

## ZMIANY SPOWODOWANE W MECHANICE PRZEZ MIĘDZYNARODOWY UKŁAD JEDNOSTEK MIAR

STANISŁAW OCHĘDUSZKO (GLIWICE)

Dotąd niedobrze się dzieje w dziedzinie wymiarowania wielkości fizycznych. Przyczyny niewątpliwego chaosu przy ustalaniu jednostek miar sięgają dawnych lat.

Z powodu niewłaściwej oceny istoty ciepła, które przed 1842 r. było uważane za pewien rodzaj nieważkiej materii (calorium), wprowadzono odrębną jednostkę — kilokalorię, kcal. Niemalże zamieszanie powstało wskutek tego, że technicy wbrew zatwierdzonej w 1889 r. przez Pierwszą Generalną Konferencję Miar definicji kilograma jako jednostki kg masy (substancji), pozostali przy interpretacji kilograma jako jednostki siły  $kG = kp$ .

Ostateczne uporządkowanie jednostek i pojęć fizycznych nastąpiło po zatwierdzeniu w 1960 r. przez XI Generalną Konferencję Miar i Wag układu SI («Système International») jako międzynarodowego układu jednostek miar. Ponieważ układ SI jest układem koherentnym, przeto można było w termodynamice technicznej zarzucić równania przystosowane i zastąpić je równaniami wielkościami. Dzięki temu można było zmienić oznaczenia niektórych wielkości termodynamicznych i zbliżyć się do oznaczeń stosowanych w mechanice.

Korzyści nowego układu zostaną uwypuklone na tle obecnie stosowanego zbioru tradycyjnych jednostek miar.

### 1. Zbiór jednostek tradycyjnych. Równania przystosowane

**1.1. Jednostki tzw. układu technicznego.** Wskutek odmiennej interpretacji kilograma przez techników zostało na wiele lat zaprzepaszczone ścisłe rozgraniczenie ciężaru i masy (substancji) w naukach technicznych. Praktycznie zarówno jedna jak i druga wielkość oznaczana bywa za pomocą kg (kilograma-masy) lub kG (kilograma-siły). Kto chce być bardziej ścisły, używa jako jednostki ilości masy nie kG, a tzw. *normalnego kilograma-siły*, nkG. Jest to jeden z przykładów tzw. *jednostki pośredniej*. W celu wyznaczenia ilości kg masy należałoby z badanym ciałem udać się tam, gdzie przyspieszenie siły ciężkości jest normalne,  $g = g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$ . Dynamometr (waga sprężynowa) obciążony tym ciałem wskaże jego ciężar w kG. Bowiem *jednostką siły* w technice jest ciężar 1 kg-masy

---

Przypisek Redakcji. Zgodnie ze stwierdzeniem Autora propozycje dotyczące jednostek znamionowych w mechanice i wytrzymałości materiałów mają charakter dyskusyjny.

w próżni tam, gdzie  $g = g_n$ . W ten sposób wyznaczony ciężar jest miarą ilości masy ciała wyrażonej w kg. Tylko tam, gdzie  $g = g_n$ , wartości liczbowe ciężaru i masy są takie same.

Od dawna OCHĘDUSZKO [1] ściśle odróżnia siłę od masy i substancji. W celu unikania nieporozumień stosuje on lansowaną również w Polsce nazwę kilopond kp w miejsce kilograma-siły kG. Główną koherentną jednostkę masy stanowi masa <sup>(1)</sup>, której siła 1 kp nadaje przyspieszenie 1 m/s<sup>2</sup>. Z równania *Newtona*

$$(1) \quad F = ma$$

wynika jednostka masy

$$(2) \quad [m] = \frac{[F]}{[a]}$$

Należy przypomnieć, że:  $[m]$  oznacza jednostkę masy,  $[F]$  — jednostkę siły,  $[a]$  — jednostkę przyspieszenia liniowego. Po podstawieniu jednostek głównych otrzymuje się

$$(3) \quad [m] = \frac{\text{kp s}^2}{\text{m}}$$

Jest to tzw. *jednostka wymiarowa* masy, gdyż zawiera w sobie podstawowe jednostki technicznego zbioru tradycyjnego, który w zakresie mechaniki i termodynamiki składa się z

jednostki długości  $[d] = \text{m}$ , metra,

jednostki siły  $[F] = \text{kp}$ , kiloponda,

jednostki czasu  $[\tau] = \text{s}$ , sekundy,

jednostki ciepła  $[Q] = \text{kcal}$ , kilokalorii i

jednostki temperatury  $[T] = [t] = \text{grd}$ , (gradus) stopnia (bez względu na rodzaj skali 100-stopniowej<sup>(2)</sup>).

Dla uproszczenia zapisów wprowadza się tzw. *jednostki znamionowe*<sup>(3)</sup>, przeważnie wywodzące się od nazwiska uczonych. Ale jednostka masy określona równaniem (3) nosi nazwę

$$(3a) \quad \text{inert} = \frac{\text{kp s}^2}{\text{m}}$$

od wyrazu łacińskiego *inertia* lub stosowaną przez Niemców nazwę hyl.

Natomiast ilość substancji OCHĘDUSZKO określa za pomocą kg, tj. jednostki masy<sup>(4)</sup> (substancji) układu SI (dawnego MKS). W praktyce bowiem ilość substancji ustala się przez ważenie na wagach dźwigniowych, co jest jednoznaczne z podaniem ilości kg, a nie kG. Związek między inertem i kg można wyznaczyć za pomocą równania (1) w oparciu o definicję kiloponda

$$1 \text{ kg } g_n \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ inert } 1 \text{ m/s}^2,$$

<sup>(1)</sup> Masa (bezwładna) jest to właściwość materii objawiająca się przy zmianie ruchu, zależna od prędkości  $w$  ciała. Przy  $w = c$  (pr. światła)  $m = \infty$ .

<sup>(2)</sup> Jednostka znamionowa na skali Kelvina  $[T] = 1^\circ\text{K}$ , na skali zaś Celsjusza  $[t] = 1^\circ\text{C}$ , ale  $1^\circ\text{K} = 1^\circ\text{C} = 1 \text{ grad}$ .

