



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za osnove elektrotehnike i električka mjerenja



1. TEMA

MJERENJE I MJERITELJSTVO

Predmet “Mjerenja u elektrotehnici”
Prof.dr.sc. Damir Ilić
Zagreb, 2024.

Teme cjeline

- **Utjecaj mjerenja**
- **Mjerne jedinice**
- **SI sustav**
- **Decimalni predmetci**
- **Binarni predmetci**

Utjecaj mjerenja na svakodnevni život

- ❑ Ostvarivanje tehničkih sustava nezamislivi su bez mjerenja u svim fazama (dizajn, eksperimentalni rad, proizvodnja, provjera, održavanje)
- ❑ Mjerenja osiguravaju objektivnost jer pobjeđuju vladavinu osjeta
- ❑ Mjerenja potvrđuju (ili opovrgavaju) teorijske postavke
- ❑ Napredak u znanosti i tehnici izravno ovisi o usavršavanju mjernih metoda i povećanju točnosti mjerenja

Utjecaj mjerenja na svakodnevni život

□ Zaštita potrošača

- utrošak energije, vode ili plina
- masa (namirnica, materijala)
- sastav (namirnica)



Utjecaj mjerenja na svakodnevni život

□ Zdravlje

- ovisi o medicinskim dozama lijekova ili analiziranim uzorcima te dijagnostičkim metodama

□ Zakonodavstvo

- npr. određivanje brzine vozila, određivanje površine katastarskih čestica, osiguranje itd.



Utjecaj mjerenja na svakodnevni život

- ❑ **Proizvodni procesi ne mogu se zamisliti bez mjerenja kojima se osiguravaju kakvoća i željene značajke proizvoda**
- ❑ **Elektromagnetska kompatibilnost i onečišćenje**



Utjecaj mjerenja na svakodnevni život

- Energetika
- Informacijske i komunikacijske tehnologije
- Mjerenje vremena
- Promet
- ...
- Općenito: mjerenje fizikalnih veličina

- Mjerenje višedimenzionalnih fenomena
 - “MINET - Measuring the Impossible Network”
 - “soft metrology” – mjerenje veličina za koje ne postoje reference ili jedinice (npr. bol, strah, govor tijela)

Utjecaj mjerenja na svakodnevni život

□ Posebno naglašavamo:

- mjerenje električnih veličina ima veliku važnost ne samo za područje elektrotehnike (ili računarstva)
- različite neelektrične veličine (temperatura, sila, naprezanje, pomak, zakret, ubrzanje, razina, i dr.) mogu se svesti na mjerenje električnih veličina
- digitalni mjerni uređaji omogućili su veću točnost mjerenja
- povezivanje s računalom (automatizirane mjerne metode)
- dobri programski alati
- mrežno povezivanje računala

Pojmovi

- Što je mjerenje?
- Što je mjeriteljstvo?
- Što mjeriti?
- Kako mjeriti?
- Čime mjeriti?
- Što s dobivenim podacima?
- Nesigurnost mjerenja?

Pojmovi

- **Mjeriteljstvo (*metrology*)** - znanost o mjerenju i njegovim primjenama; gr. metron – mjera, logos - učenje
- **Mjerenje (*measurement*)** - proces eksperimentalnog određivanja jedne ili više vrijednosti veličina koje se razumno mogu pridružiti veličini (skup djelovanja radi određivanja vrijednosti veličine)
 - Pod mjeriteljstvom podrazumijevamo onaj specijalizirani dio pojedinih prirodoslovnih i tehničkih znanosti koji se bavi metodama mjerenja fizikalnih veličina, razvojem i izradom mjernih uređaja, reprodukcijom i pohranjivanjem mjernih jedinica te svim ostalim poslovima koji omogućuju preciznije mjerenje i usavršavanje mjernih postupaka

Mjeriteljstvo

- Dijeli se u tri kategorije s obzirom na razine kompleksnosti i točnosti:
 - 1. Znanstveno mjeriteljstvo:** bavi se razvojem i pohranjivanje mjernih etalona (najviša razina)
 - 2. Industrijsko mjeriteljstvo:** bavi se osiguravanjem ispravnom funkcioniranja mjernih uređaja koji se upotrebljavaju u industriji, proizvodnji i ispitnim procesima, za osiguravanje kakvoće življenja stanovnika te za akademska istraživanja
 - 3. Zakonsko mjeriteljstvo:** odnosi se na mjerenja koja imaju utjecaj na ekonomske transakcije (naplate) i na zakonsku verifikaciju mjernih uređaja

Znanstveno i industrijsko mjeriteljstvo - područja

□ Masa i srodne veličine

- mjerenje mase
- sila i tlak
- obujam i gustoća

□ Elektricitet i magnetizam

- istosmjerne veličine
- izmjenične veličine
- VF
- visoki naponi i velike struje

□ Duljina

- valne duljine i interferometrija
- dimenzionalno mjeriteljstvo
- kut, oblici i kakvoća površine

□ Vrijeme i frekvencija

Znanstveno i industrijsko mjeriteljstvo - područja

- **Termometrija**
 - kontaktno mjerenje temperature
 - beskontaktno mjerenje temperature
 - vlažnost
- **Fotometrija i radiometrija**
- **Protok**
 - protok plinova
 - protok tekućina (maseni, volumni)
- **Akustika, ultrazvuk i vibracije**
- **Mjerenja u kemiji (referentni materijali)**
 - klinička kemija
 - kemijska svojstva materijala
 - biokemija, mikrobiologija, hrana

