tek u prvoj polovici sedamnaestoga stoljeća nastojanjem franjevaca.

## Naš ljetopis (era *Anno Domini*)

Danas se u cijelome svijetu barem za građanske svrhe godine broje na tradicionalno izračunanoj godini Kristova začeca i rođenja. Tu je eru 525. godine uveo rimski redovnik Dionizije Mali (latinski *Dionisius Exiguus*)<sup>3</sup>, rođen u Maloj Skitiji<sup>4</sup>. Često se godina prema toj eri označuje slovima AD (ili A.D.) što je kratica od latinskoga izraza *Anno Domini* (hrvatski: ljeta gospodnjega).

Taj je sustav postao *de facto* svjetska norma koju upotrebljavaju sve međunarodne organizacije kao što su UN, Svjetska poštanska unija, Međunarodna organizacija za normizaciju (ISO 8601) itd.

Prije nego što je općenito prihvaćena kršćanska era u datiranju dokumenata, u različitim su se razdobljima i u različitim državama upotrebljavali različiti sustavi, na primjer *era olimpijada*, *era od osnutka grada* (*ab urbe condita*) Rima, *era konzula* (*Annus Consularis*), *carska era*. Najpoznatiji od njih bilo je brojenje godina prema *indikcijama*. Indikcija<sup>5</sup> je izvorno bila razdoblje od petnaest godina fiskalnoga karaktera u kojem se dvaput provodilo izvanredno ubiranje poreza radi poravnjanja proračuna Rimskog Carstva. Od sredine 4. stoljeća indikator se upotrebljava i za dokumente koji nisu povezani sa skupljanjem poreza, a do kraja se stoljeća proširila Sredozemljem. Za razliku od olimpijada indikator se nisu brojile te se obično označivao samo broj godine u tekućoj indikatoru, a nije se uzimao broj ciklusa koji su već završeni. Tako na primjer četvrta indikator (lat. *indictio quarta*) ne označuje četvrtu indikatoru nego četvrtu godinu neke posebne indikatoru iz čega proizlazi da se iz poznavanja samo godine indikatoru ne može odrediti apsolutni datum nekoga dokumenta ako nije približno poznato drugo razdoblje kojem dokument pripada. Nada-

<sup>3</sup> Dionizije Mali (*Dionisius Exiguus*) (472. ili 473. – 544.), rimski redovnik i papinski arhivar. Prezime *Exiguus* ili „Mali“ prihvatio je vjerojatno kao čin samoumanjivanja (poniznosti), a ne zbog toga što je bio malen rastom; njegova glavna djelatnost pada početkom šestoga stoljeća. Premda je rodom iz Skitije, po značaju je bio pravi Rimljanin i potpuni katolik, izvorsno je govorio latinski i grčki, a bio je savršen poznavatelj Svetoga pisma.

<sup>4</sup> Mala Skitija (latinski: *Scythia Minor*, grčki: *Μικρά Σκυθία*) u antičko doba područje omeđeno Dunavom na sjeveru i zapadu i Crnim morem na istoku, koje odgovara današnjoj Dobrudži, koja se nalazi dijelom u današnjoj Rumunjskoj i Bugarskoj.

<sup>5</sup> *Indictio* latinski znači objava, proglas.



Naslovnica Obćeg zagrebačkoga kolendara za godinu 1847., već na hrvatskom jeziku, s promidžbenim crtežom tiskare. Tiskana je u nekadašnjoj Biskupskoj tiskari koju je 1826. godine posredno kupio Franjo Župan (Suppan), a u kojoj su od 1835. godine tiskana prva godišta Gajevih Novina Horvatzkih i njihova tjednoga kulturnog priloga Danice Horvatzke, Slavonzke i Dalmatinske. (Samoborski muzej)

lje indikatoru su se izračunavale na temelju različitih sustava tako da su postojale grčke (Konstantinove ili carigradske) indikatoru, koje su uvedene 1. rujna 312. godine, a upotrebljavale su se uglavnom na istoku; carske (Cesarove ili zapadne) indikatoru, koje su uvedene 24. rujna 312. godine, a upotrebljavale su se u zapadnome kršćanstvu, te rimske (papinske ili pontifikalne) indikatoru koje su uvedene u 9. stoljeću, a počinjale su prvoga dana godine koji je u nekim slučajevima bio 25. prosinca, a u drugim 1. siječnja; taj je sustav također bio uobičajen u zapadnome kršćanstvu, ali unatoč njegovu nazivu nije se upotrebljavao isključivo u papinskim dokumentima.

Usporedno s godinom indikatoru bilo je uobičajeno i u carskim i u papinskim dokumentima navoditi godinu vladavine cara ili pape. Općenito govoreći (prema pravilu koje je dopuštalo mnogo iznimaka, posebno kasnije) godina vladanja računala se od dana krunidbe cara ili ustoličenja pape. U službenim aktima većine kršćanskih država uvijek se navodila godina vladavine suverena. Kao neprekidni sustav brojenja godina najstarija era u praktičnoj uporabi čini se da je bila „era mučenika“ ili „Dioklecijanova era“ (lat. *anni Diocletiani*). Kao njezin početak bilo je uzeto stupanje na vlast cara Dioklecijana, 29. kolovoza 284. godine.