<sup>(3)</sup> Nazwa ta pochodzi od *S. Fryzego*, który ma duże zasługi w metrologii elektrycznej.

<sup>(4)</sup> Jest tu mowa o tzw. masie spoczynkowej  $m_0$  przy  $w = 0$ .

czyli

$$(4) \quad 1 \text{ inert} = 9,80665 \text{ kg.}$$

Stąd równoważnik jednostek masy i substancji

$$(4a) \quad \mu = 9,8066 \frac{\text{kg}}{\text{inert}} \equiv 1.$$

Inert jest  $\mu = 9,80665$  razy większą jednostką ilości substancji od kg.

Wśród jednostek tradycyjnych znajdują się dwie jednostki dla określenia energii i tego, co z energii powstaje, mianowicie kcal dla ciepła, energii wewnętrznej i entalpii oraz kGm = kpm jako jednostka dla mechanicznych rodzajów energii (pracy, energii kinetycznej i potencjalnej). Dlatego w równaniach *pierwszej zasady termodynamiki* musi być stosowany równoważnik wspomnianych jednostek

$$(5) \quad 1 \text{ kcal} = 427 \text{ kp m} \quad \text{czyli} \quad A = \frac{1}{427} \frac{\text{kcal}}{\text{kp m}} \equiv 1.$$

W silnikach cieplnych powstaje praca 427 kpm w miejsce każdej kcal, która uległa zamianie na pracę.

**2.2. Równania przystosowane.** Jeżeli przez  $m$  oznaczy się ilość substancji ciała w kg, to ciężar tego ciała wynosi

$$(6) \quad G = \frac{m}{\mu} g$$

w kp. Po podzieleniu ostatniego równania przez objętość  $V$  ciała otrzymuje się

$$(7) \quad \frac{G}{V} = \frac{m}{V} \frac{g}{\mu},$$

czyli

$$(7a) \quad \gamma = \rho \frac{g}{\mu}.$$

Ostatnie równanie podaje związek między ciężarem właściwym  $\gamma$  i gęstością  $\rho$ . Z równania tego wynika, że wartości liczbowe  $\{\gamma\} = \{\rho\}$  jedynie wówczas, gdy przyspieszenie siły ciężkości  $\{g\} = \{\mu\} = 9,80665$ .

Jeżeli  $m$  kg materii ma prędkość  $w$  m/s, to jej *energia kinetyczna* ma wartość

$$(8) \quad E_k = \frac{m}{\mu} \frac{w^2}{2}$$

w  $\left(\text{inert} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\right)$ . Po zastosowaniu równania (3a) otrzymuje się jednostkę wymiarową  $[E_k] = \text{kpm}$ , tj. jednostkę główną pracy w zbiorze tradycyjnym.

Podobnie otrzymuje się wzór na energię potencjalną

$$(9) \quad E_p = \frac{m}{\mu} gH$$

gdzie  $H$  jest wysokością położenia środka  $m$  kg masy nad poziomem odniesienia.

Dla przemian zachodzących w układach zamkniętych słuszne jest równanie pierwszej zasady termodynamiki

$$(10) \quad Q_{1-2} = U_2 - U_1 + AL_{1-2}$$

gdzie  $Q_{1-2}$  oznacza ciepło dostarczone przez źródła zewnętrzne w kcal,  $U_2$  i  $U_1$  — energię wewnętrzną układu bilansowanego na początku i przy końcu przemiany w kcal,  $L_{1-2}$  — pracę bezwzględną wykonaną przez czynniki w układzie w kpm.

Ostatnie równanie jest również równaniem przystosowanym. Tylko dzięki zastosowaniu równoważnika  $A$  osiągnęło się zgodność wartości liczbowych

$$\{Q_{1-2}\} = \{U_2\} - \{U_1\} + \{A\}\{L\}$$

oraz jednostek

$$[Q] = [U] = [A][L]$$

po obu stronach równania (10). Bowiem dla każdej wielkości np.  $X$  można napisać iloczyn

$$(11) \quad X = \{X\}[X]$$

wartości liczbowej  $\{X\}$  przez jej jednostkę  $[X]$ .

Gdyby chodziło o wyrażenie energii  $E_k$  i  $E_p$  w jednostkach ciepła, to należałoby równanie (8) i (9) pomnożyć przez  $A$  [równanie (5)]

$$(8a) \quad AE_k = A \frac{m}{\mu} \frac{w^2}{2}$$

i

$$(9a) \quad AE_p = A \frac{m}{\mu} g H.$$

Oczywiście  $[AE_k] = [AE_p] = \text{kcal}$ .

Dzięki zastosowaniu odpowiednich równoważników można każdą wielkość przystosować do dowolnego układu jednostek.

Należy podkreślić, że występujący w podanych równaniach równoważnik  $\mu$  ma wartość stałą [równ. (4a)]. Natomiast w licznych publikacjach technicznych równoważnik ten jest zastąpiony przez przyśpieszenie  $g$  siły ciężkości, co prowadzi do nieściśłych wyników.

Jedynie odróżnienie ciężaru od masy prowadzi do poprawnych *jednostek wielkości pochodnych*. Np. energia właściwa  $e$  lub praca jednostkowa  $l$  przy użyciu rozszerzonego zbioru jednostek tradycyjnych mają jednostkę

$$[e] = \frac{[E]}{[m]} = \frac{\text{kp m}}{\text{kg}} \quad \text{i} \quad [l] = \frac{[L]}{[m]} = \frac{\text{kp m}}{\text{kg}}.$$

Gdyby dla oznaczenia siły i masy została wzięta ta sama jednostka kG, to dla obu wspomnianych wielkości otrzymałoby się wynik błędny  $[e] = [l] = \text{m}$ .

Opisany zbiór jednostek stosowanych jeszcze w termodynamice, a praktykowany w gliwickim ośrodku termodynamicznym od 1948 r. [2], znalazł zastosowanie w NRF [3] w czasie przejściowym przed ostatecznym przejściem do międzynarodowego układu SI.

Zbiór jednostek tradycyjnych nie jest koherentny, gdyż zawiera jednostki, które nie są spójne. Te jednostki są koherentne, które w równaniach definicyjnych występują w ilości 1.