Mjeriteljstvo

- Temelj mjeriteljstva (fizikalnih veličina) čine:
 - 1. *Mjerni etaloni*:** služe kao referenca (ishodište) za definiranje, ostvarivanje ili pohranjivanje jedinica
 - 2. *Sljedivost i umjeravanje*:** neprekinuti lanac usporedbi osigurava da svaki mjerni rezultat bude sljediv (povezan) najvišom razinom točnosti (npr. do primarnog etalona; umjeravanje znači usporedba nepoznate vrijednosti prema poznatoj vrijednosti
 - 3. *Mjerna nesigurnost*:** kvantitativna mjera kakvoće mjernih rezultata

Mjerenje

- “Kad bismo idole učenjaka složili jedan povrh drugoga u indijanski totem, s njegova bi se vrha cerio fetiš koji se zove mjerenje”, Even Stalden u knjizi “Znanost je sveta krava”
- “Izmjeriti sve što se mjeriti može i pokušati učiniti mjerljivim ono što još nije mjerljivo”, Galileo Galilei
- **William Thomson (or Lord Kelvin) (1824 – 1907)**
 - “If you can not measure it, you can not improve it.” (from <http://zapatopi.net/kelvin/quotes/>)

Što znači mjeriti?

- ❑ Određivanje vrijednosti veličine svodi se na usporedbu između mjerene veličine i pripadne jedinice
- ❑ I mjerna jedinica je fizikalna veličina, ali točno (?) određene vrijednosti
- ❑ Mjerni rezultat ima to veću mjeriteljsku vrijednost što je mjerna jedinica, kojom ga izražavamo, ustanovljena s većom točnošću

$$U = \{U\}[U]$$

$$U = 1 \text{ V}$$

mjerena veličina = brojčani iznos × jedinica

Što je mjerenje?

- **Dakle, da bismo mogli mjeriti, trebamo imati:**
 - **mjerenu veličinu**
 - **mjernu jedinicu prema kojoj ćemo odrediti njezinu vrijednost**
 - **mjernu metodu kojom ćemo to učiniti**
 - **mjerni postupak**
 - **mjerni uređaj**

Koliko dobro to poznajemo?

Iz povijesti mjernih jedinica

□ Orlandov lakat

- jedinica duljine u Dubrovačkoj Republici
- duljina lakta do vrha prstiju na stupu viteza Orlanda iz 1418. godine (≈ 51 cm)
- metalni štap čuva se u Kneževu dvoru, a ista je duljina urezana i u kamenu postamenta Orlandova spomenika
- kip je gradu poklonio hrv.-ug. kralj Žigmund kao simbol sudačke (pravne) vlasti na tržištu



Iz povijesti mjernih jedinica

□ yard

- 1101. god. engleski kralj Henry I. određuje da je to udaljenost između vrška njegova nosa i palca njegove ispružene lijeve ruke
- od 1963. $1 \text{ yd} = 0,9144 \text{ m}$ (točno)

□ inch

- 1324. god. engleski kralj Edward II. izabrao je tri zrna iz sredine ječmenog klasa i njihovu ukupnu duljinu nazvao “inch”
- od 1963. $1 \text{ in} = 1 \text{ yd}/(36) = 25,4 \text{ mm}$ (točno)

□ ...

Iz povijesti mjernih jedinica

□ Tehnički (sustav jedinica mehanike)

- metar (m), sekunda (s) i kilopond (kp)
- jedinica snage $1 \text{ KS} = 75 \text{ kp} \cdot \text{m/s} = 0,73549875 \text{ kW}$
- $1 \text{ kW} \approx 1,36 \text{ KS}$

□ Fizikalni (CGS) sustav iz 1874.

- centimetar (cm), gram (g) i sekunda (s)
- elektrostatski (CGSE): kao četvrta jedinica uzeta je elektrostatska konstanta slobodnog etera ϵ_0
- magnetostatski (CGSM): kao četvrta jedinica uzeta je magnetska konstanta slobodnog etera μ_0
 - $1 \text{ G} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ T}$
 - $1 \text{ Oe} \cong 1000/(4\pi) \text{ A/m}$
- problem: brojčane jednadžbe

Iz povijesti mjernih jedinica

- **MKSA (ili “Giorgijev”) Međunarodni sustav jedinica u elektromagnetizmu**
 - preteča današnjeg sustava
 - četiri osnovne jedinice
 - uveden 1948.
 - “Da bi se iz mehaničkih jedinica izvele električne i magnetske jedinice, potrebna je četvrta osnovna ili nezavisna jedinica” (Giovanni Giorgi, 1901. god.)

SI sustav

- **Système International d'Unités (kratica SI na svim jezicima):**
 - prihvaćen 1960. god. na XI. zasjedanju CGPM (sa 6 osnovnih jedinica – metar, kilogram, sekunda, amper, kelvin i kandela; mol je prihvaćen na XIV. zasjedanju CGPM 1971.)
 - **prednosti**
 - univerzalnost ... obuhvaća sve grane tehnike i znanosti
 - jednostavnost ... koherentnost ($1 \times 1 = 1$, $1/1 = 1$) među jedinicama (nema konverzijskih faktora)
 - eliminacija mnoštva različitih jedinica za mjerenje iste veličine
 - primjena veličinskih jednadžbi
 - laka primjena višekratnika jedinica



