

Dr inż. Romuald BIAŁOBRZESKI

Jedną z podstawowych czynności poznawczych, których celem jest dostarczenie danych do ilościowego opisu badanych zjawisk fizycznych lub rzeczy, jest pomiar. Pomiar polega na przyporządkowaniu badanym cechom zjawisk lub przedmiotów pewnych liczb rzeczywistych jako ich miary. Najprościej można powiedzieć, że pomiar stanowi zespół czynności związanych z porównywaniem badanej wielkości fizycznej z wzorcem tej wielkości przyjętej umownie za jednostkę miary. Wynik pomiaru wyraża się więc iloczynem jednostki miary przez liczbę, określającą ile razy ta jednostka jest mniejsza (lub większa) od badanej wartości. Należy pamiętać, że dokładna znajomość zjawisk fizycznych jest ściśle związana z pojęciem miary. Najdawniejszymi jednostkami miar były jednostki długości. Za jednostki długości służyły pierwotnie części ciała ludzkiego. Dziś z niedowierzaniem czytamy XVI-wieczną definicję jednostki długości nazywanej stopą: „stopa jest długością [zapewne średnią] — ustawionych jedną za drugą — lewych stóp, pierwszych 16 mężczyzn, opuszczających kościół w pewną niedzielę rano”.

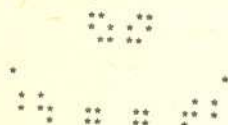
Jednostki miary utworzone dla różnych wielkości w sposób dowolny i nieuporządkowany utrudniały pomiary i porównania. Dość powiedzieć, iż w Europie w wieku XVIII obowiązywało około 100 różnych łokci, 50 różnych mil oraz około 120 różnych funtów. Aby uniknąć tych niedogodności starano się stworzyć jednolite układy jednostek miar. Układ jednostek miar jest zbiorem kilku wielkości fizycznych, których jednostki tworzą bazę układu (jednostki podstawowe). Za pomocą jednostek podstawowych można tworzyć dowolne pochodne jednostki miar innych wielkości fizycznych.

Najbardziej znane układy jednostek miar należą do tzw. systemu metrycznego, choć istnieją i niemetryczne układy jednostek miar stosowane głównie w krajach anglosaskich. System metryczny po raz pierwszy wprowadzono podczas Wielkiej Rewolucji Francuskiej ustawą z dnia 7.IV.1795 r., a w roku 1799 wprowadzono wzorce metra i kilograma. Były to wzorce prototypowe i, w zamierzeniu ich twórców, jeden miał odtwarzać długość $1/40\,000\,000$ części ziemskiego koła południkowego, a drugi masę jednego decymetra sześciennego wody. Jednak w wyniku dalszych pomiarów okazało się, że przyjęte wzorce nie odtwarzają zamierzonych wielkości. Fakt ten oraz potrzeba powiązania wzorca danej wielkości z odtwarzalnym, w dowolnym miejscu i czasie zjawiskiem fizycznym, a nie tak jak dotychczas z pewnym materialnym wyrobem (prototypem), stymulowały dalsze badania. Powstało wówczas pytanie: czy na podstawie jakiegoś zjawiska fizycznego ustanowić nowy metr, czy też do istniejącego metra dopasować jakieś zjawisko fizyczne? Wybrano rozwiązanie drugie. Ta tendencja tworzenia wzorców fizycznych a nie prototypowych spowodowała, iż w chwili obecnej wszystkie wzorce jednostek miar, z wyjątkiem wzorca kilograma, są wzorcami opartymi na zależnościach wiążących zjawiska fizyczne. W trakcie badań powstawały w różnych ośrodkach naukowych różne układy jednostek miar. Układy te mimo należenia do systemu metrycznego, z powodu dowolnego wyboru baz układów, dawały dla tych samych wielkości fizycznych jednostki miar o różnych wymiarach i nazwach. Jest to zjawisko wysoce niepożądane, zwłaszcza obecnie, gdy szereg najrozmaitszych dziedzin wiedzy przenika się wzajemnie, bądź też kojarzy się często w jedną nową gałąź nauki. Narastała więc potrzeba opracowania takiego układu jednostek miar, który by umożliwiał uniknięcie kłopotów przy przechodzeniu z jednego układu jednostek miar do innego i który byłby obowiązujący we wszystkich dziedzinach nauki i techniki.