I tak z równania (3a) wynika, że kpm, inert, m i s są koherentne, gdyż w równaniu (1) występują pojedynczo. Natomiast z równania

$$(12) \quad Q_f = AL_f,$$

podającego związek między pracą tarcia  $L_f$  kpm i ciepłem  $Q_f$  kcal, które z tej pracy powstało, wynika, że kpm i kcal nie są jednostkami koherentnymi.

Tych wad nie ma układ ciężarowy MkPS (metr-kilopond-sekunda) oraz międzynarodowy SI.

## 2. Równania wielkościowe. Koherentne układy jednostek

**2.1. Równanie wielkościowe.** W przypadku stosowania układów koherentnych równania przystosowane mogą być zastąpione przez równania wielkościowe, tj. takie równania, w których występują tylko wielkości fizyczne i liczby bezwymiarowe.

Równania przystosowane występujące w «Teorii maszyn cieplnych» [4] stają się wielkościowe, jeżeli opuści się w nich równoważniki, jak  $\mu$ ,  $A$  i inne. Zatem równania (6) i dalsze przedstawiają się następująco:

$$(6a) \quad G = mg$$

$$(7b) \quad \gamma = \varrho g$$

$$(8b) \quad E_k = m \frac{w^2}{2}$$

$$(9b) \quad E_p = mgH$$

$$(10a) \quad Q_{1-2} = U_2 - U_1 + L_{1-2}$$

$$(12a) \quad Q_f = L_f$$

Wzór na grubość filmu kondensatu spływającego pod własnym ciężarem po pionowe ścianie płaskiej ma postać równania przystosowanego [5]

$$(13) \quad y = \sqrt[4]{\frac{4\mu\lambda\eta(t_s - \vartheta)x}{gr\varrho^2}}$$

gdzie  $x$  jest odległością od początku filmu,  $\zeta$  i  $\eta$  oznaczają współczynniki przewodzenia i lepkości kondensatu,  $\varrho$  i  $r$  — gęstość kondensatu i jego ciepło parowania,  $(t_s - \vartheta)$  — spadek temperatury w filmie. Równaniu (13) odpowiada równanie wielkościowe

$$(13a) \quad y = \sqrt[4]{\frac{4\lambda\eta(t_s - \vartheta)x}{gr\varrho^2}}$$

w którym odpadł równoważnik  $\mu = 9,80665 \text{ kg/inert}$  (równ. (4a)).

A oto jeszcze jeden przykład. Prędkość dźwięku w gazie wyraża się za pomocą równania przystosowanego

$$(14) \quad a = \sqrt{\mu\kappa RT}$$

oraz wielkościowego

$$(14a) \quad a = \sqrt{\kappa RT}$$

Tablica 1. Główne jednostki międzynarodowego układu SI  
wg uchwały XI Generalnej Konferencji Miar i Wag (1960 r.)

Rodzaj jednostki	Lp.	Wielkość fizyczna	Nazwa jednostki miar	Skrót oznaczenia jednostki
1	2	3	4	5
Jednostki podstawowe	1	długość	metr	m
	2	masa	kilogram	kg
	3	czas	sekunda	s
	4	napięcie prądu elektrycznego	amper	A
	5	temperatura termodynamiczna	stopień Kelvina	grd K
	6	światłość	kandela	cd
Jednostki uzupełniające	1	kąt płaski	radian	rad
	2	kąt bryłowy	steradian	sr
Jednostki pochodne	1	pole powierzchni	metr kwadratowy	m <sup>2</sup>
	2	objętość	metr sześcienny	m <sup>3</sup>
	3	częstość	herc	Hz = $\frac{1}{s}$
	4	gęstość	kilogram na metr sześcienny	kg/m <sup>3</sup>
	5	prędkość	metr na sekundę	m/s
	6	prędkość kątowna	radian na sekundę	rad/s
	7	przyśpieszenie	metr na sekundę do kwadratu	m/s <sup>2</sup>
	8	przyśpieszenie kątowe	radian na sekundę do kwadratu	rad/s <sup>2</sup>
	9	siła	niuton	N
	10	ciśnienie (naprężenie mechaniczne)	niuton na metr kwadratowy	N/m <sup>2</sup>
	11	dynamiczny współczynnik lepkości	niutonosekunda na metr kwadratowy	Ns/m <sup>2</sup>
	12	kinematyczny współczynnik lepkości	metr kwadratowy na sekundę	m <sup>2</sup> /s
	13	praca, energia, ilość ciepła	dżul	J
	14	moc	wat	W = AV
	15	ilość elektryczności (ładunek)	kulomb	C = As
	16	napięcie elektryczne, różnica potencjałów, siła elektromotoryczna	wolt	$V = \frac{kg\ m^2}{A\ s^3}$
	17	napięcie pola elektrycznego	wolt na metr	$V/m = \frac{kg\ m}{A\ s^3}$
	18	opór elektryczny	om	$\Omega = \frac{kg\ m^2}{A^2\ s^3}$
	19	pojemność elektryczna	farad	$F = \frac{A^2\ s^4}{kg\ m^2}$
	20	strumień indukcji magnetycznej	weber	$Wb = \frac{kg\ m^2}{A\ s^2}$

c.d. tablicy 1

1	2	3	4	5
Jednostki pochodne	21	indukcyjność	henr	$H = \frac{\text{kg m}^2}{\text{A}^2 \text{s}^2}$
	22	indukcja magnetyczna	tesla	$T = \frac{\text{kg}}{\text{A s}^2}$
	23	nateżenie pola magnetycznego	amper na metr	A/m
	24	siła magnetoelektryczna	amper	A
	25	strumień świetlny	lumen	$\text{lm} = \text{cd} \cdot \text{sr}$
	26	luminancja (gęstość światłości)	kandela na metr kwadratowy	$\text{cd}/\text{m}^2$
	27	nateżenie oświetlenia	luks	$\text{lx} = \frac{\text{cd} \cdot \text{sr}}{\text{m}^2}$

z wyłączeniem  $\mu$ . W końcowych równaniach oznaczają:  $\kappa = c_p/c_v$  — wykładnik izentropy,  $R$  — stałą gazową środowiska,  $T$  — jego temperaturę.

Jak widać, równania wielkościowe są proste w swej postaci, a przez to bardziej przejrzyste i zrozumiałe.