Godine 525. papa Ivan I<sup>6</sup> zatražio je od redovnika Dionizija Maloga da sastavi novu uskršnu tablicu. U vrijeme Dionizija metoda izračuna datuma Uskrsa bila je već pouzdano razrađena. Aleksandrijski su biskupi obično sastavljali uskršne tablice za 95 godina (tzv. mali uskršni krug) i slali ih svim kršćanskim crkvama. U novome 95-godišnjem ciklusu u svake tri od četiri godine Uskrš dolazi na iste datume kao i u pret-

<sup>6</sup> Papa Ivan I (470. (?) – 526.), papa od 523. – 526. godine.

hodnome ciklusu, a u četvrtoj godini (zbog nepodudarnosti prijestupnih godina) on se pomiče za jedan broj unaprijed, a jedan put točno u svakih 27 godina za 6 dana unazad.

Zasluga se Dionizija pred crkvom sastoji u tome što je Zapadna crkva počela upotrebljavati datiranje Uskrsa (pashaliju) koju je on stvorio pri čemu nije bilo razilaženja u pitanju slavljenja Uskrsa između Istočne i Zapadne crkve sve do reforme kalendara iz 1582. godine. Dionizije je unio popravke provjerom Mjesečevih faza i dana u tjednu s pomoću 19-godišnjega Metonova ciklusa, te što je i najvažnije, on je prema običaju Istočne crkve odredio Uskrs na 15. nisanu ako taj datum pada nedjeljom (a to prije u Rimu nisu dopuštali) upravo kako je aleksandrijski patrijarh Kiril sastavio uskrsne tablice za razdoblje uključivo od 153. do 247. godine Dioklecijanove ere, tj. do 531. godine kršćanske ere.

Dionizije Mali odredio je sljedeće: „Kako je od toga kruga preostalo samo šest godina, odlučili smo produljiti na sljedećih 95 godina“. On je pritom odustao od Dioklecijanove ere (jer nije priličilo kršćanima uvoditi ljetopis od dolaska na vlast imperatora koji ih je nemilosrdno progonio) i uveo računanje godina od „Kristova rođenja“, a prema drugim podacima – *ab incarnatio Domini* – od „utjelovljenja Gospodinova“, tj. od „blagdana Blagovijesti“ (koji se slavi 25. ožujka).

Međutim Dionizije nije nigdje objasnio kakvim je rasuđivanjima i na temelju kojih izračuna kao početak svoje ere uzeo baš to, a ne na neko drugo mjesto u neprekidnome nizu godina. Smatra se da je pri sastavljanju svoje ere Dionizije uzeo u obzir predaju da je Krist umro u 31. godini života i uskrsnuo 25. ožujka. Prema tome na taj je dan padao „prvi Uskrs“. Iduća godina u kojoj je prema Dionizijevu izračunu Uskrs ponovno dolazio 25. ožujka bila bi 279. godina Dioklecijanove ere. Usporedbom svojih izračuna s evanđeljima Dionizije je mogao pretpostaviti da se „prvi Uskrs“ zacijelo slavio 532 godine brojeći unatrag od 279. godine Dioklecijanove ere. Dodavanjem broju 532 još 31 godinu (pretpostavljenu zemaljsku životnu dob Isusa Krista u vrijeme njegove smrti i uskrsnuća) te odbrojanjem unatrag od 279. godine Dioklecijanove ere tih 563 godina, Dionizije je „utvrdio“ početak ere od „Kristova rođenja“, tj. da je 279. godina Dioklecijanove ere = 563. godina od „Kristova rođenja“.

Najzaslužniji je za promicanje uporabe sustava datiranja *Anno Domini* anglosaksonski povjesničar Bede Časni<sup>(7)</sup>. On je taj sustav upotrebljavao u svojoj *Crkvenoj povijesti engleskog naroda* koja je dovršena 731. godine i u svojemu kronološkom djelu *De Temporum Ratione*. On je prvi u toj povijesti upo-

trijebio i izraz „prije Krista“<sup>(8)</sup> za godine koje u prethodile godini A.D. 1 i postavio normu prema kojoj nema ništične godine. Dionizije i Bede oba su smatrala da *Anno Domini* započinje Isusovim utjelovljenjem (inkarnacijom), ali se razlika između „utjelovljenja i rođenja nije pravila do kraja 9. stoljeća, kad se na nekim mjestima epoha inkarnacije poistovjećivala s Kristovim začecem, tj. Blagoviješću koja se slavi 25. ožujka. Godina koja je prethodila godini A.D.

Premda se uporaba A.D. proširila u 9. stoljeću, uporaba naziva „prije Krista“ (*ante Christum*) ušla je u širu uporabu mnogo kasnije nakon što je taj naziv za godine prije A.D. 1 u svojemu djelu *De doctrina temporum* (izdanom 1627.) upotrebljavao francuski teolog Denis Petau (*Dionysius Petavius*)<sup>(9)</sup>.

U kontinentalnoj Europi *Anno Domini* uveo je Alcuin iz Yorka<sup>(10)</sup> u doba karolinške renesanse. U službenim se aktima era od Kristova rođenja susreće već u kapitularu<sup>(11)</sup> Karla Velikoga<sup>(12)</sup> od 21. travnja 742. godine. U papinskim aktima ona se primjenjuje od pape Ivana XIII. (X. stoljeće).