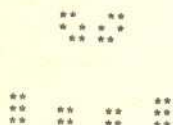
Od szeregu już lat podejmowano prace nad stworzeniem takiego uniwersalnego układu jednostek miar. Układ ten jako Międzynarodowy Układ Jednostek Miar (Système International d'Unités), zwany również w skrócie Układem SI, został przyjęty w 1960 roku na XI Generalnej Konferencji Miar. Postanowienie to zostało przyjęte również przez wiele międzynarodowych organizacji, jak np. Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ISO), Rada Wzajemnej Pomocy Gospodarczej (RWPG), oraz przez wszystkie państwa uczestniczące w Generalnej Konferencji Miar.

Międzynarodowy Układ Jednostek Miar (układ SI) opiera się na następujących założeniach:

1. Ustala się 7 podstawowych jednostek miar: metr, kilogram, sekunda, amper, kelwin, mol i kandela; jednostki te podporządkowane są odpowiednio 7 wybranym podstawowym wielkościom fizycznym: długości, masie, czasowi, natężeniu prądu elektrycznego, temperaturze, liczności materii i światłości.
2. Ustala się 2 uzupełniające jednostki miar: radian i steradian; pierwszy dla pomiarów kąta płaskiego, drugi dla pomiarów kąta bryłowego.
3. Pochodne jednostki miar podporządkowane właściwym wielkościom pochodnym tworzy się w oparciu o odpowiednie prawa fizyczne formułujące zależności między wielkościami podstawowymi, uwzględniając zasadę spójności jednostek.



mutacja 49



mutacja 50

W Minikonkursie („Delta 5/76) za wykrycie błędu w rozwiązaniu zadania M67 („Delta” 11/75) nagrody książkowe (A. Schinzel — „Wacław Sierpiński”) otrzymują:
— Jacek Chrobak z Bielska-Białej,
— Mirosław Gorbaczow z Gdyni,
— Andrzej Rychlewicz z Łodzi.

Termin „spójność jednostek” oznacza, że zależności między jednostkami układu wyrażają się wzorami, w których współczynniki liczbowe (przeliczeniowe) są zawsze równe jedności.

- Analizując dobór jednostek podstawowych i uzupełniających można stwierdzić, że:
- Trzy jednostki podstawowe: metr, kilogram i sekunda umożliwiają stworzenie jednostek pochodnych dla wszystkich wielkości mechanicznych.
 - Cztery pozostałe jednostki podstawowe: amper, kelwin, mol i kandela, dodawane pojedynczo lub łącznie do pierwszej grupy jednostek — umożliwiają utworzenie wszelkich jednostek pochodnych dla wielkości elektrycznych, magnetycznych, cieplnych, świetlnych itp.
 - Jednostki uzupełniające: radian i steradian nie wchodzą do grupy jednostek podstawowych; mają wymiar L^0 , czyli równy 1 i nie zależą od wyboru jednostek podstawowych.

Definicje podstawowych jednostek miar układu SI są (prócz definicji kilograma) definicjami „atomowymi”, tzn. związanymi z pewnymi zjawiskami zachodzącymi w atomie. Historię opracowania takich definicji najlepiej ilustruje ewolucja definicji sekundy, która była pierwotnie określana jako $1/86\,400$ część średniej doby słonecznej. Jednak zjawiska astronomiczne cechuje pewna zmienność w czasie i z tego powodu od 1956 r. obowiązywała definicja następująca: sekunda jest $1/31\,556\,925,974\,7$ częścią roku zwrotnikowego 1900 stycznia 1 godzina 12 czasu efemeryd. Wyrażenie „czas efemeryd” oznacza w astronomii czas przyjęty za równomiernie biegnący, niezależnie od wszelkich zakłóceń.

Różnice między tymi definicjami i trudności z uwzględnianiem skali czasu oraz konieczność wymuszana przez współczesną technikę, dokładniejszego wyznaczania wartości sekundy spowodowały kolejną zmianę definicji. I tak proponowana w roku 1964 jako równoległa, a obowiązująca od roku 1967 jest definicja wykorzystująca związek czasu z częstotliwością oraz zjawiska zachodzące w atomie cezu 133. Definicja ta brzmi: sekunda jest to czas równy $9\,192\,631\,770$ okresom promieniowania odpowiadającego przejściu między dwoma nadsztywnymi poziomami stanu podstawowego atomu ^{133}Cs (cezu 133).

Jednakże uściślenie definicji podstawowych jednostek miar nie wprowadziło większych zmian. Największe zmiany wprowadził układ SI w nazwach i zasadach tworzenia pochodnych jednostek miar. Zmiany te dotyczą głównie jednostek miar ciśnienia, siły, promieniowania jonizującego i energii cieplnej; zmiany te dotyczą również logarytmicznych jednostek miar stosowanych w elektronice i akustyce.