**2.2. Układ ciężarowy MkPS.** Jeżeli ze zbioru jednostek tradycyjnych stosowanych w technice usunie się kcal oraz kg, to otrzyma się koherentny układ ciężarowy. Ma on następujące, główne jednostki podstawowe w dziedzinie mechaniki i termodynamiki

długość  $[d] = \text{m}$ , siła  $[F] = \text{kp}$ , czas  $[\tau] = \text{s}$ , temperatura  $[T] = [t] = \text{grad}$ .

Główne jednostki pochodne:

$$[A] = \text{m}^2, [V] = \text{m}^3, [w] = \text{m/s}, [a] = [g] = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}, [m] = \text{inert}, [L] = [Q] = \text{kp m}.$$

Jednostki tego układu są zebrane w tablicy 2.

**2.3. Międzynarodowy układ SI.** Układ SI liczy 6 jednostek podstawowych, 2 jednostki uzupełniające oraz 27 jednostek pochodnych (tablica 1). Układ ten należy do tzw. *układów masowych* dlatego, że jedną z jednostek podstawowych jest jednostka masy.

Jednostki podstawowe są niezależne od siebie i opierają się na wzorcach. Jest cechą znamioną, że z dawnych wzorców pozostał tylko kilogram jako wzorzec masy, inne jednostki mają wzorce, które pozwalają na znacznie większą dokładność pomiarów aniżeli wzorce dotychczasowe. Opis wzorców można znaleźć w nowszych publikacjach np. [7].

Do najważniejszych jednostek pochodnych należy jednostka siły, *niuton* N, która zgodnie z równaniem (1) masie 1 kg nadaje przyśpieszenie  $1 \text{ m/s}^2$ , zatem

$$(15) \quad [F] = 1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ s}^2}.$$

Ponieważ kilopond masie 1 kg nadaje przyśpieszenie  $g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$ , przeto między kp i N istnieje związek

$$(16) \quad 1 \text{ kp} = 9,80665 \text{ N} = \mu \text{N},$$

Tablica 2. Międzynarodowy układ jednostek SI  
Jednostki główne używane w mechanice i technice cieplnej

Lp.	Wielkość		Jednostki główne w układach			
	Nazwa	Oznaczenie	SI	MkPS	CGS	
I Wielkości geometryczne	1	kąt płaski	$\alpha, \beta, \gamma$	rad	rad	rad
	2	kąt bryłowy	$\omega, \Omega$	sr	sr	sr
	3	długość	$d, l, r$	m	m	cm
	4	pole powierzchni	$A$	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>
	5	objętość pomieszczenia	$V$	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
II Wielkości kinematyczne	6	czas	$\tau$	s	s	s
	7	częstotliwość	$\nu$	$\frac{1}{s} = \text{Hz}$	$\frac{1}{s} = \text{Hz}$	$\frac{1}{s} = \text{Hz}$
	8	prędkość kątowa	$\omega, \dot{n}_o$	$\frac{1}{s} = \frac{\text{rad}}{s}$	$\frac{1}{s} = \frac{\text{rad}}{s}$	$\frac{1}{s} = \frac{\text{rad}}{s}$
	9	przyśpieszenie kątowe	$\epsilon$	$\frac{1}{s^2} = \frac{\text{rad}}{s^2}$	$\frac{1}{s^2} = \frac{\text{rad}}{s^2}$	$\frac{1}{s^2} = \frac{\text{rad}}{s^2}$
	10	prędkość liniowa	$\left\{ \begin{array}{l} \text{bezwzględna} \\ \text{unoszenia} \\ \text{względna} \end{array} \right.$ $c$ $u$ $w$	$\frac{m}{s}$	$\frac{m}{s}$	$\frac{\text{cm}}{s}$
	11	objętość strumienia	$\dot{V}$	$\frac{m^3}{s}$	$\frac{m^3}{s}$	$\frac{\text{cm}^3}{s}$
	12	przyśpieszenie liniowe	$a$	$\frac{m}{s^2}$	$\frac{m}{s^2}$	$\text{Gl}^{(1)} = \frac{\text{cm}}{s^2}$
	13	kinematyczny współczynnik lepkości	$\nu$	$\frac{m^2}{s}$	$\frac{m^2}{s}$	$\text{St}^{(2)} = \frac{\text{cm}^2}{s}$
	14	masa (ilość substancji)	$m$	kg	$\text{inert} = \frac{\text{kp s}^2}{m}$	g
	15	gęstość	$\rho$	$\frac{\text{kg}}{m^3}$	$\frac{\text{inert}}{m^3} = \frac{\text{kp s}^2}{m^4}$	$\frac{g}{\text{cm}^3}$



16	objętość właściwa	$v$	$\frac{m^3}{kg}$	$\frac{m^3}{inert} = \frac{m^4}{kp \cdot s^2}$	$\frac{cm^3}{g}$
17	strumień substancji	$\dot{m}$	$\frac{kg}{s}$	$\frac{inert}{s} = \frac{kp \cdot s}{m}$	$\frac{g}{s}$
18	gęstość strumienia substancji	$\frac{\dot{m}}{A}$	$\frac{kg}{m^2 \cdot s}$	$\frac{inert}{s \cdot m^2} = \frac{kp \cdot s}{m^3}$	$\frac{g}{cm^2 \cdot s}$
19	sila, strumień pędu	$F, K$	$N = \frac{kg \cdot m}{s^2}$	$kp$	$dyna = \frac{g \cdot cm}{s^2}$
20	pęd	$m \cdot w$	$Ns = \frac{kg \cdot m}{s}$	$kps$	$dyna \cdot s = \frac{g \cdot cm}{s}$
21	obciążenie liniowe napiecie powierzchniowe	$F/l$	$\frac{N}{m} = \frac{kg}{s^2}$	$\frac{kp}{m}$	$\frac{dyna}{cm} = \frac{g}{s^2}$
22	ciśnienie, naprężenie	$p, \sigma$	$\frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}$	$\frac{kp}{m^2}$	$\mu bar = \frac{dyna}{cm^2} = \frac{g}{cm \cdot s^2}$
23	ciężar właściwy	$\gamma$	$\frac{N}{m^3} = \frac{kg}{m^2 \cdot s^2}$	$\frac{kp}{m^3}$	$\frac{dyna}{cm^3} = \frac{g}{cm^2 \cdot s^2}$
24	moment statyczny	$M$	$Nm = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$	$kp \cdot m$	$\frac{g \cdot cm^2}{s^2}$
25	moment bezwładności (masowy)	$I$	$kg \cdot m^2$	$inert \cdot m^2 = kp \cdot m \cdot s^2$	$g \cdot cm^2$
26	praca energia egzergia cieplo entalpia	$L$ $E, U$ $B$ $Q$ $I$	$J = Nm = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$	$kp \cdot m$	$erg = \frac{g \cdot cm^2}{s^2}$
27	energia jednostkowa cieplo spalania wartosc opalowa	$\frac{e}{W_g}$ $\frac{W_g}{W_d}$	$\frac{J}{kg} = \frac{m^2}{s^2}$	$\frac{kp \cdot m}{inert} = \frac{m^2}{s^2}$	$\frac{erg}{g} = \frac{cm^2}{s^2}$

