

# Soustava SI

## Předefinování současných definic

redakce Elektro

Soustava SI (*Le Système International d'Unités*) je od roku 1960 mezinárodně domluvená soustava jednotek pro kvantitativní označování měřených údajů používaných v rozvinuté industrializované společnosti (ve stavebnictví, v zemědělství, v technice, v obchodu ....atd.).

Soustava SI celosvětově smluvně garantuje definice jednotek a uchování mezinárodně platných etalonů v Bureau International des Poids et Mesures v Sèvres (Francie). V České republice je to Český metrologický institut v Brně.

Historie měrných jednotek a jejich soustav má za sebou nejméně dvě století vývoje (první metrický systém byl vytvořen během francouzské revoluce, 1. srpna 1793), kdy svou roli při určování a stanovování měrných jednotek sehrávaly nejen technické, ale zejména politické a obchodní aspekty. Soustava SI vznikla v roce 1960, a to z předešlých soustav metr-kilogram-sekunda (mks), či centimetr-gram-sekunda (soustava CGS).

Soustava SI jako uzákoněný mezinárodní předpis se i nadále jeví pro běžnou praxi i aplikovaný výzkum jako použitelný systém, nicméně má své slabiny – není zcela dokonale systémově uspořádán a neakceptuje plně v současnosti dosaženou přesnost fyzikálních měření. Proto Mezinárodní výbor pro váhy a míry (CIPM – *Comité international des Poids et Mesures*) již v roce 2005 vydal doporučení **základní jednotky soustavy předefinovat**.

Z fyzikálního hlediska a s ohledem na dosaženou současnou úroveň fyzikálních měření by měly nové definice jednotek být vázány na základní fyzikální konstanty – elementární náboj  $e$ , Planckovu konstantu  $h$ , Boltzmannovu konstantu  $k_B$  a Avogadrovu konstantu  $N_A$ .

Vytvoření nových definic kilogramu, ampéru, kelvinu a molu by se mělo vztahovat právě na tyto základní fyzikální konstanty. Podle CIPM by měly být nové definice uvedeny v život do roku 2011.

### Základní jednotky soustavy SI

Jednotky soustavy SI lze rozdělit do několika kategorií: základní, doplňkové, odvozené, násobné a dílčí (tvořené předponami), vedlejší. Sedm základních jednotek SI uvádí tab. 1.

V Česku vyplývá pro subjekty a orgány státní správy povinnost používat soustavu jednotek SI ze zákona č. 505/1990 Sb. ze dne 16. listopadu 1990 (Zákon o metrologii; se změnami podle zákonů č. 4/1993, 20/1993,

Tab. 1. Základní jednotky soustavy SI

Fyzikální veličina	Označení	Jednotka	Značka
délka	$l$	metr	m
hmotnost	$m$	kilogram	kg
čas	$t$	sekunda	s
termodynamická teplota	$T$	kelvin	K
látkové množství	$n$	mol	mol
elektrický proud	$I$	ampér	A
svítivost	$I$	kandela	cd

119/2000, 137/2002, 13/2002, 226/2003 a 444/2005 Sb.) a souvisejících vyhlášek Ministerstva průmyslu a obchodu ČR, zejména MPO vyhlášky č. 264/2000 Sb.

Konkrétní jednotky soustavy SI stanoví norma ČSN ISO 1000 *Jednotky SI a doporučení pro užívání jejich násobků a pro užívání některých dalších jednotek*.

### Nové definice

Pro srovnání uvádíme znění současných definic (a) a nově navrhovaných definic (b) základních jednotek SI:

#### metr

**a/** je délka dráhy, kterou proběhne světlo ve vakuu za 1/299 792 458 sekundy;

**b/** dtto;

#### kilogram

**a/** hmotnost mezinárodního prototypu kilogramu uloženého v Mezinárodním úřadě pro váhy a míry v Sèvres u Paříže;

**b/** kilogram je hmotnost tělesa, jehož ekvivalentní energie je rovna energii takového počtu fotonů, že součet jejich frekvencí je přesně  $((299\,792\,458) \cdot 2/66260693) \cdot 10^{41}$  Hz;

Zde se používá Einsteinův vztah mezi hmotností a energií a Planckův vztah pro energii fotonu.