SI sustav

- Osnovne jedinice SI (Système International d'Unités) sustava i definicije koje su vrijedile **do 20.5.2019.:**
 - *metar* ... je duljina puta koju svjetlost prijeđe u vakuumu za vrijeme 299 792 458-og dijela sekunde; (m, XVII, 1983., $1 \cdot 10^{-12}$)
 - *kilogram* ... je jedinica mase; on je jednak masi međunarodne pramjere kilograma (koja je pohranjena u BIPM-u u Sèvresu); (kg, III, 1901., $2 \cdot 10^{-9}$)
 - *sekunda* ... je trajanje 9 192 631 770 perioda zračenja koje odgovara prijelazu između dviju hiperfinih razina osnovnog stanja atoma cezija 133; (s, XIII, 1967., $1 \cdot 10^{-15}$)
 - *amper* ... je ona stalna struja koja, prolazeći dvama ravnim, paralelnim, neizmjereno dugačkim vodičima, zanemarivo malenog poprečnog presjeka, razmaknutim jedan metar u vakuumu, prouzročuje između njih silu od $2 \cdot 10^{-7}$ N po metru duljine; (A, IX, 1948., $9 \cdot 10^{-8}$)

SI sustav

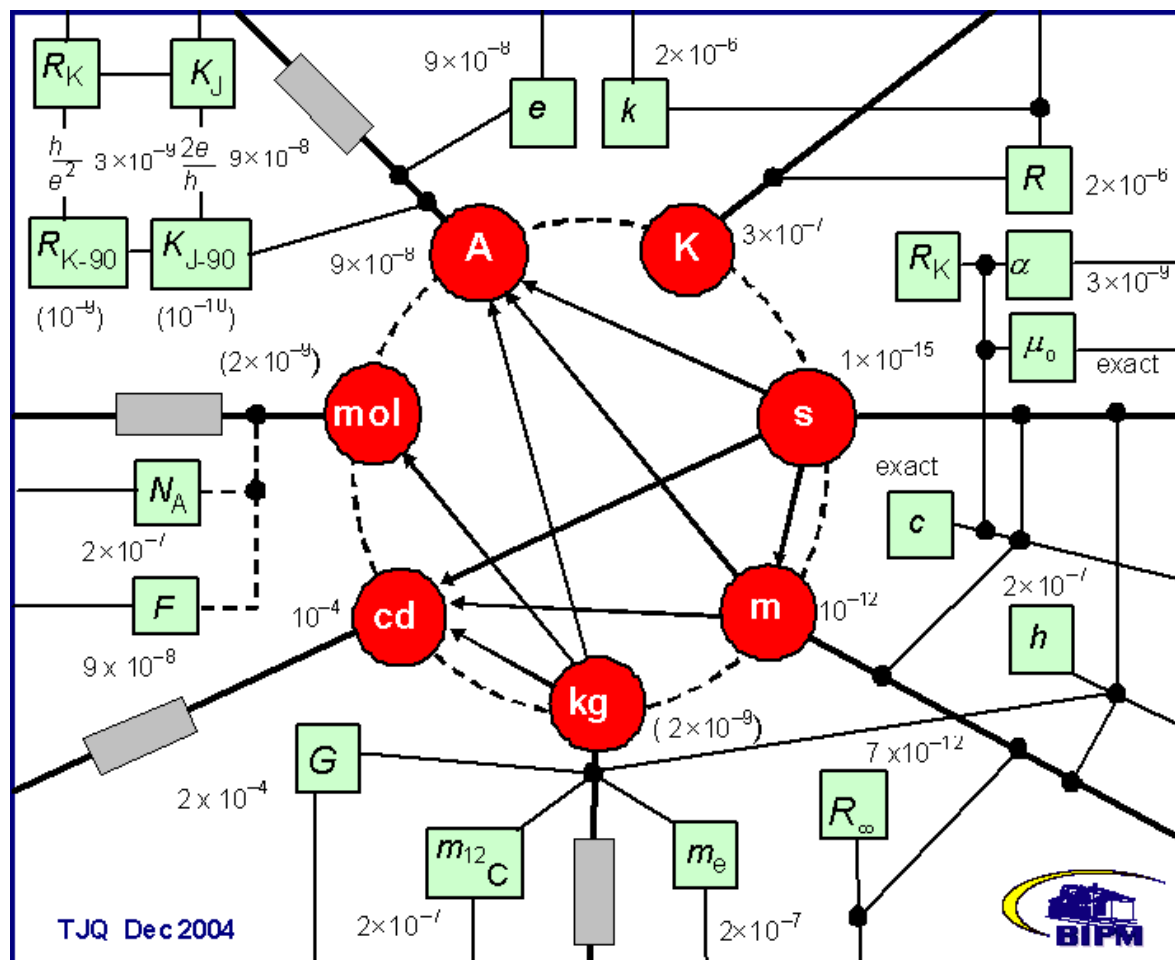
□ Osnovne jedinice:

- **kelvin** ... , *jedinica termodinamičke temperature*, je 273,16-i dio termodinamičke temperature trojne točke vode; (K, XIII, 1967., $3 \cdot 10^{-7}$)
- **mol** ... je množina (količina tvari) sustava koji sadrži toliki broj elementarnih jedinki koliko ima atoma u 12 g ugljika ^{12}C (jedinke mogu biti ioni, elektroni, atomi, molekule i drugo, ali moraju biti navedeni); (mol, XIV, 1971., $2 \cdot 10^{-9}$)
- **kandela** ... je svjetlosna jakost, u određenom smjeru, izvora koji emitira monokromatsko zračenje frekvencije $540 \cdot 10^{12}$ Hz i čija je jakost zračenja u tom smjeru 1/683 vata po steradianu; (cd, XVI, 1979., $1 \cdot 10^{-4}$)

□ Ovo je povijest, jer je 2019. godina donijela promjenu kakve nije bilo u zadnjih 59 godina!