III Wielkości statyczne i dynamiczne

VI Wielkości cieplne

Lp.	Wielkość		Jednostki główne w układach			
	Nazwa	Oznaczenie	SI	MkPS	CGS	
28	IV Wielkości cieplne	moc, strumień energii	$\dot{L}, N, \dot{E}$	$\frac{W}{s} = \frac{kg\ m^2}{s^3}$	$\frac{kp\ m}{s}$	$\frac{erg}{s} = \frac{g\ cm^2}{s^3}$
29		gęstość strumienia energii	$\dot{q}, \dot{e}$	$\frac{W}{m^2} = \frac{kg}{s^3}$	$\frac{kp}{m\ s}$	$\frac{erg}{s\ cm^2} = \frac{g}{s^3}$
30		dynamiczny współczynnik lepkości	$\eta$	$\frac{Ns}{m^2} = \frac{kg}{m\ s}$	$\frac{kp\ s}{m^2}$	$P^{(3)} = \frac{g}{cm\ s}$
31		temperatura $\left\{ \begin{array}{l} \text{względna} \\ \text{bezwzględna} \\ \text{przyrost} \end{array} \right.$	$t$ $T$ $\Delta t = \Delta t$	$^{\circ}C$ $^{\circ}K$ grd, (deg)	$^{\circ}C$ $^{\circ}K$ grd, (deg)	$^{\circ}C$ $^{\circ}K$ grd, (deg)
32		termiczny współczynnik rozszerzalności	$\beta$	$\frac{1}{grd}$	$\frac{1}{grd}$	$\frac{1}{grd}$
33		pojemność cieplna entropia	$W$ $S$	$\frac{J}{grd} = \frac{kg\ m^2}{s^2\ grd}$	$\frac{kp\ m}{grd}$	$\frac{erg}{grd} = \frac{g\ cm^2}{s^2\ grd}$
34		ciepło właściwe entropia właściwa stała gazowa	$c$ $s$ $R$	$\frac{J}{kg\ grd} = \frac{m^2}{s^2\ grd}$	$\frac{m^2}{s^2\ grd}$	$\frac{erg}{g\ grd} = \frac{cm^2}{s^2\ grd}$
35		współczynnik przewodzenia ciepła	$\lambda$	$\frac{W}{m\ grd} = \frac{kg\ m}{s^3\ grd}$	$\frac{kp}{s\ grd}$	$\frac{g\ cm}{s^3\ grd}$
36		współczynnik wnikania ciepła współczynnik przenikania ciepła	$\alpha$ $k$	$\frac{W}{m^2\ grd} = \frac{kg}{s^3\ grd}$	$\frac{kp}{m\ s\ grd}$	$\frac{g}{s^3\ grd}$

(1) G1 = gal. (2) St = stouks. (3) P = puaz.

czyli

$$(16a) \quad 1 \text{ N} = 0,101972 \text{ kp}.$$

Nowa jednostka siły jest ok. 1/10 częścią kiloponda.

Główną jednostką energii, egzergii, anergii <sup>(6)</sup>, pracy mechanicznej i ciepła jest

$$(17) \quad [E] = [B] = [A] = [L] = [Q] = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}.$$

Jednostka wymiarowa ( $\text{kgm}^2/\text{s}^2$ ) ma aż 3 nazwy: *niutonometr* Nm, *dżul* J, *watosekunda* Ws. Wymienione jednostki są znamionowe. Oczywiście

$$(18) \quad 1 \text{ Nm} = \frac{1}{\mu} \text{ kp m}.$$

Warto nadmienić, że ten sam równoważnik  $\mu$  odgrywa rolę również w jednostkach ciśnienia i naprężenia. Główna jednostka

$$(19) \quad 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pc} = \frac{1}{\mu} \frac{\text{kp}}{\text{m}^2}.$$

Jednostkę znamionową *paskal* oznacza się przez Pc lub Ps.

W praktyce stosowane będą jednostki większe. Np. jednostka wtórna

$$(20) \quad 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

jest nieco większa od atmosfery technicznej, gdyż  $1 \text{ bar} = 1,01972 \text{ at} = 1,01972 \text{ kp/cm}^2$ . Przy pomiarze małych ciśnień używana jest (w meteorologii) jednostka mbar =  $10^2$  Pc.

Dużym wstrząsem w termodynamice jest wyeliminowanie z użycia tradycyjnej kilokalorii. Jej miejsce zajmuje uniwersalna jednostka energii dżul. Nie trudno ustalić równoważnik dla międzynarodowej kilokalorii

$$(21) \quad \begin{aligned} 1 \text{ kcal}_{\text{IT}} &= 426,935 \text{ kp m} = 427,935 \cdot 9,80665 \text{ Nm}, \\ 1 \text{ kcal}_{\text{IT}} &= 4186,80 \text{ J} = 4,1868 \text{ kJ}. \end{aligned}$$

Nowa jednostka ciepła kilodżul kJ jest 4,187 razy mniejszą jednostką od kilokalorii. Jest rzeczą znamienną, że 1 kJ przedstawia tę ilość ciepła, jaką musi pochłonąć 1 kg powietrza, aby jego temperatura wzrosła o 1 grd pod stałym ciśnieniem.