Do masovnije uporabe u Europi dolazi od 11. do 14. stoljeća. Portugal je bio posljednja zapadnoeuropska zemlja koja je prihvatila taj sustav i to 1422. godine. U pravoslavnim zemljama taj je sustav ušao u uporabu početkom 18. stoljeća kad je uveden u Rusiji u doba cara Petra Velikoga<sup>(13)</sup>.

Napominjemo da postoje ozbiljne sumnje u točnost Dionizijeva izračuna godine Kristova rođenja. Na to upućuju kronološke nepodudarnosti određenih događaja iz Kristova zemaljskoga života opisanih u evanđeljima s razdobljima djelovanja određenih povijesnih osoba (cara Tiberija, upravitelja Judeje Poncija Pilata, tetrarha/kralja Galileje Heroda Velikoga itd.) o čijim razdobljima vladavine postoje točno utvrđeni povijesni podatci. Iz tih podataka proizlazi da se Krist najvjerojatnije rodio nekoliko godina prije godine koju je Dionizije odredio kao godinu Kristova rođenja. U analizu tih činjenica nećemo se upuštati jer je svrha ovoga dijela članka dati kratak prikaz nastanka računanja godina kršćanske ere (tj. godina od Kristova rođenja) bez obzira na to je li godina Kristova rođenja utvrđena točno.

<sup>7</sup> Bede je u stvari upotrebljavao drugi latinski izraz *ante vero incarnationis dominicae tempus* (vrijeme prije utjelovljenja Gospodnjeg).

<sup>8</sup> Denis Petau (*Dionysius Petavius*) (1583. – 1652.), jedan od najistaknutijih teologa 17. stoljeća. Nakon studija u Orleansu, Parizu i Sorbonni stupio je (1605.) u isusovački red. Papa Urban VIII. imenovao ga je kardinalom (1639.).

<sup>10</sup> Alcuin iz Yorka (oko 730. – 804.), pisac i učitelj rođen u Engleskoj. Karlo Veliki ga je pozvao na svoj dvor na kojemu je postao glavni znanstvenik i učitelj. Smatra se najvažnijim arhitektom karolinške renesanse.

<sup>11</sup> Kapitulari su bili propisi franačkih vladara koji su se odnosili na pitanja svakodnevnoga života. Naziv kapitulari dolazi od toga što su bili podijeljeni na poglavlja (lat. *Capitulae*).

<sup>12</sup> Karlo Veliki (lat.: *Carolus Magnus*, njem.: Karl der Grosse, franc.: Charlemagne) (747. – 814.), franački kralj od 771. i car od 800. godine.

<sup>13</sup> Petar I. Veliki (Petar I. Aleksejevič Romanov, 1672. do 1725.), ruski car od 1682. do 1725. godine. Proveo reformu i europeizaciju ruskoga društva. Smatra se jednim od najistaknutijih vladara u ruskoj povijesti.

Bede Časni (lat. *Bede Venerabilis*, engl. Bede Venerable) (672. ili 673. – 735.), crkveni naučitelj rođen u sjevernoj Engleskoj. Kad mu je bilo samo sedam godina roditelji su ga kao samostanskoga kandidata predali u benediktinski samostan u Wearmouthu. Beda je u 19. godini postao đakon, a u 30. prezbiter. Počeo je pisati već kao đakon. Uz teološke spise napisao je i nekoliko asketskih. Uz crkvenu povijest, sv. Beda napisao je i vrijedna hagiografska djela, gramatička i znanstvena djela. Ona su ga uvrstila među najučenije ljude srednjega vijeka. Poznato je njegovo djelo *Historia ecclesiastica gentis Anglorum*. Bio je pravo čudo svetosti i učenosti svojega doba čime je i zaslužio nadimak Časni. Svojim radom zadužio je ne samo svoju domovinu nego i cijelu Crkvu. Papa Lav XIII. proglasio ga je naučiteljem Crkve.



# Matematičko rješavanje kalendarskoga problema

Kao što smo već naveli, tropska je godina mjerena danima jednaka oko 365,2422 dana, a uz to se sporo vremenski mijenja. Naravno, u građanskom životu takvu duljinu godine nije moguće upotrebljavati ni ozakoniti. Taj se problem može riješiti tako da se za određene godine odabere trajanje od 365 dana, a druge 366 dana u određenim ciklusima tako da srednja duljina godine bude što je moguće bliže točnomu trajanju tropske godine. Na taj način pravu duljinu godine možemo odrediti s bilo kojom točnošću, ali nam za to može biti potreban veoma složen zakon redanja kraćih (običnih) i duljih (prijestupnih) godina, što nije poželjno. Stoga je potreban kompromis koji bi razmjerno jednostavnim zakonom redanja godina dao tijekom određenoga ciklusa srednju duljinu godine dostatno blisku točnoj.

Taj je problem riješio aleksandrijski astronom Sosigen kojega je Julije Cezar pozvao u Rim kao savjetnika za provedbu reforme tadašnjega rimskog kalendara. Na njegov prijedlog Julije Cezar uveo je sustav četverogodišnjih ciklusa koji su se sastojali od tri uzastopne kraće godine i jedne, četvrte dulje godine. Mnogo poslije toga, kad je bilo prihvaćeno kršćansko brojenje godine, prijestupnima su se počele smatrati godine čiji je broj djeljiv s 4. Taj je kalendar nazvan „julijanskim“ *kalendarsom*. Prema julijanskome kalendaru srednja duljina godine ima 365,25 dana, tj. 365 dana i 6 sati.