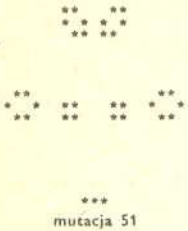
Układ SI zlikwidował wszystkie dotychczas stosowane jednostki ciśnienia, a wprowadził jako obowiązującą jednostkę paskal. Podobna sytuacja istnieje w jednostkach siły. Obecnie obowiązuje niuton z jego wielokrotnymi i podwielokrotnymi. Energia cieplna zyskując dżula straciła kalorie, a wielkości elektryczne i akustyczne straciły nepera przechodząc na decybel. Wielkości promieniowania jonizującego, takie jak dawka pochłonięta i ekspozycyjna, będziemy teraz mierzyli w grejach i kulombach na kilogram, zamiast jak do tej pory w rentgenach i w radach lub w dżulach na kilogram czy ergach na gram. Nie wolno zapominać, że zmiany te spowodowały również zmiany jednostek miar pochodnych od zlikwidowanych. Na przykład jednostka mocy dawki pochłoniętej, rad na sekundę, jest zastąpiona jednostką centygrej na sekundę. Takie przykłady można wyliczać jeszcze dość długo, gdyż każda dziedzina techniki została objęta zmianami.

Z tego powodu przyjęcie, wprowadzenie i stosowanie spójnego układu jednostek miar nie jest sprawą ani prostą ani łatwą. We wszystkich państwach zajmują się tym Komitety Miar. U nas sprawą tą zajmuje się Polski Komitet Normalizacji i Miar, który wydaje odpowiednie zarządzenia dotyczące ustalenia definicji, nazw i oznaczeń jednostek miar oraz zasad wprowadzania i stosowania jednostek układu SI. Z zarządzeń tych wynikają pewne obowiązki ciężące na naukowcach i inżynierach wszystkich dziedzin nauki i techniki. W Polsce jesteśmy przed wielkimi przemianami spowodowanymi przyjęciem układu SI:

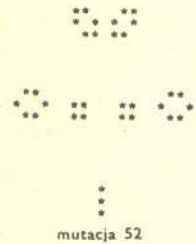
- od dnia 1 stycznia 1977 r. jednostki układu SI powinny być stosowane w normalizacji, szkolnictwie, w wydawnictwach i publicystyce,
- do dnia 31 grudnia 1979 r. powinien zostać zakończony proces wprowadzania w życie jednostek miar układu SI. Proces ten obejmuje takie działania jak: nowelizacja norm, katalogów i podręczników; przewzorcowanie na nowe jednostki lub wymianę przyrządów pomiarowych wyskalowanych w jednostkach stosowanych dotychczas; zmianę oznaczeń jednostek miar w dokumentacji technicznej, na opakowaniach i tabliczkach znamionowych urządzeń; podjęcie produkcji przyrządów pomiarowych wyskalowanych w nowych jednostkach miar i przestawienie procesów technologicznych tak, aby były stosowane w nich jednostki układu SI.

Czy układ SI możemy uważać za doskonały i czy prace nad udoskonaleniem układu jednostek miar możemy uważać za zakończone? Chyba nie. Zwróćmy uwagę na stosunkowo nieprecyzyjną definicję ampera i prototypowy wzorzec kilograma. Układ jednostek SI spełni może zadanie podobnie jak to zrobił system metryczny, a nasze pokolenie być może zadowolili się nim. Jednak może się zdarzyć, że ktoś w przyszłości będzie się dziwił swoim przodkom żyjącym w XX wieku, że stosowali tak niewygodne i nieprecyzyjne układy jednostek miar jak układ SI.

Wiemy o tym i mamy nadzieję, że wielu spośród Was przyczyni się do lepszego poznania zjawisk dotyczących materii i będzie dążyć na przykład do ustalenia nowego wzorca jednostki masy — kilograma. Rozwój nauki nie znosi przestojów. Musimy o tym pamiętać przystępując do pomiarów i nowych badań.



mutacja 51



mutacja 52

Zarządzenie Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacji i Miar z dnia 5 stycznia 1976 r. w sprawie ustalenia definicji, nazw i oznaczeń jednostek miar (Monitor Polski Nr 4, poz. 19) oraz Zarządzenie Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacji i Miar z dnia 25 maja 1976 r. w sprawie ustalenia ogólnego programu wprowadzenia jednostek miar Międzynarodowego Układu Jednostek SI do stosowania w gospodarce narodowej.