Ze zmianą jednostki ciepła wiąże się zmiana jednostki strumienia (natężenia przepływu) ciepła. Wiadomo, że

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}, \quad \text{czyli} \quad 1000 \text{ Wh} = 860 \text{ kcal},$$

zatem

$$(22) \quad 1 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = \frac{1000}{860} \text{ W} = 1,1630 \text{ W}.$$

Dotąd używana jednostka strumienia ciepła jest większą od głównej jednostki mocy w układzie IS o około 16%.

<sup>(6)</sup> Istnieje zależność: energia = egzergia + anergia. Egzergię stanowi ta część energii, która przy współdziałaniu otoczenia w doskonałej maszynie mogłaby być zamieniona w pracę użyteczną.

W tablicy 2 zebrano wielkości najczęściej używane w mechanice i termodynamice. Uwzględniono tam jednostki trzech koherentnych układów jednostek miar: SI, MkpS i CGS.

W drugiej kolumnie tablicy 2 figurują nowe oznaczenia. Wśród nich znajdują się litery z kropką u góry. Wielkości te oznaczają pochodne względem czasu. Zatem:

$$\dot{n}_o = \frac{dn}{d\tau}, \quad \dot{m} = \frac{dm}{d\tau}, \quad \dot{V} = \frac{dV}{d\tau}, \quad \dot{L} = \frac{dL}{d\tau},$$

$$\dot{E} = \frac{dE}{d\tau}, \quad \dot{Q} = \frac{dQ}{d\tau}$$

oznaczają: częstość obrotów, strumień materii, objętość strumienia, moc mechaniczną, strumień energii i strumień ciepła.

### 3. Przeliczanie wartości liczbowych wielkości fizycznych

W czasie przejściowym, który poprzedzi wyłączenie stosowanie międzynarodowego układu SI, będzie zachodziła potrzeba przeliczania wartości liczbowych wielkości fizycznych, bowiem równania przystosowane należałoby bezwarunkowo natychmiast zarzucić na rzecz równań wielkościowych.

Przy przeliczeniach musi być znany równoważnik jednostki starej i nowej dla tej samej wielkości. Równoważnik może dotyczyć jednostek z dwu różnych układów (zbiorów) jednostek lub jednostek tego samego układu jednostek.

Przykłady równoważników pierwszego rodzaju są ujęte za pomocą równań (4a) i (5).

Natomiast drugi rodzaj równoważników dotyczy jednostek wtórnych, które otrzymuje się z jednostek głównych za pomocą odpowiednich przedrostków (tablica 3).

Tablica 3. Nazwy przedrostków do tworzenia nazw jednostek wtórnych <sup>(1)</sup>

Jednostki ułamkowe			Jednostki wielokrotne		
Przedrostek	skrót	10 <sup>n</sup>	Przedrostek	skrót	10 <sup>n</sup>
Decy	d <sup>(2)</sup>	10 <sup>-1</sup>	deka	da <sup>(2)</sup>	10
Centy (cent)	c	10 <sup>-2</sup>	hekto (hekt)	h	10 <sup>2</sup>
Mili	m	10 <sup>-3</sup>	kilo	k	10 <sup>3</sup>
Mikro	μ	10 <sup>-6</sup>	mega	M	10 <sup>6</sup>
Nano	n	10 <sup>-9</sup>	giga	G	10 <sup>9</sup>
Piko	p	10 <sup>-12</sup>	tera	T	10 <sup>12</sup>

<sup>(1)</sup> Zgodnie z uchwałą nr 12 XI Generalnej Konferencji Miar i Wąg, ustanawiającą międzynarodowy układ jednostek miar.

<sup>(2)</sup> Według Dziennika Urzędowego Głównego Urzędu Miar (Dziennik Ustaw z dnia 17 lipca 1953 r., nr 35, poz. 148) dla przedrostka decy przewidziany jest skrót dc, a dla przedrostka deka przewidziano skrót dk.

Równoważniki są wielkościami mianowanymi, których wartość liczbową jest równoważna jedności. Dlatego pomnożenie wielkości przez równoważnik nie zmienia jej, chociaż wartość liczbową jest inna, bowiem zgodnie z równaniem (11) zmniejszenie jednostki powoduje wzrost wartości liczbowej i na odwrót.

Tablica 4. Równoważniki jednostek naprężenia mechanicznego  $\sigma$  i  $\tau$  (oraz ciśnienia  $p$ )

Jednostka	Układ jednostek miar						Inne jednostki	
	SI			ciężarowy			atmosfera fizyczna	torr
	jedn. główna	wtórne jednostki praktyczne		jedn. główna	wtórne jednostki praktyczne		atm	Tr
	N/m <sup>2</sup>	bar	hbar = Hr	kp/m <sup>2</sup> = = kG/m <sup>2</sup>	kp/cm <sup>2</sup> = at	kp/mm <sup>2</sup>		
1 N/m <sup>2</sup>	1	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-7</sup>	0,101972	1,01972 · 10 <sup>-5</sup>	1,01972 · 10 <sup>-7</sup>	9,86923 · 10 <sup>-6</sup>	7,50062 · 10 <sup>-3</sup>
1 bar	10 <sup>5</sup>	1	10 <sup>-2</sup>	10197,2	1,01972	0,0101972	0,986923	750,062
1 hbar = 1 Hr	10 <sup>7</sup>	10 <sup>2</sup>	1	1 019 720	101,972	1,01972	98,6923	75006,2
1 $\frac{\text{kp}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kG}}{\text{m}^2}$	9,80665	9,80665 · 10 <sup>-5</sup>	9,80665 · 10 <sup>-7</sup>	1	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-6</sup>	9,67841 · 10 <sup>-5</sup>	0,0735559
1 $\frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = 1 \text{ at}$	98 066,5	0,980665	9,80665 · 10 <sup>-3</sup>	10 <sup>4</sup>	1	10 <sup>-2</sup>	0,967841	735,559
1 $\frac{\text{kp}}{\text{mm}^2} = 1 \frac{\text{kG}}{\text{mm}^2}$	9 806 650	98,0665	0,980665	10 <sup>6</sup>	10 <sup>2</sup>	1	96,7841	73555,9
1 atm	101 325	1,01325	0,0101325	10 332,27	1,033227	0,01033227	1	760
1 Tr	133,3224	1,333224 · 10 <sup>-3</sup>	1,333224 · 10 <sup>-5</sup>	13,59510	13,59510 · 10 <sup>-6</sup>	13,59510 · 10 <sup>-6</sup>	1,315789 · 10 <sup>-3</sup>	1