SI sustav

□ Povezivanje osnovnih SI jedinica te fundamentalnih i atomnih stalnica



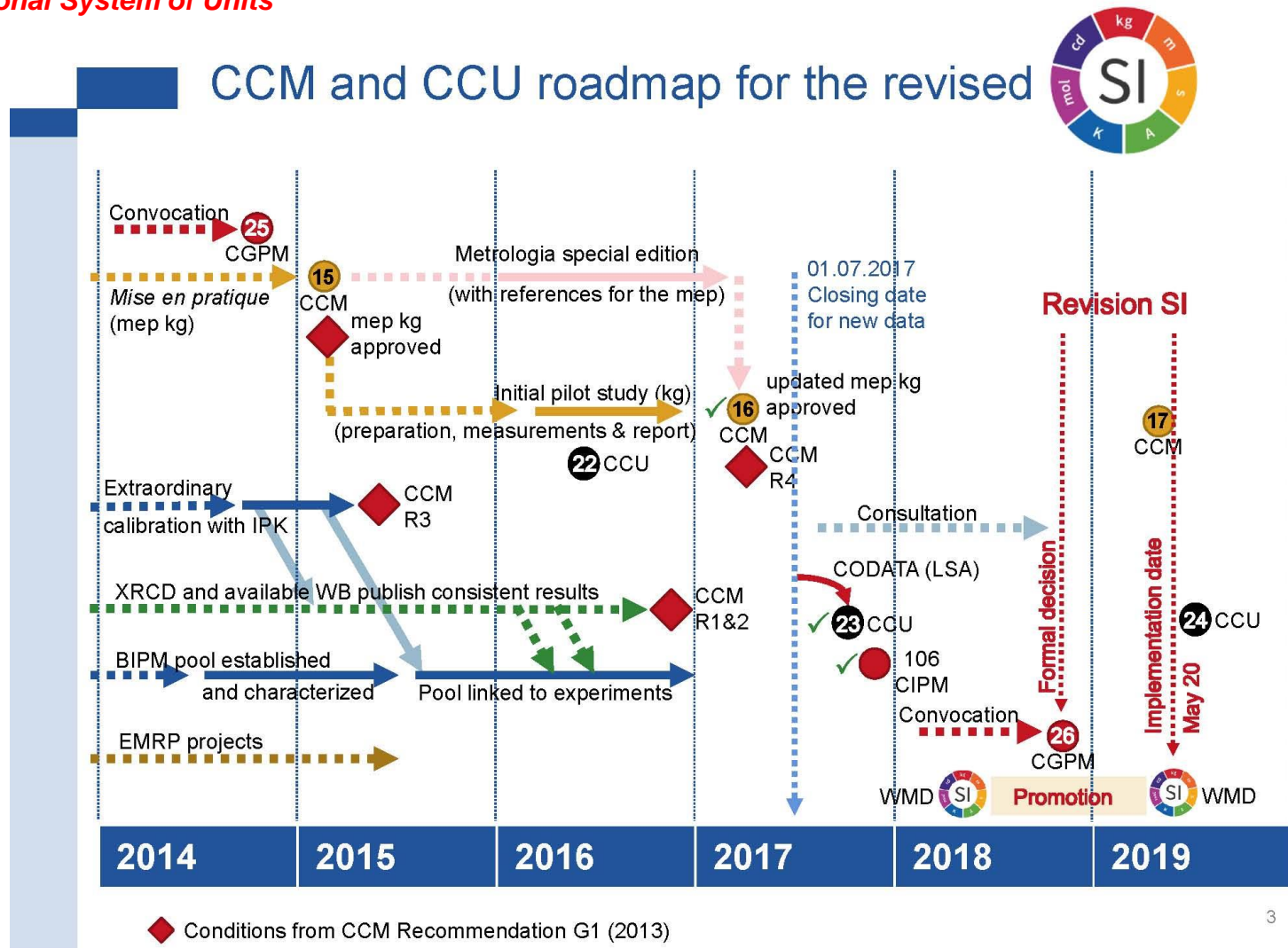
Izvor: BIPM

TJQ Dec 2004



Revidiran (*Revised*) SI sustav

Izvor: P. Richard and J. Ullrich, *Joint CCM and CCU roadmap for the adoption of the revision of the International System of Units*



Revidiran (*Revised*) SI sustav

- Formalna odluka na 26. Općoj konferenciji za utege i mjere (CGPM, Paris, 13.-16. studenog 2018.), a primjena revidiranog (promijenjenog, „novog“) SI sustava **od 20. svibnja 2019.**
- SI je sustav u kojem je:
 - frekvencija zračenja koje odgovara prijelazu između dviju hiperfinih razina osnovnog stanja atoma cezija 133
 $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770\text{ Hz}$
 - brzina svjetlosti u vakuumu $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$
 - Planckova stalnica $h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}\text{ Js}$
 - elementarni naboj $e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}\text{ C}$
 - Boltzmannova stalnica $k = 1,380\,649 \cdot 10^{-23}\text{ J/K}$
 - Avogadrova stalnica $N_{\text{A}} = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}\text{ mol}^{-1}$
 - svjetlosna jakost izvora monokromatskog zračenja frekvencije $540 \cdot 10^{12}\text{ Hz}$ $K_{\text{cd}} = 683\text{ lm/W}$