Sada ćemo najprije u općem obliku prikazati kako se rješava taj problem utvrđivanja ciklusa u kojima se određenim redom smjenjuju obične i prijestupne godine.

Neka su  $x$  i  $y$  redom broj običnih godina (od 365 dana) i broj prijestupnih godina (od 366 dana) u odabranome ciklusu. Na taj je način prosječna tropska godina jednaka:

1 tropska godina u danima:

$$365,2422 = \frac{365x + 366y}{x + y} = 365 + \frac{y}{x + y}.$$

Duljinu tropske godine u danima prikazat ćemo u obliku verižnoga razlomka. Jednostavnim aritmetičkim operacijama dobivamo:

$$365,2422 = 365 + \frac{1}{4 + \frac{1}{7 + \frac{1}{1 + \frac{1}{3 + \dots}}}} = [365; 4, 7, 1, 3, \dots].$$

Uporabom toga izraza možemo praktično sa željenom točnošću u određenome ciklusu aproksimirati desetični dio trajanja godine u danima.

Ovisno o željenoj točnosti možemo odabrati nekoliko aproksimacija koje mogu dati prikladno rješenje kalendarskoga problema, tj. odabir ciklusa u kojem se određenim redom redaju godine od 365 dana i godine od 366 dana:

$$365 \frac{1}{4}; 365 + \frac{1}{4 + \frac{1}{7}} = 365 \frac{7}{29};$$

$$365 + \frac{1}{4 + \frac{1}{7 + \frac{1}{1}}} = 365 \frac{8}{33};$$

$$365 + \frac{1}{4 + \frac{1}{7 + \frac{1}{1 + \frac{1}{3}}}} = 365 \frac{31}{128} \text{ itd.}$$

Svaki od prikladnih verižnih razlomaka daje određeno rješenje kalendarskoga problema. Vidimo da prva aproksimacija odgovara ciklusu od četiri godine u kojem su tri obične i jedna prijestupna godina, druga ciklusu od 29 godina u kojem je 7 prijestupnih godina, treća ciklusu od 33 godine u kojem je 8 prijestupnih godina, četvrta ciklusu od 128 godina u kojem je 31 godina prijestupna itd. Na primjer, aproksimacija  $365 \frac{1}{4}$  daje rješenje Julija Cezara: jedna prijestupna godina svake četiri godine (pri čemu se u 128 godina nakupi pogriješka od 1 dana). Uporabu aproksimacije  $365 \frac{7}{29}$  nitko nije predlagao najvjerojatnije zbog toga što je iduća aproksimacija  $365 \frac{8}{33}$  neznatno složenija, ali znatno točnija. Kalendar

prema kojem bi u svakome razdoblju od trideset i tri godine trebalo biti osam prijestupnih godina, predložio je perzijsko-turkmenski filozof, matematičar i pjesnik Omar Khayyam<sup>14</sup> oko 1079. godine. S čisto astronomskoga stajališta Khayyamov kalendar bio je točniji od starorimskoga julijanskoga kalendara, koji se primjenjivao u Europi u doba Khayyama, a točniji i od kasnijega europskog gregorijanskoga kalendara. Umjesto ciklusa od „1 prijestupne godine u razdoblju od 4 godine“ (julijanski kalendar) ili od „97 prijestupnih godina u razdoblju od 400 godina“ (gregorijanski kalendar), Khayyam je odabrao ciklus od „8 prijestupnih godina u razdoblju od 33 godine“. Drugim riječima u razdoblju od 33 godine bilo bi 8 prijestupnih i 25 običnih godina. Taj kalendar dobro odgovara astronomskoj godini, ali zbog složenijih izračuna nije bio prihvaćen ni u njegovoj domovini – Iranu – ni u drugim državama islamskoga svijeta, koje se uporno pridržavaju tradicionalnoga lunarnog kalendara. Na kraju je Khayyamov kalendar ustupio mjesto drugim kalendarskim sustavima.

Posebno je točna četvrta varijanta. Pogriješka od jedne sekunde nema nikakva praktičnoga značenja. Zbog toga je trebalo uvesti u julijanski kalendar sljedeći popravak: svakih 128 godina izostaviti jednu prijestupnu godinu (jer u julijanskome kalendaru u 128 godina dolaze 32 prijestupne). Prijedlog za

<sup>14</sup> Omar Khayyam (1040. – 1123.), perzijski filozof, matematičar, astronom i pjesnik. Pisao je također rasprave o mehanici, zemljopisu, mineralogiji, glazbi i islamskoj teologiji.

takav kalendar dao je Johann von Mädler<sup>(15)</sup>. On je 1864. godine predložio ruskoj vladi da zamijeni netočni julijanski kalendar u kojem se pogriješka od jednoga dana nakuplja svakih 128 godina, novim u kojem se pogriješka od jednog dana nakuplja tek u 10 000 godina. U von Mädlerovu kalendaru umjesto ciklusa „jedna prijestupna godina u ciklusu od svake 4 godine“ predložen je ciklus od 128 godina koji sadržava 31 prijestupnu i 97 običnih godina. Prema von Mädlerovu prijedlogu, ako godine 3200., 6400., 9600., 12800., 16000. itd. ne bi bile prijestupne, tada bi trajanje srednje gregorijanske godine bilo 365,242 187 5 dana (10 000 podijeljeno s 32000 daje 3,125) te bi se ona veoma tijesno približila stvarnome trajanju srednje tropske godine koja traje 365,242 19 dana. Tako bi se tada napravila veoma mala pogriješka od samo  $3,125 - 3,100 = 0,025$  dana u 10 000 godina.