151

Tablica 5. Równoważniki jednostek energii  $E$ , pracy  $L$  i ciepła  $Q$

Jednostka	Układ jednostek miar			Inne jednostki stosowane w technice		
	SI		ciężarowy			
	J = Ws = Nm	kJ	kp m	kcal <sub>IT</sub>	kWh	KMh
1 J = 1 Nm = 1 Ws	1	10 <sup>-3</sup>	0,101972	2,38846 · 10 <sup>-4</sup>	2,77778 · 10 <sup>-7</sup>	3,77673 · 10 <sup>-7</sup>
1 kJ	10 <sup>3</sup>	1	101,972	0,238846	2,77778 · 10 <sup>-4</sup>	3,77673 · 10 <sup>-4</sup>
1 kp m	9,80665	9,80665 · 10 <sup>-3</sup>	1	2,34228 · 10 <sup>-3</sup>	2,72407 · 10 <sup>-6</sup>	3,70370 · 10 <sup>-6</sup>
1 kcal <sub>IT</sub>	4186,80	4,18680	426,9347	1	1,16300 · 10 <sup>-3</sup>	1,58124 · 10 <sup>-3</sup>
1 kWh	3,6 · 10 <sup>6</sup>	3600	367 097,8	859,8452	1	1,35962
1 KMh	2 647 796	2647,796	2,7 · 10 <sup>5</sup>	632,416	0,73549875	1

Operację przeliczania najlepiej pokazać na *przykładzie*. Siłę  $F = 545$  kp wyrazić za pomocą jednostek układu SI i CGS. Przy użyciu równoważnika (16)

$$F = 545 \text{ kp} \frac{\text{N} \mu}{\text{kp l}} = 545 \cdot 9,80665 \text{ N} = 5340 \text{ N},$$

$$F = 5340 \text{ N} \frac{\text{daN l}}{\text{N 10}} = 534 \text{ daN}.$$

Jeżeli chodzi o obliczenie ilości dyn, to

$$F = 5340 \text{ N} = 5340 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \frac{\text{cm } 10^2}{\text{m l}} \frac{\text{g } 1000}{\text{kg l}},$$

$$F = 5340 \cdot 10^5 \text{ g} \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} = 534 \cdot 10^6 \text{ dyn}.$$

W tablicy 4 podano równoważniki jednostek ciśnienia i naprężenia mechanicznego. Natomiast tablica 5 zawiera równoważniki jednostek energii, pracy, ciepła. W obszerniejszych publikacjach [7] znajdują się przeliczniki ułatwiające operacje liczbowe.

#### 4. Jednostki znamionowe w mechanice i wytrzymałości materiałów

Wprowadzenie układu SI do mechaniki nie spowoduje wielkich zmian. Żadne zmiany nie zajdą w dziedzinie wielkości geometrycznych i kinematycznych (tablica 2) bowiem jednostki tych wielkości są takie same, zarówno w zbiorze tradycyjnym, jak też w układach MkpS i SI.

Dopiero w dziedzinie statyki i dynamiki wystąpią zasadnicze zmiany, gdyż tradycyjna jednostka siły kilopond zostanie zastąpiona przez niuton. W związku z tym jednostki główne tych wielkości, które w układzie SI zawierają kg lub N są  $\mu$  razy mniejsze od odpowiednich jednostek głównych układu ciężarowego, zawierających inert lub kp. Dlatego wartości liczbowe po zastosowaniu układu SI są  $\mu$  razy większe.

Z równoważnika

$$(23) \quad 1 \text{ daN} = 10 \text{ N} = 1,01972 \text{ kp}$$

wynika, że wartość liczbową siły po zastosowaniu układu SI niewiele się zmieni, jeżeli zastosuje się jednostkę wtórną, dekaniuton. Wszędzie, gdzie dopuszczalny jest błąd 2% można używać dawnych wartości liczbowych stosując nową jednostkę daN.

Obciążenie mostów (i dźwigów) wyraża się za pomocą *tony-siły*

$$1 \text{ T} = 10^3 \text{ kG} = 1 \text{ MG} = 1 \text{ Mp}.$$

Jednostka ta jest około  $10^4$  razy większa od niutona. Po zastosowaniu układu SI wartości liczbowe wspomnianego obciążenia zmniejszą się o niecałe 2%, jeżeli wyrazi się je za pomocą mirianiuтона

$$(24) \quad 1 \text{ mrN} = 10^4 \text{ N} = 1,01972 \text{ T}.$$

Ponieważ przedrostek miria został wycofany na Generalnej Konferencji Miar i Wag (1960 r.), przeto proponowaną jednostkę możnaby nazwać np.

$$(25) \quad 1 \text{ ban} = 1 \text{ B} = 1,01972 \text{ T}$$

od nazwiska wybitnego uczonego BANACHA. Tabliczki znamionowe na mostach i dźwignicach przy niezmienniej wartości liczbowej zamiast litery T otrzymałyby znak B.

W nauce o wytrzymałości materiałów naprężenie styczne  $\tau$  i normalne  $\sigma$  wyraża się za pomocą kilograma-siły (kiloponda) i  $\text{mm}^2$  jako jednostki pola przekroju

$$(26) \quad [\tau] = [\sigma] = \frac{\text{kG}}{\text{mm}^2} = \frac{\text{kp}}{\text{mm}^2}.$$

Jak wynika z tablicy 4 jednostka tradycyjna  $\text{kG/mm}^2$  jest około  $10^7$  razy większa od jednostki głównej ciśnienia  $\text{N/m}^2$  w układzie SI. Mimo to w obliczeniach wytrzymałościowych będzie można korzystać z dotychczasowych wartości liczbowych naprężeń, podanych w katalogach i tablicach, jeżeli użyje się jednostki wtórnej

$$(27) \quad 1 \text{ hbar} = 10^2 \text{ bar} = 10^7 \text{ N/m}^2 = 1,01972 \text{ kG/mm}^2.$$

Tę nową jednostkę możnaby nazwać np. *huberem* dla uczczenia zasług M. HUBERA

$$(27a) \quad 1 \text{ huber} = \text{Hr} = 10^7 \text{ N/m}^2 = 1,01972 \text{ kG/mm}^2.$$

Ta sama różnica wystąpi między barem i  $\text{kp/cm}^2 = \text{kG/cm}^2$

$$(20a) \quad 1 \text{ bar} = 1,01972 \text{ kG/cm}^2$$

używany przy wyznaczaniu wielkości modułu Younga.