Definicije osnovnih jedinica SI

Quantity	SI unit
time	The second , symbol s, is the SI unit of time. It is defined by taking the fixed numerical value of the caesium frequency $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, the unperturbed ground-state hyperfine transition frequency of the caesium 133 atom, to be 9 192 631 770 when expressed in the unit Hz, which is equal to s^{-1} .
length	The metre , symbol m, is the SI unit of length. It is defined by taking the fixed numerical value of the speed of light in vacuum c to be 299 792 458 when expressed in the unit m s^{-1} , where the second is defined in terms of $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
mass	The kilogram , symbol kg, is the SI unit of mass. It is defined by taking the fixed numerical value of the Planck constant h to be $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$ when expressed in the unit J s, which is equal to $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$, where the metre and the second are defined in terms of c and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
electric current	The ampere , symbol A, is the SI unit of electric current. It is defined by taking the fixed numerical value of the elementary charge e to be $1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$ when expressed in the unit C, which is equal to A s, where the second is defined in terms of $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
thermodynamic temperature	The kelvin , symbol K, is the SI unit of thermodynamic temperature. It is defined by taking the fixed numerical value of the Boltzmann constant k to be $1.380\,649 \times 10^{-23}$ when expressed in the unit J K^{-1} , which is equal to $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$, where the kilogram, metre and second are defined in terms of h , c and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
amount of substance	The mole , symbol mol, is the SI unit of amount of substance. One mole contains exactly $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$ elementary entities. This number is the fixed numerical value of the Avogadro constant, N_{A} , when expressed in the unit mol^{-1} and is called the Avogadro number. The amount of substance, symbol n , of a system is a measure of the number of specified elementary entities. An elementary entity may be an atom, a molecule, an ion, an electron, any other particle or specified group of particles.
luminous intensity	The candela , symbol cd, is the SI unit of luminous intensity in a given direction. It is defined by taking the fixed numerical value of the luminous efficacy of monochromatic radiation of frequency 540×10^{12} Hz, K_{cd} , to be 683 when expressed in the unit lm W^{-1} , which is equal to cd sr W^{-1} , or $\text{cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3$, where the kilogram, metre and second are defined in terms of h , c and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

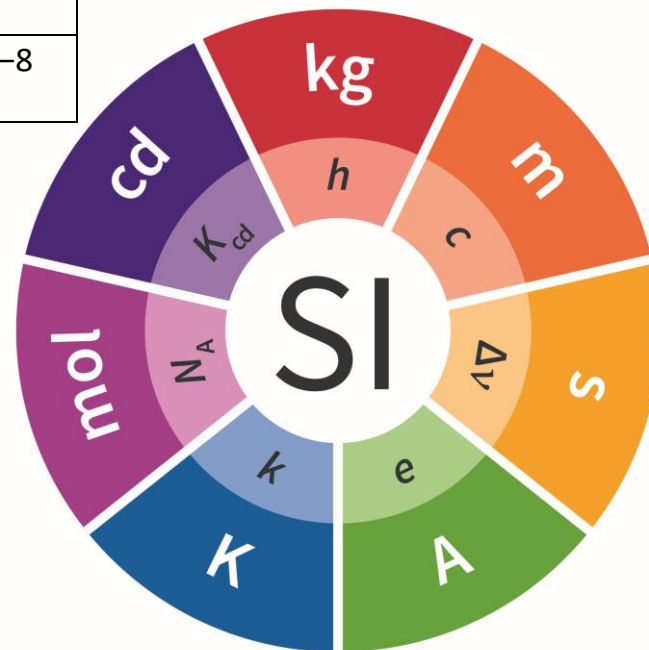
Izvor: **BIPM, SI-Brochure-9-concise-EN.pdf**

Revidiran (*Revised*) SI sustav

Izvor: D B Newell et al., *The CODATA 2017 values of h , e , k , and N_A for the revision of the SI*, Metrologia 55 (2018) L13–L16

Quantity	Value	Rel. stand. unc. u_r
h	$6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$
e	$1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	$5,2 \cdot 10^{-9}$
k	$1,380\,649 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$	$3,7 \cdot 10^{-7}$
N_A	$6,022\,140\,76 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$

- Vrijednosti stalnica su uzete kao “**točne**” (*exact*), a ovdje prikazane relativne mjerne nesigurnosti u_r samo ukazuju koliko su pouzdano određene

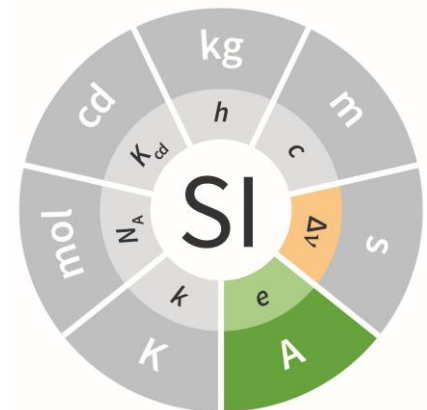


Primjer: definicija ampera

- “The **ampere**, symbol A, is the SI unit of electric current. It is defined by taking the fixed numerical value of the elementary charge e to be $1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$ when expressed in the unit C, which is equal to As, where the second is defined in terms of $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.”
- Ova definicija podrazumijeva točan odnos $e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ As}$. Invertiranjem tog odnosa dobiva se točan izraz za jedinicu amper u smislu definiranih stalnica e and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

$$1 \text{ A} = 1 \frac{\text{As}}{\text{s}} = \left(\frac{e}{1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}} \right) \left(\frac{\Delta\nu_{\text{Cs}}}{9\,192\,631\,770} \right)$$

- Učinak ove definicije jest da je jedan amper ona električna struja koja odgovara prolasku $1/(1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19})$ elementarnih naboja u sekundi