Međutim, taj samoinicijativni prijedlog von Mädlera nisu prihvatili ni car ni pravoslavna crkva. Nakon boljševičke revolucije sovjetska je vlast prihvatila zapadni gregorijanski kalendar s dogovorenom tropskom godinom od 365,2425 dana (tj. 365 d 5 h 49 min 12 s).

U tablici u nastavku dan je prikaz točnosti određenih aproksimacija u odnosu na točno trajanje tropske godine.

Ciklus	Srednje trajanje godine	Pogriješka
1 svake četiri godine 1 prijestupna	365 d 6 h 00 min 00 s	-11 min 14 s
2 svakih 29 godina 7 prijestupnih	365 d 5 h 47 min 35 s	+1 min 11 s
3 svake 33 godine 8 prijestupnih	365 d 5 h 49 min 05 s	-19 s
4 svakih 128 godina 31 prijestupna	365 d 5 h 48 min 45 s	+1 s

Sada, kad smo matematički analizirali i riješili problem, možemo se vratiti povijesnome problemu koji je rješavalo povjerenstvo Grgura XIII.

Na početku smo rekli da je srednja duljina gregorijanske godine 365 d 5 h 49 min 12 s.

Ta se vrijednost razlikuje od prave za 26 sekunda. Dobiva se dojam da su papa Grgur XIII. ili njegovi znanstvenici smislili kalendar složeniji, ali manje točan od Khayyamova.

Stvar je međutim u tome da u doba Grgura XIII. trajanje godine nije bilo poznato s tolikom točnošću kao danas. Povjerenstvo Grgura XIII. upotrebljavalo je astronomske tablice koje su sastavili astronomi Alfonsa X. Mudrog<sup>(16)</sup>, kralja Kastilje i Leóna (pokrajina u današnjoj Španjolskoj). Te su tablice najprije bile izdane u Veneciji stotinu godina nakon autorove smrti. U njima je dano sljedeće trajanje godine:

$$1 \text{ godina} = 365 \text{ d } 5 \text{ h } 49 \text{ min } 16 \text{ s.}$$

Služeći se tim tablicama, povjerenstvo je moralo doći do zaključka da se trajanje godine koje su predložili razlikuje za samo četiri sekunde od točne vrijednosti. Da je povjerenstvo znalo za prijedlog Omara Khayyama, ono bi došlo do zaključka da njegov kalendar daje pogriješku od 11 sekunda.

Dodajmo da nema nikakvih temelja pretpostavljati da je povjerenstvo Grgura XIII. upotrebljavalo verižne razlomke. Ono je strpljivo, u znoju lica svojega, utvrdilo potrebni odnos.

Što se tiče Omara Khayyama, misli se da je on poznavao, ako ne potpunu teoriju verižnih razlomaka, a ono barem neki pristup načelno sličan pristupu problemima o najracionalnijim aproksimacijama razlomaka s malim nazivnicima. U tom je razdoblju istočna znanost u mnogim područjima bila iznad europske.

## Zaključak

Gregorijanski kalendar ima mnoge nedostatke: godine i mjeseci ne počinju jednakim danom u tjednu, datumi u svakoj godini padaju na druge dane u tjednu, gotovo je nemoguće bez kalendara odrediti na koji je dan u tjednu pao neki datum ili na koji će pasti itd.

Iako postoje prijedlozi novih kalendara, gregorijanski je kalendar uz sve njegove nedostatke toliko utkan u naš život i današnji svijet da će ga biti vrlo teško zamijeniti nečim možda boljim.

<sup>15</sup> Johann Heinrich von Mädler (1794. – 1874.), njemački astronom. Proveo je 25 godina (1840. – 1865.) u Ruskome carstvu (u današnjoj Estoniji) u kojemu je upravljao opservatorijem u gradu Tartu (Tartu Observatoorium).

<sup>16</sup> Alfons X. Mudri (1221. – 1284.), kralj Kastilje i Leona (1252. – 1282.) te rimsko-njemački kralj (1257. – 1273.). Bio je pjesnik i pisac, poticao je razvoj znanosti i književnosti. Na njegovu su dvoru djelovali mnogi arapski i židovski znanstvenici. Izradio je najnapredniju zvjezdarnicu toga doba. U kršćanskoj Europi sjeverno od Piri-neja znanstvena je astronomija još bila gotovo nepoznata. Židovski znanstvenik Don Isak ibn Cid sastavio je astronomske tablice koje se nazivaju Alfonsovima i koje su se upotrebljavale tri stoljeća, a upotrebljavao ih je i Nikola Kopernik.