#### sekunda

**a/** doba rovnající se 9 192 631 770 periodám záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133;

**b/** je taková jednotka času, že frekvence přechodu mezi sousedními hladinami hyperjemné struktury základního stavu atomu cesia 133 je rovna 9 192 631 770 Hz;

#### ampér

**a/** stálý elektrický proud, který při průchodu dvěma přímými rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu umístěnými ve vakuu ve vzájemné vzdálenosti 1 m vyvolá mezi nimi stálou sílu  $2 \cdot 10^{-7}$  N na 1 m délky vodiče;

**b/** je elektrický proud, který odpovídá toku přesně  $1/(1,60217633 \cdot 10^{-19})$  elementárních nábojů za sekundu;

#### kelvin

**a/** kelvin je 1/273,16 termodynamické teploty trojného bodu vody;

**b/** kelvin je taková změna termodynamické teploty, která vede ke změně tepelné energie  $k_B T$  přesně o  $1,3806505 \cdot 10^{-23}$ ;

#### mol

**a/** mol je látkové množství soustavy, která obsahuje právě tolik elementárních jedinců (entit), kolik je atomů v 0,012 kilogramu nuklidu uhlíku  $^{12}C$  (přesně);

**b/** mol je látkové množství látky, které obsahuje přesně  $6,0221415 \cdot 10^{23}$  specifikovaných elementů, což mohou být atomy, molekuly, ionty, elektrony či jiné částice nebo jejich specifikované skupiny;

#### kandela

**a/** kandela je svítivost zdroje, který v daném směru vysílá monochromatické záření o kmitočtu 540,1012 Hz a jehož zářivost v tomto směru je 1/683 wattu na steradián;

**b/** je taková jednotka svítivosti v daném směru, že spektrální účinnost monochromatického záření o frekvenci  $540 \cdot 10^{12}$  Hz je přesně rovna 683 lm/W.

Z uvedených nových definic je zřejmé, že ačkoliv v běžné praxi se upřesnění základních jednotek zřejmě neprojeví, v metrologii a ve vědních oborech závislých na přesném měření se jejich chápání a užívání dostává na samu mez použitelnosti a že zde budou dopady mnohem komplikovanější.

### Doplňkové jednotky

Doplňkové jednotky (tab. 2) jsou jednotky, o nichž Generální konference pro váhy a míry dosud nerozhodla, zda mají být zařazeny mezi základní jednotky nebo jednotky odvozené.

Tab. 2. Doplňkové jednotky soustavy SI

Veličina	Jednotka	Značka
rovinný úhel	radián	rad
prostorový úhel	steradián	sr

#### radián

rovinný úhel sevřený dvěma polopřímkami, které na kružnici opsané z jejich počátečního bodu vytínají oblouk o délce rovné jejímu poloměru;

#### steradián

prostorový úhel s vrcholem ve středu kulové plochy, který na této ploše vytíná část s obsahem rovným druhé mocnině poloměru této kulové plochy.

## Odvozené jednotky

Odvozené jednotky (tab. 3) vznikají pomocí fyzikálních definičních vztahů z jednotek základních nebo doplňkových. K vytváření dalších odvozených jednotek mohou

být použity odvozené jednotky, které mají samostatný název.

Odvozené jednotky jsou koherentní vzhledem k jednotkám základním, resp. doplňkovým. Některé odvozené jednotky jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3. Odvozené jednotky soustavy SI