mutacja 53



mutacja 54

Wykaz zmian jednostek miar stosowanych w elektrotechnice i elektronice

Lp.	Wielkość	Dotychczas stosowana jednostka miary		Nowa jednostka miary w układzie SI		Relacja pomiędzy jednostką stosowaną dotychczas a jednostką układu SI
		Nazwa	Oznaczenie	Nazwa	Oznaczenie	
1.	Natężenie pola elektrycznego	kilowolt na milimetr	kV/mm	megawolt na metr	MV/m	1 kV/mm = 1 MV/m
		miliwolt na centymetr	mV/cm	wolt na metr	V/m	1 mV/cm = 10 ⁻¹ V/m
2.	Natężenie pola magnetycznego	ersted	Oe	amper na metr	A/m	1 Oe = $\frac{1}{4\pi} \cdot 10^3$ A/m
3.	Siła magnetomotoryczna	gilbert	Gb	amper	A	1 Gb = $\frac{1}{4\pi} \cdot 10$ A 7,95775 A · 10 ⁻¹ A
4.	Indukcja magnetyczna	gaus	Gs	militesla	mT	1 Gs = 10 ⁻¹ mT
		weber na centymetr kwadratowy	Wb/cm ²	kilotesla	kT	1 Wb/cm ² = 10 kT
6.	Strumień magnetyczny	makswel	Mx	nanoweber	nWb	1 Mx = 10 nWb
7.		woltogodzina	V · h	kiloweber	kWb	1 V · h = 3,6 kWb
8.	Opór elektryczny właściwy	omocentymetr	Ω · cm	miliomometr	mΩ · m	1 Ω · cm = 10 mΩ · m
		om razy milimetr kwadratowy na metr	Ω · mm ² /m	mikroomometr	μΩ · m	1 Ω · mm ² /m = 1 μΩ · m
9.	Przewodność elektryczna właściwa	simens na centymetr	S/cm	kilosimens na metr	kS/m	1 S/cm = 10 ⁻¹ kS/m
10.		metr na om i milimetr kwadratowy	m/(Ω · mm ²)	megasimens na metr	MS/m	1 m/(Ω · mm ²) = 1 MS/m
11.	Energia, praca (czynna)	watosekunda	W · s	dżul	J	1 W · s = 1 J
12.	Poziom bezwzględny mocy elektrycznej	neper	Np	decybel	dB	1 Np = 8,685890 dB
13.	Luminancja	nit	nt	kandela na metr kwadratowy	cd/m ²	1 nt = 1 cd/m ²
14.		stilb	sb	kilokandela na metr kwadratowy	kcd/m ²	1 sb = 1 cd/m ²
15.		apostilb	brak	kandela na metr kwadratowy	cd/m ²	1 apostilb = $\frac{1}{\pi}$ cd/m ²
16.		lambert	brak	kilokandela na metr kwadratowy	kcd/m ²	1 lambert = $\frac{1}{\pi} \times 10$ kcd/m ²
17.	Natężenie oświetlenia	fot	ph	kiloluks	klx	1 ph = 1,0 · 10 klx

Zasady wyrażania dziesiętnych wielokrotności i podwielokrotności jednostek miar

Dziesiętne wielokrotności i podwielokrotności jednostek miar można wyrażać przez dołączenie (odpowiednio) do nazwy lub oznaczeń jednostek miar przedrostków lub ich oznaczeń wyrażających mnożniki dziesiętne. Zestawienie tych przedrostków i oznaczeń podane jest obok.

Przedrostek	Oznaczenie	Mnożnik
eksa	E	10 ¹⁸ = 1 000 000 000 000 000 000
peta	P	10 ¹⁵ = 1 000 000 000 000 000
tera	T	10 ¹² = 1 000 000 000 000
giga	G	10 ⁹ = 1 000 000 000
mega	M	10 ⁶ = 1 000 000
kilo	k	10 ³ = 1 000
hekto	h	10 ² = 100
deka	da	10 ¹ = 10
decy	d	10 ⁻¹ = 0,1
centy	c	10 ⁻² = 0,01
mili	m	10 ⁻³ = 0,001
mikro	μ	10 ⁻⁶ = 0,000 001
nano	n	10 ⁻⁹ = 0,000 000 001
piko	p	10 ⁻¹² = 0,000 000 000 001
femto	f	10 ⁻¹⁵ = 0,000 000 000 000 001
atto	a	10 ⁻¹⁸ = 0,000 000 000 000 000 001

Jedynym wyjątkiem jest tworzenie dziesiętnych wielokrotności i podwielokrotności kilograma, które wyraża się przez dołączenie przedrostków (oznaczeń) do słowa gram (oznaczenie — g).