## Inter Gravissimas<sup>17</sup>

### Grgur, biskup, sluga slugu Božjih, na vječno sjećanje

Među najvažnijim našim pastoralnim dužnostima nije posljednja ona o kojoj se s pomoću Božjom brinemo za dovršenje onih svetih obreda koje je Svetoj Stolici namijenio Sabor u Tridentu (1545. – 1563.).

#### I.

Kad su oci rečenoga sabora dodali svojim preostalim razmatranjima skrb za časoslov, u tome ih je spriječio nedostatak vremena, te su oni stvarno odlukom istog sabora cijelo to pitanje uputili vlasti i sudu rimskoga pape.

#### II.

Časoslov ima dva glavna dijela. Jedan obuhvaća molitve i crkvene pjesme koje se pjevaju na blagdane i u radne dane, a drugi se odnosi na godišnje ponavljanje Uskrsa i blagdana koji o njem ovise, koje treba mjeriti kretanjem Sunca i Mjeseca.

#### III.

Obnovu prvoga dijela proveo je i objavio Pio V., naš prethodnik, blažene uspomene.

#### IV.

Međutim, drugi dio, koji zahtijeva prvo obnovu kalendara, dosad nije bilo moguće dovršiti, premda su to odavno više puta pokušavali pape naši prethodnici. Tome je bio razlog što su prijašnji prijedlozi za izmjenu kalendara koje su predlagali stručnjaci za nebeska kretanja uključivali velike i gotovo nerazmrsive poteškoće te ne bi imali dugotrajn učinak, a također nisu ostavljali nedirnutima stare crkvene obrede (o kojima se nadalje trebala voditi briga).

#### V.

Iako smo također bili zauzeti zadaćom i pitanjima službe koja nam je nezasaženo povjerena Božjom providnošću, naš dragi sin Antonio Lilio, profesor znanosti i medicine, donio nam je knjigu, koju je svojedobno napisao njegov brat Alojzije. Bilo je očito da je on smislio novi ciklus epakta, koje je prilagodio određenom pravilu zlatnog broja te prilagodio dužini svake Sunčeve godine, pokazujući da se svi elementi koje su bili poremećeni u kalendaru mogu obnoviti na dosljednoj osnovi koja će vječno trajati, tako da neće biti potrebno ponovno mijenjati kalendar.

Taj smo novi nacrt obnove kalendara sažet u knjižicu prije nekoliko godina uputili kršćanskim vladarima i slavnim sveučilištima kako bi se o tome pitanju, koje je zajednička briga, posavjetovali sa svima. Kad su oni dali suglasan odgovor, kako smo se iskreno nadali, odlučili smo s njihovim slaganjem pozvati u Sveti Grad najveće stručnjake za ta pitanja zbog izmjena kalendara; oni su davno prije bili odabrani iz glavnih kršćanskih naroda svijeta.

Kad su ti stručnjaci koji su tome pitanju posvetili mnogo vremena, pozornosti i noćnog proučavanja istražili cikluse, stare i nove, iz svih izvora te nakon što su proveli raspravu o njima te ih vrednovali s najvećom pozornošću, odabrali su po svojemu vlastitom sudu i sudu učenih ljudi koji su pisali o tome pitanju, onaj ciklus epakta

koji je u odnosu na druge imao prednost, kojem su dodali neke elemente koje su nakon pozornoga proučavanja smatrali da treba dodati za usavršavanje kalendara.

#### VI.

Prema tome uzimajući u obzir da je za ispravno slavljenje Uskrsa u skladu s pravilima koja su utvrdili prijašnji rimski prvosvećenici, posebno Pio I. i Victor I., a također i veliki ekumenski Nicejski sabor, potrebno je istodobno riješiti tri pitanja:

- prvo, točan datum proljetne ravnodnevnicе
- nakon toga točan datum četrnaestoga dana nakon novog mjeseca u prvome mjesecu koji se pojavljuje na sami dan ravnodnevnicе ili neposredno nakon nje i
- konačno prvu nedjelju koja slijedi iza toga četrnaestog dana mladog Mjeseca

uredili smo da se:

- ne samo proljetna ravnodnevnicа vrati na svoje izvorno mjesto od kojeg je ona od vremena Nicejskog sabora odstupila za približno deset dana,
- te da se XIV. pashalni dan mladog Mjeseca (crkvena oznaka punog Mjeseca, p. p.<sup>18</sup>) vrati na svoje mjesto od kojeg je trenutačno udaljen za četiri ili pet dana,
- nego smo također utvrdili razuman sustav i pravila koja će jamčiti da se ravnodnevnicа i četrnaesti dan mladog Mjeseca nikad u budućnosti neće pomaknuti sa svojih mjesta.