Veličina	Jednotka	Značka	Fyzikální rozměr
plošný obsah	m <sup>2</sup>		m <sup>2</sup>
objem	m <sup>3</sup>		m <sup>3</sup>
vlnočet	m <sup>-1</sup>		m <sup>-1</sup>
frekvence	hertz	Hz	s <sup>-1</sup>
rychlost	m/s		m·s <sup>-1</sup>
úhlová rychlost	rad/s		rad·s <sup>-1</sup>
zrychlení	m/s <sup>2</sup>		m·s <sup>-2</sup>
úhlové zrychlení	rad/s <sup>2</sup>		rad·s <sup>-2</sup>
hustota	kg/m <sup>3</sup>		kg·m <sup>-3</sup>
měrný objem	m <sup>3</sup> /kg		m <sup>3</sup> ·kg <sup>-1</sup>
síla	newton	N	m·kg·s <sup>-2</sup>
tlak, napětí	pascal	Pa	m <sup>-1</sup> ·kg·s <sup>-2</sup>
dynamická viskozita	pascal-sekunda		m <sup>-1</sup> ·kg·s <sup>-1</sup>
kinematická viskozita	m <sup>2</sup> /s		m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>
energie, práce, teplo	joule	J	m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-2</sup>
výkon	watt	W	m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-3</sup>
moment síly	N·m		m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-2</sup>
povrchové napětí	N/m		kg·s <sup>-2</sup>
elektrický náboj	coulomb	C	s·A
hustota elektrického náboje	C/m <sup>3</sup>		m <sup>-3</sup> ·s·A
elektrické napětí, potenciál	volt	V	m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-3</sup> ·A <sup>-1</sup>
intenzita elektrického pole	V/m		m·kg·s <sup>-3</sup> ·A <sup>-1</sup>
elektrický odpor	ohm	Ω	m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-3</sup> ·A <sup>-2</sup>
elektrická vodivost	siemens	S	m <sup>-2</sup> ·kg <sup>-1</sup> ·s <sup>3</sup> ·A <sup>2</sup>
elektrická kapacita	farad	F	m <sup>-2</sup> ·kg <sup>-1</sup> ·s <sup>4</sup> ·A <sup>2</sup>
elektrická indukce	C/m <sup>2</sup>		m <sup>-2</sup> ·s·A
permitivita	farad na metr		m <sup>-3</sup> ·kg <sup>-1</sup> ·s <sup>4</sup> ·A <sup>2</sup>
indukčnost	henry	H	m <sup>2</sup> ·kg <sup>-2</sup> ·s <sup>-2</sup> ·A <sup>-2</sup>
permeabilita	H/m		m·kg <sup>-2</sup> ·s <sup>-2</sup> ·A <sup>-2</sup>
magnetický indukční tok	weber	Wb	m <sup>2</sup> ·kg <sup>-2</sup> ·A <sup>-1</sup>
magnetická indukce	tesla	T	kg·s <sup>-2</sup> ·A <sup>-1</sup>
intenzita magnetického pole	A/m		m <sup>-1</sup> ·A
tepelná kapacita	J/K		m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup>
molární vnitřní energie	J/mol		m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-2</sup> ·mol <sup>-1</sup>
hustota tepelného toku	W/m <sup>2</sup>		kg·s <sup>-3</sup>
zářivost	W/sr		m <sup>2</sup> ·kg·s <sup>-3</sup> ·sr <sup>-1</sup>
světelný tok	lumen	lm	cd·sr
osvětlení	lux	lx	m <sup>-2</sup> ·cd·sr
jas	cd/m <sup>2</sup>		m <sup>-2</sup> ·cd
aktivita	becquerel	Bq	s <sup>-1</sup>
ozáření (expozice)	C/kg		kg <sup>-1</sup> ·s·A
dávka	gray	Gy	m <sup>2</sup> ·s <sup>-2</sup>
dávková rychlost	Gy/s	N	m <sup>2</sup> ·s <sup>-3</sup>

Tab. 4. Vedlejší jednotky soustavy SI

Veličina	Jednotka	Značka	Vztah k jednotkám SI
délka	astronomická jednotka	UA (AU)	1 UA = 1,49598·10 <sup>11</sup> m
	parsek	pc	1 pc = 3,0857·10 <sup>16</sup> m
	světelný rok	ly	1 ly = 9,4605·10 <sup>15</sup> m
hmotnost	atomová hmotnostní jednotka	u	1 u = 1,66057·10 <sup>-27</sup> kg
	tuna	t	1 t = 1000 kg
čas	minuta	min	1 min = 60 s
	hodina	h	1 h = 3 600 s
	den	d	1 d = 86 400 s
teplota	Celsiův stupeň	°C	
rovinný úhel	úhlový stupeň	°	1 ° = (π/180) rad
	úhlová minuta	'	1 ' = (π/10800) rad
	úhlová vteřina	"	1 " = (π/648000) rad
	grad (gon)	g (gon)	1 g = (π/200) rad
plošný obsah	hektar	ha	1 ha = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
objem	litr	l	1 l = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
tlak	bar	b	1 b = 10 <sup>5</sup> Pa
energie	elektronvolt	eV	1 eV = 1,60219·10 <sup>-19</sup> J
optická mohutnost	dioptrie	Dp, D	1 Dp = 1 m <sup>-1</sup>
zdánlivý výkon	voltampér	V·A	
jalový výkon	var	var	