SI sustav

- Definicijama osnovnih veličina određeno je:
 - $c_0 = 299\,792\,458\text{ m/s}$ (točno!)
- Posljedica:
 - Maxwellova jednačbe $c_0^2 \mu_0 \varepsilon_0 = 1$ je poveznica
 - $\varepsilon_0 = 8,854\,187\,8128 \cdot 10^{-12}\text{ F/m}$; $u_{\text{cr}}(\varepsilon_0) = 1,5 \cdot 10^{-10}$
 - $\mu_0 = 1,256\,637\,062\,12 \cdot 10^{-6}\text{ H/m}$; $u_{\text{cr}}(\mu_0) = 1,5 \cdot 10^{-10}$
- Vrijednosti Josephsonove i von Klitzingove stalnice, koje su vrijedile od 1. siječnja 1990., više ne vrijede:
 - $K_{\text{J-90}} = 483\,597,9\text{ GHz/V}$ (skladnost sa SI *voltom* $4 \cdot 10^{-7}$)
 - $R_{\text{K-90}} = 25\,812,807\ \Omega$ (skladnost sa SI *omom* $2 \cdot 10^{-7}$)

Promjena SI i kvantni etaloni napona i otpora

- Od 20. svibnja 2019. u uporabi su nove “točne” vrijednosti Josephsonove i von Klitzingove stalnice:

$$K_J = 2e / h = 483\,597,848\,416\,984 \text{ GHz/V} \quad (-0,1067 \text{ ppm})$$

$$R_K = h / e^2 = 25\,812,807\,459\,3045 \, \Omega \quad (+0,01779 \text{ ppm})$$

- Zbog toga će se vrijednosti napona iskazane u voltima, odnosno otpora u omima, promijeniti za (redom) +0,1067 milijuntinki i +0,01779 milijuntinki:

$$1 \text{ V (prije)} \rightarrow 1,000\,000\,1067 \text{ V (sada)}$$

$$1 \, \Omega \text{ (prije)} \rightarrow 1,000\,000\,017\,79 \, \Omega \text{ (sada)}$$

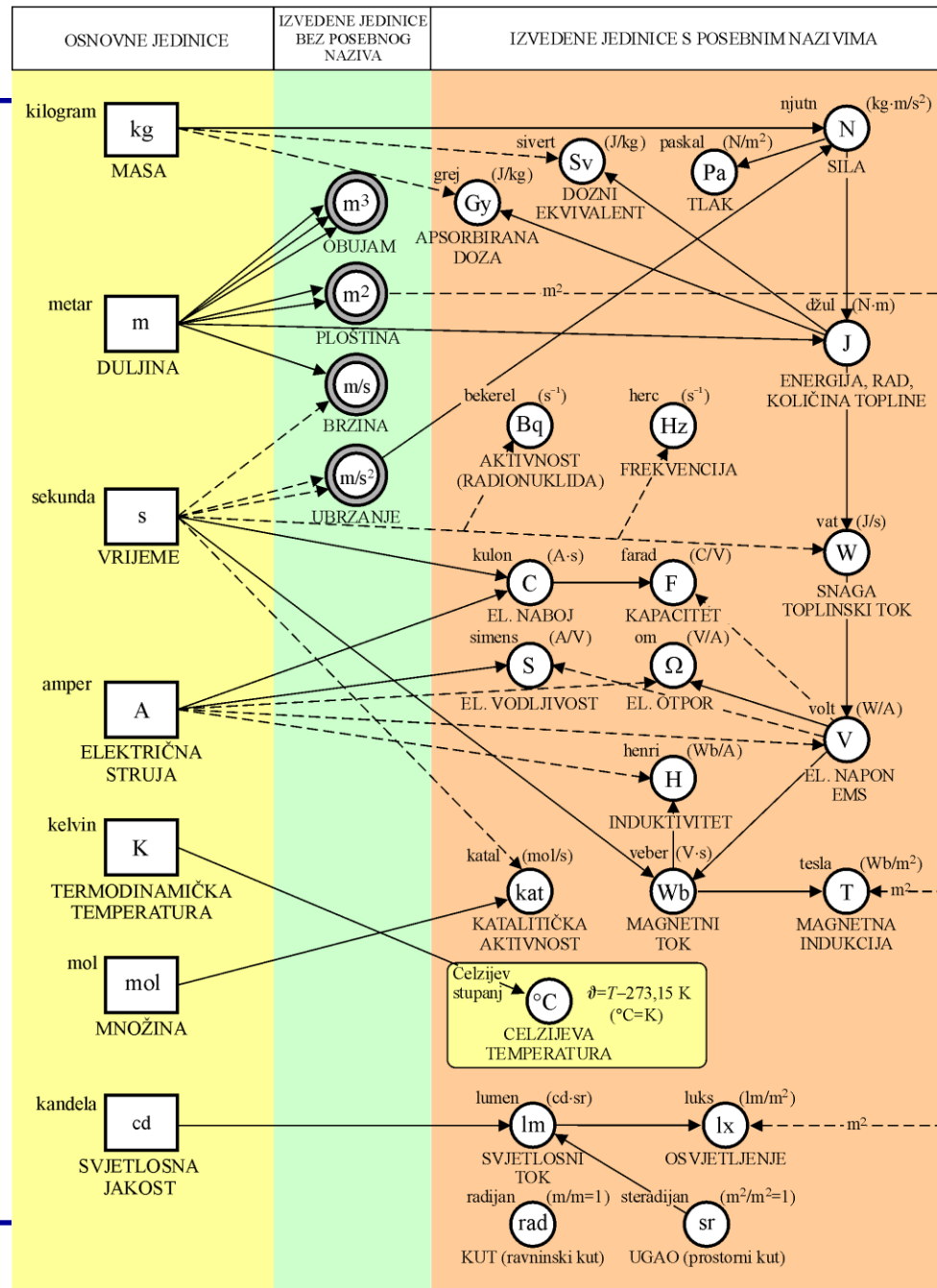
Više obavijesti i informacija može se naći na web stranici