#### VII.

Prema tome, da bi se proljetna ravnodnevnicа čiji su datum oci prvoga Nicejskog sabora utvrdili na XII. dan prije travanjskih kalenda (21. ožujka, p. p.) vratila na to isto mjesto, zapovijedamo i određujemo:

- da se iz listopada 1582. godine ukloni deset dana počevši od trećega dana uoči nona (5. listopada) do dana uoči ida (14. listopada, p. p.) uključivo;
- te da se dan nakon blagdana svetoga Franje (Asiškog) (koji se po običaju slavio na četvrti dan uoči nona (4. listopada, p. p.)) mora nazivati listopadskim idama (15. listopada, p. p.) te da se na taj dan moraju slaviti blagdani mučenika svetoga Dionizija, Rustika i Eleuterija te spomen na svetoga Marka, papu i mučenika za vjeru i mučenika svetoga Sergija, Baha, Marcela i Apuleja.
- da se sedamnaestoga dana uoči kalenda mjeseca studenog (16. listopada, p. p.) koji mora biti sljedećeg dana, mora slaviti Sveti Kalist, papa i mučenik
- da se nakon toga na sedamnaesti dan uoči kalenda iz studenoga mora promijeniti dominikalno slovo s G na C, a služba i misa moraju biti 18. nedjelje nakon pentekosta
- konačno, da petnaesti dan prije kalenda mjeseca studenoga (18. listopada, p. p.) mora biti blagdan svetoga Luke evanđelista; na

<sup>17</sup> Slobodniji prijevod na hrvatski, prilagođen suvremenom izričaju.

<sup>18</sup> Oznaka p.p. = primjedba prevoditelja

kon kojeg će ostali blagdani dolaziti uzastopno kako su opisani u kalendaru.

### VIII.

Ali, kako zbog toga našega oduzimanja deset dana nitko tko mora vršiti mjesečna ili godišnja plaćanja ne bi pretrpio bilo kakvu štetu, suci će u svim spornim pitanjima koja bi mogla iz toga nastati zbog rečenog oduzimanja dodati deset dana datumu svakoga takvog plaćanja.

### IX.

Nadalje, da se ravnodnevnica u budućnosti ne bi udaljila od XII. travanjskih kalenda (21. ožujka, p. p.), odlučujemo:

- da prijestupni dan mora i dalje ostati u svakoj četvrtoj godini, prema dosadašnjem običaju, izuzimajući stoljetne godine, koje su dosad uvijek bile prijestupne, odlučujemo da i 1600. godina bude prijestupna
- nakon toga, međutim, stoljetne godine koje slijede ne smiju biti prijestupne, samo svaka četiristoljetna godina mora biti prijestupna, tako da 1700., 1800. i 1900. godina neće biti prijestupne. Međutim, u 2000. godini mora se dodati prijestupni dan na uobičajeni način, s veljačom koja će imati 29 dana
- te da se nakon toga mora isti red izostavljanja i dodavanja prijestupnoga dana provoditi u svakom razdoblju od četristo godina zauvijek.

### X.

Osim toga, kako bi se četrnaesti dan pashalnoga mladog Mjeseca mogao točno odrediti, te da bi se vrijeme punog mjeseca moglo pozdano najaviti svaki dan iz martirologija, u skladu s drevnom uporabom Crkve odlučujemo:

da se iz kalendara ukloni zlatni broj i zamijeni ciklusom epakta, uređenim, kako smo rekli, određenim pravilom zlatnoga broja kako bi se osiguralo da mladač i četrnaesti dan pashalnoga mjeseca zauvijek zadrže svoja mjesta.

To se jasno vidi u objašnjenju našega kalendara u kojem su također prikazane pashalne tablice u skladu s drevnim obredima Crkve iz kojih se može sigurnije i lakše odrediti datum najsvetijega Uskrsa.

### XI.

Najzad djelomično zbog deset dana uklonjenih iz mjeseca listopada 1582. godine (koju danas moramo nazivati godinom ispravka) te djelomično zbog toga što će se tijekom svakoga četiristoljetnog razdoblja umetati tri dana manje, bit će potrebno prekinuti 28 godišnji ciklus dominikalnih slova kako su se dosad upotrebljavala u Rimskoj crkvi. Želimo umjesto njega uvesti ciklus od 28 godina kako ga je Lilio prilagodio pravilu interkalacija za stoljetne godine i trajanju svake Sunčeve godine; od kojeg se dominikalna slova mogu vječno određivati jednako kao i prije uporabom Sunčeva ciklusa kako je to objašnjeno u kanonu koji o tome govori.

### XII.

Ovom našom odlukom, Mi prema tome utvrđujemo što je uobičajeno pravo suverenoga prvosvećenika i odobravamo taj kalendar koji je sada ispravljen i dovršen zahvaljujući beskonačnoj Božjoj dobroći prema njegovoj Crkvi i naređujemo da se tiska u Rimu zajedno s martirologijem.

### XIII.

Ali, kako bi se svaki od njih mogao sačuvati nedirnut i oslobođen od zabluda i pogrešaka, zabranjujemo svim tiskarima koji postoje u zemljama koje su izravno ili posredno pod našom vlašću i tiskari Svete rimske crkve, da bez našega ovlaštenja ne smiju poduzimati tiskanje ili objavljivanje kalendara ili martirologija zajedno ili odvojeno ili na bilo koji način stjecati od njih korist, pod prijetnjom oduzimanja knjuga i plaćanja 100 dukata u zlatu ipso facto (samim činom, p. p.) Apostolskoj stolici, a što se tiče drugih tiskara, ma gdje oni bili, zabranjujemo im tiskanje kalendara ili martirologija bez našega dopuštenja, odvojeno ili zajedno pod prijetnjom izopćenja latae sententiae i drugih kazna o kojima imamo pravo odlučivanja.