## Vedlejší jednotky soustavy SI

Vedlejší jednotky (tab. 4) nepatří do soustavy SI, ale norma povoluje jejich používání. Tyto jednotky nejsou koherentní vůči základním nebo doplňkovým jednotkám SI. Jejich užívání v běžném praktickém životě je ale tradiční a jejich hodnoty jsou ve srovnání s odpovídajícími jednotkami SI pro praxi vhodnější. Bylo tedy nutné (a vhodné) povolit jejich užívání.

**K vedlejším jednotkám času a rovinného úhlu se nesmějí přidávat předpony.** Předpony nelze také používat u astronomické jednotky, světelného roku, dioptrie a atomové hmotnostní jednotky. Lze používat také jednotek kombinovaných z jednotek SI a jednotek vedlejších nebo i kombinované z vedlejších jednotek, např. km·h<sup>-1</sup> nebo l·min<sup>-1</sup> apod. Bez časového omezení lze používat poměrůvých a logaritmických jednotek (např. číslo 1, procento, bel, decibel, oktáva) s výjimkou jednotky neper<sup>\*)</sup>.

Pozn. redakce:.

Vznik každé jednotky má svou historii. Jak vznikal například metr? Myšlenka zvolit jednotku, kterou by se měřilo ve všech státech, byla sice jednoduchá, ale obtížné bylo zvolit takovou, aby byla na celém světě bez problémů přijata. Každý stát chtěl, aby to byla právě ta jeho, již zaběhlá. Cesta k současnému metru vedla přes Hyugensův návrh (1673) použít délku tzv. sekundového kyvadla. Böhlm o 50 let později navrhoval dráhu volně padajícího tělesa ve vakuu po dobu 1 s. Jiní chtěli odvodit jednotku ze zdánlivého průměru Slunce, další ze včelí buňky v pláštvi. Nejblíže k realizaci bylo sekundové kyvadlo Pařížské akademie věd, leč za jednotku délky přijato nebylo. A tak byl roku 1790 přijat návrh biskupa prince Ch. H. de Talleyranda-Périgorda míry unifikovat. Rozpracovaný projekt tohoto metrického systému považoval za jednotku délky 0,000 000 1 zemského kvadrantu. Dne 10. 12. 1799 byl pojmenován uvedený zlomek zemského kvadrantu na návrh J. Ch. Borda metr, podle řeckého metron = míra. Holanďan van Swinden, účastníci se rovněž měření, navrhl potom názvy předpon deka, hekto, kilo, myria, deci, centi, mili. Z této vypočítané délky byla zhotovena Fortinem platinová tyč (průřez 25 mm × 4,05 mm). Vzdálenost konců měřidla se vztahovala k teplotě tání ledu. Byl určen i převod: 1 m se rovnal přibližně 0,513 sáhu při teplotě tání ledu.

Rozdělení metru na díly bylo uzákoněno v roce 1795. Členy komise byli mj. i známí vědci J. L. Lagrange a P. S. Laplace.

<sup>\*)</sup> Neper je bezrozměrná jednotka, která se používá pro vyjádření poměru dvou hodnot. Rovná se přirozenému logaritmu podílu dvou porovnávaných hodnot jedné veličiny. Nyní je tato jednotka v mnoha aplikacích nahrazena jednotkou decibel (dB), která však užívá logaritmus dekadický. Byla pojmenována po Johnu Napierovi, objeviteli logaritmu. Jednotka má symbol Np.