<https://www.bipm.org/en/measurement-units/>

SI SUSTAV: VEZE OSNOVNIH I IZVEDENIH JEDINICA

PUNE LINIJE OZNAČAVAJU MNOŽENJE, A ISPREKIDANE DIJELJENJE

SI sustav



SI sustav

□ Neke izvedene jedinice:

- **volt** ... je električni napon između dviju točaka homogenog žičanog vodiča kojim prolazi stalna električna struja 1 A, a utrošena snaga između ovih dviju točaka iznosi 1 W; ($V = W/A$)
- **kulon** ... je količina naboja koja u 1 s prođe vodičem kojim teče stalna struja 1 A; ($C = A \text{ s}$)
- **om** ... je električni otpor vodiča, koji ne sadrži nikakav izvor napona, u kojem stalan napon 1 V, doveden na njegove krajeve, uzrokuje struju 1 A; ($\Omega = V/A$)
- **farad** ... je kapacitet električkog kondenzatora koji se nabije nabojem 1 C kada se na njegove elektrode dovede stalan napon 1 V; ($F = C/V$)
- **tesla** ... je magnetna indukcija homogenog magnetnog toka 1 Wb koji prolazi kroz površinu 1 m² okomitu na magnetnu indukciju; ($T = Wb/m^2$)

SI sustav

□ Razlikujemo:

- osnovne jedinice (m, kg, s, A, K, mol, cd)
- imenovane izvedene jedinice (npr. N, W, J, T, Pa, Hz i dr.)
- neimenovane izvedene jedinice (npr. m/s, m², kg/m³ i dr.)
- jedinice izvan SI čija je primjena dopuštena (npr. h, min, °, l, t, bar i dr.)

□ To znači da vrijedi:

- $V = W/A = \text{m}^2 \text{ kg s}^{-3} \text{ A}^{-1}$
- $\Omega = V/A = \text{m}^2 \text{ kg s}^{-3} \text{ A}^{-2}$
- $W = J/s = \text{m}^2 \text{ kg s}^{-3}$
- ...

SI sustav

□ Zapis

- uspravno ... posebni brojevi (npr. e , π , j), simboli mjernih jedinica i pripadni predmetci, simboli kemijskih elemenata, simboli operatora
- kurziv (koso) ... simboli fizikalnih veličina, simboli funkcija
- primjeri ...

Decimalni predmetci i formiranje jedinica

Formiranje jedinice na načelu $D = N \cdot J$

Izvođenje naziva slaganjem dviju riječi u jednu $D = N + J$

Slova označavaju: D – tvorenu jedinicu, N – množitelj (predmetak), J – oblikovnu (početnu) mjernu jedinicu

*Množitelji N **veći** od broja jedan (primjeri višekratnika):*

Broj	Znak	Predmetak	Primjer	Izgovor
10^1	da	deka	dag = 10 g	dekagram
10^2	h	hekto	hL = 100 L	hektolitra
10^3	k	kilo	kW = 1000 W	kilovat
10^6	M	mega	MBq = 10^6 Bq	megabekerel
10^9	G	giga	GPa = 10^9 Pa	gigapaskal
10^{12}	T	tera	TWh = 10^{12} Wh	teravatsat
10^{15}	P	peta	Pm = 10^{15} m	petametar
10^{18}	E	eksa	EJ = 10^{18} J	eksadžul
10^{21}	Z	zeta	Zg = 10^{21} g	zetagram
10^{24}	Y	jota	Yg = 10^{24} g	jotagram
10^{27}	R	rona	Rm = 10^{27} m	ronametar
10^{30}	Q	kueta	Qm = 10^{30} m	kuetametar

Decimalni predmetci i formiranje jedinica

Množitelji N **manji** od broja jedan (primjeri nižekratnika):

Broj	Znak	Predmetak	Primjer	Izgovor
10^{-1}	d	deci	dL = 0,1 L	decilitra
10^{-2}	c	centi	cm = 0,01 m	centimetar
10^{-3}	m	mili	mbar = 10^{-3} bar	milibar
10^{-6}	μ	mikro	μ rad = 10^{-6} rad	mikroradijan
10^{-9}	n	nano	nm = 10^{-9} m	nanometar
10^{-12}	p	piko	pF = 10^{-12} F	pikofarad
10^{-15}	f	femto	fm = 10^{-15} m	femtometar
10^{-18}	a	ato	aC = 10^{-18} C	atokulon
10^{-21}	z	zepto	zmol = 10^{-21} mol	zeptomol
10^{-24}	y	jokto	yg = 10^{-24} g	joktogram
10^{-27}	r	ronto	rm = 10^{-27} m	rontometar
10^{-30}	q	kuekto	qm = 10^{-30} m	kuektometar

SI sustav

Tablica 1. Jedinice izvan SI koje su prihvaćene za primjenu uz SI

Veličina	Naziv	Znak	Vrijednost u jedinicama SI
vrijeme	minuta	min	1 min = 60 s
	sat	h	1 h = 60 min = 3 600 s
	dan	d	1 d = 24 h = 86 400 s
duljina	astronomska jedinica	au	1 au = 149 597 870 700 m
ravninski i fazni kut	stupanj	°	1° = ($\pi/180$) rad
	minuta	'	1' = (1/60)° = ($\pi/10\,800$) rad
	sekunda	"	1" = (1/60)' = ($\pi/648\,000$) rad
ploština	hektar	ha	1 ha = 10 ⁴ m ²
obujam	litra	L, l	1 L = 1 l = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
masa	tona	t	1 t = 10 ³ kg
	dalton	Da	1 Da = 1,660 539 066 60 (50) · 10 ⁻²⁷ kg
energija	elektronvolt	eV	1 eV = 1,602 176 634 · 10 ⁻¹⁹ J
logaritam omjera veličina	neper	Np	
	bel	B	
	decibel	dB	