### XIV.

S duge strane, mi u cijelosti stavljamo izvan snage i ukidamo stari kalendar i želimo da svi patrijarsi, primasi, nadbiskupi, biskupi, opati i drugi crkveni velikodostojnici uvedu novi kalendar (kojem je također prilagođen martirologij) za čitanje kršćanskih molitava i za slavljenje blagdana u svim svojim crkvama, samostanima, konventima, redovima, viteškim redovima i župama, te da ga upotrebljavaju isključivo za sebe, i za sve druge prezbitere i klerike, svjetovne i regularne obaju rodova te vojnike i sve kršćane; njegova uporaba mora početi nakon što se iz listopada 1582. godine izostavi deset dana. Međutim, za one koji žive u dalekim zemljama da bi mogli primiti od nas obavijest prije propisanog roka, dopušta se da tu promjenu provedu u listopadu iduće 1583. godine ili godine nakon nje, drugim riječima, kad ova poslanica do njih dođe, na način koji smo prije pokazali i kako će biti opsežnije objašnjeno u kalendaru iz godine obnove.

### XV.

Mi također na temelju vlasti koju nam je dao Bog, potičemo i zahtijevamo od našeg predragog sina u Kristu Rudolfa, presvijetloga rimskog kralja i izabranog cara, kao i drugih kraljeva, knezova i republika te preporučujemo onima koji su nas poticali da dovršimo ovo zadivljujuće djelo, ali također i osobito kako bi se održao sklad među kršćanskim narodima u slavljenju blagdana, da oni sami prihvate ovaj naš kalendar i preuzmu brigu da ga prihvate svi narodi koji su im vjerski podložni te da ga se savjesno pridržavaju.

### XVI.

Kako će biti teško ove poslanice dostaviti kršćanima na svim mjestima svijeta, naređujemo da se one objave i postave na vrata bazilike apostolskoga kneza (bazilika sv. Petra u Rimu, p. p.) i na vrata apostolske kancelarije kao i na ulaz Campo dei Fiori (Trg cvijeća u Rimu, p. p.) te naređujemo da se istom nesumnjivom vjeron u svim narodima i na svim mjestima u cijelosti priznaju kao izvorne poslanice i tiskani prijepisi ovih poslanica i svezaka kalendara i martirologija kad ih javni bilježnik potpiše i crkveni dostojanstvenik providi žigom.

### XVII.

Ni jednom čovjeku prema tome nije dopušteno kršiti ove naše propise, naloge, odluke, zaključke, volju, odobrenja, zabrane, suglasnosti, ukinuća, opomene i pozive niti se usuditi svjedočiti protiv njih ili im se suprotstavljati. Ako ipak netko to pokuša, on mora znati da će na sebe navući Božji gnjev i gnjev njegovih apostola svetoga Petra i Pavla.

Dano u Tusculumu (danas dio grada Frascatija u Italiji, p. p.) u godini uskrsnuća Gospodnjega 1581., šestih ožujkskih kalenda (24. veljače, p. p.), 10. godine našega pontifikata.

## Literatura

- [1] On the Gregorian Revision of the Julian Calendar, Dutka, J., The Mathematical Intelligencer Vol. 10, No. 1 1988. godine, Izdavač: Springer-Verlag
- [2] Usporedni životopisi, Plutarh, knjiga I, Izdavač ITRO August Cesarec, Zagreb 1988. godine, ISBN 86-393-0081-6
- [3] Novi Kalendar u Hrvatskoj i Slavoniji, Vjekoslav Klaić, Vjesnik Arheološkoga muzeja u Zagrebu Vol 11, No 1, travanj 1911. godine.
- [4] Istorija merenja vremena, Nikola Bura, Izdavač Teovid, Beograd 2002. godine, ISBN 86-83395-08-1
- [5] Izvještaj Kraljevskoj Srpskoj akademiji, Milutin Milanković, Beograd 1923. godine
- [6] Календарь и хронология, Климишин, И. А., 2. izdanje, Наука, Москва 1985. godine, ИБ No 17751
- [7] Календарь, история и современность; Jacqueline de Bourgoing, prijevod na ruski jezik, Издательство АСТ, 2006. godine, ISBN 5-271-01196-7
- [8] Время и календарь, Хренов Л. С., Голуб И. Я., Наука, 1989. godine, ISBN 5-02-014072-4
- [9] Календари и хронология стран мира, Цыбульский В. В., Izdavač: Просвещение, Москва 1982. godine
- [10] Полак, И. Ф.. Время и календарь, Izdavač: Государственное издательство, Москва 1947. godine
- [11] Цепные дроби, Арнольд, В. И., Izdavač: Московский Центр непрерывного математического образования, Москва 201. godine, ISBN 5-94057-014-3
- [12] IEC 60050-113: 2011, International Electrotechnical Vocabulary – Part 113: Physics for electrotechnology
- [13] ISO 8601:2004, Data elements and interchange formats – Information interchange – Representation of dates and times
- [14] Catholic Encyclopedia, [www.newadvent.org](http://www.newadvent.org)
- [15] Astronet (ruska astronomska mreža), [www.astronet.ru](http://www.astronet.ru)
- [16] Wikipedia, [wikipedia.org](http://wikipedia.org)
- [17] mrežna stranica tekstova na kojima se temelji gregorijanski kalendar: [intergravissimas.com](http://intergravissimas.com)