SI sustav

Tablica 2. Jedinice električnih veličina koje je normirala IEC (vidi normu *IEC 60027 Letter symbols to be used in electrical technology*)

Naziv	Znak	Vrijednost u jedinici SI	Veličina
voltamper	VA	$1 \text{ VA} = 1 \text{ W}$	prividna snaga (S)
var	var	$1 \text{ var} = 1 \text{ W}$	jalova snaga (Q)

Binarni predmetci i formiranje jedinica

- Naziv jedinice bit (znak: bit) dolazi od engleskih riječi *binary digit*. Osam puta veća jedinica naziva se bajt (*byte*); tako je bajt = 2^3 bita = 8 bita. Naziv jedinice bajt (znak: B) nastao je u ranim šezdesetim godinama prošlog stoljeća od triju engleskih riječi: *binary, digit, bite*.
- U rujnu 1996. CIPM je prihvatio sljedeću Preporuku (*Recommendation*):

Recommendation U 1 (1996):

Binary multiples of units used in information technology

The Consultative Committee for Units,

considering

- that the Conférence Générale des Poids et Mesures has adopted a series of prefixes to be used in forming the decimal multiples and sub-multiples of SI units,
- that there is an increasing need in information technology to express multiples of units such as the bit and byte,
- that the use of the SI prefixes in information technology to express binary multiples of such units leads to confusion,

recalling that the SI prefixes represent strictly powers of ten,

noting that work is under way, notably within the International Electrotechnical Commission (IEC) but also in other organizations, aimed at finding alternative ways of expressing binary multiples,

strongly supports the IEC in its efforts to reach agreement on names and symbols for prefixes denoting powers of two for use in information technology world-wide.

Binarni predmetci i formiranje jedinica

- IEC je 1999. objavila međunarodnu normu o nazivima i znakovima binarnih jedinica: *Amendment 2(1999) to IEC Standard 60027-2, Part 2*
- Od 2008. zamjenjuje je nova norma *IEC 80000-13:2008 Quantities and units -- Part 13: Information science and technology*
- Vrijednost, naziv i znak jedinice tvore se s pomoću jednadžbe $D = N \cdot J$ i obrasca $N + J = D$. Ovdje slovo D označuje tvorenu jedinicu, odnosno njezin naziv, a množilac N je određen s pomoću binarne definicije:

$$N = 2^r$$

- Eksponent r ima samo pozitivne vrijednosti. Binarni množilac N uvijek je veći od broja 1, tj. on je isključivo višekratnik. Za sada su dovoljne vrijednosti binarnoga eksponenta:

$$r = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80$$

Binarni predmetci i formiranje jedinica

Tablica 3. Vrijednosti, nazivi i znakovi binarnih predmetaka za tvorbu informatičkih jedinica

Vrijednost binarnog predmetka	Naziv	Znak
$2^{10} = 1,024 \cdot 10^3$	kibi	Ki
$2^{20} = 1,048\,576 \cdot 10^6$	mebi	Mi
$2^{30} = 1,073\,741\,824 \cdot 10^9$	gibi	Gi
$2^{40} = 1,099\,511\,6278 \cdot 10^{12}$	tebi	Ti
$2^{50} = 1,125\,899\,9068 \cdot 10^{15}$	pebi	Pi
$2^{60} = 1,152\,921\,5046 \cdot 10^{18}$	eksbi	Ei
$2^{70} = 1,180\,591\,6207 \cdot 10^{21}$	zebi	Zi
$2^{80} = 1,208\,925\,8196 \cdot 10^{24}$	jobi	Yi

Binarni predmetci i formiranje jedinica

Tablica 4.
Nazivi, znakovi i vrijednosti
informatičkih jedinica
izvedenih od tvorbenih
jedinica bit i bajt

Naziv	Znak	Vrijednost
Oblikovna jedinica bit (znak: bit)		
kibibit	Kibit	2^{10} bit = 1024 bit
mebibit	Mibit	2^{20} bit = 1024 Kibit
gibibit	Gibit	2^{30} bit = 1024 Mibit
tebibit	Tibit	2^{40} bit = 1024 Gibit
pebibit	Pibit	2^{50} bit = 1024 Tibit
eksbibit	Eibit	2^{60} bit = 1024 PIBit
zebibit	Zibit	2^{70} bit = 1024 Eibit
jobibit	Yibit	2^{80} bit = 1024 Zibit
Oblikovna jedinica bajt (znak: B)		
kibibajt	KiB	2^{10} B = 1024 B
mebibajt	MiB	2^{20} B = 1024 KiB
gibibajt	GiB	2^{30} B = 1024 MiB
tebibajt	TiB	2^{40} B = 1024 GiB
pebibajt	PiB	2^{50} B = 1024 TiB
eksbibajt	EiB	2^{60} B = 1024 PiB
zebibajt	ZiB	2^{70} B = 1024 EiB
jobibajt	YiB	2^{80} B = 1024 ZiB

Zaključak

- ❑ **Za sada smo naučili na koji način uporabljamo mjerne jedinice i koliko je važna točnost njihovog poznavanja**
- ❑ **Iz povijesnog pregleda može se uočiti napredak u znanosti i tehnici koji je doveo do ove velike promjene SI sustava**
- ❑ **Naučili smo i kako treba pisati jedinice, odnosno simbole fizikalnih veličina, te kako se formiraju jedinice koristeći decimalne ili binarne predmetke**