Przy wyznaczaniu momentu statycznego sił należałoby — po przyjęciu układu SI — dotąd stosowaną jednostkę  $\text{kGcm} = \text{kpcm}$  zastąpić decyniutonometrem, gdyż

$$(28) \quad 1 \text{ dNm} = \frac{1}{10} \text{ Nm} = \frac{\text{kp} \cdot 1}{\text{N} \cdot 9,80665} \frac{\text{cm} \cdot 100}{\text{m} \cdot 1} = 1,01972 \text{ kp cm}.$$

Tu również można by zastosować odpowiednią jednostkę znamionową, np. Tim ze względu na zasługi TIMOSZENKI.

Z tych ostatnich równań wynika, że jednostki układu SI, zastosowane w nauce o wytrzymałości materiałów, są o około 2% większe od jednostek tradycyjnych. W związku z tym wartości liczbowe wielkości używanych w tej nauce będą nieco mniejsze. W praktycznych obliczeniach dopuszczalne jest stosowanie dotychczasowych wartości liczbowych.

Po przejściu do układu SI będzie potrzebna nieznaczna przeróbka maszyn wytrzymałościowych, jeżeli na istniejącej skali zastąpi się  $\text{kG} = \text{kp}$  przez  $\text{daN}$  (dekaniuton) [równ. 23)].

## 5. Zalety układu międzynarodowego SI

Układ SI jest układem spójnym, tzn. jego jednostki główne mogą być wprost używane w równaniach wielkościowych.

Dzięki wprowadzeniu w układzie SI niutona niezależnie od kilograma-masy unika się pomieszania takich pojęć, jak gęstość i ciężar właściwy.

Zastosowanie jednej jednostki dżuła dla energii oraz pracy i ciepła pozwala na wyrugowanie kilokalorii, która jest jednostką wieloznaczną ( $\text{kcal}_{15}$ ,  $\text{kcal}_{20}$ ,  $\text{kcal}_{IT}$  i in.).

Układ SI ma odpowiednio wielkie jednostki główne i wtórne (kg, bar, kJ, kW) do praktycznego zastosowania.

Duże pokrewieństwo układów masowych SI i CGS ułatwia szybkie porozumienie między technikami i fizykami.

Układ SI jest układem uniwersalnym dotyczącym wszystkich dziedzin życia naukowego i gospodarczego. Uniwersalność ta ułatwia współpracę naukowców i techników z różnych dziedzin wiedzy (elektrotechnika, magnetyzm, fotometria, mechanika, energetyka cieplna i jądrowa i in.). Pomost ten jest bardzo korzystny w wieku reaktorów jądrowych i podróży kosmicznych.

Wymienione zalety są tak duże, że wiele krajów i instytucji wypowiedziało się za przyjęciem układu SI.

Sprawa legalizacji układu SI najdalej posunięta jest w ZSRR, gdzie komitet norm, miar i przyrządów mierniczych przy Radzie Ministrów zatwierdził normę GOST 9867-61, którą wprowadzono układ SI do powszechnego użytku z dniem 1.I.1963 r.

Układ SI został zalegalizowany również we Francji, w Niemieckiej i Węgierskiej Republice Demokratycznej. Kraje anglosaskie żywo interesują się nowym układem jednostek; w Anglii zapadła uchwała przejścia do systemu metrycznego. Powodem tego jest korzystna relacja dla jednostki ciepła

$$(29) \quad 1 \text{ BTU} = 1,05506 \text{ kJ}.$$

W tym samym kierunku podążają Unia Południowo-Afrykańska, Australia i Nowa Zelandia.

Za przyjęciem i stosowaniem układu SI wypowiedziały się: Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ISO), Międzynarodowy Związek Fizyki Teoretycznej i Stosowanej (IUPAP), Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (IEC), Międzynarodowy Komitet Metrologii, nadto Rada Naukowa VDI i kolegia redakcyjne wielu czasopism technicznych.

W Polsce na mocy rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 1.VII.1953 r. (Dz.U.P.R.L. Nr 35, poz. 148) niektóre jednostki układu międzynarodowego (N, Pc, bar, J, W) zostały wysunięte na pierwsze miejsce. Ale rozporządzenie to dopuszcza stosowanie jeszcze jednostek układu tradycyjnego (kG zwanego kP,  $\text{kcal}_{15}$ , at, Tr i tp.). Dopóki rozporządzenie to nie zostanie zmienione, dopóty układ międzynarodowy SI nie osiągnie pełnych praw obywatelskich.

Moim zdaniem zwlekanie z zatwierdzeniem projektu nowego Rozporządzenia Rady Ministrów, w którym za legalne uważa się jednostki układu SI, nie przynosi korzyści ani szkołom ani przemysłowi. Polska dzisiaj stanowi wyspę, w której niewiele zrobiło się w kierunku legalizacji układu SI. Nowe publikacje zagraniczne i niektóre w kraju opierają się na układzie SI i są zrozumiałe tylko dla ludzi odpowiednio przeszkolonych. Obawa przemysłu przed układem SI nie jest uzasadniona, gdyż chwila wyłącznego stosowania go musi być poprzedzona odpowiednimi przygotowaniem. Czas przejściowy będzie tym krótszy, im więcej będzie zwolenników nowego układu. Dlatego nauka układu SI jest niezbędna zarówno w szkołach, jak też na kursach doszkalających.



## Literatura cytowana w tekście

1. W. NUSSELT, *Termodynamika techniczna*, Bratnia Pomoc Pol. Śl., tłum. S. Ochęduszek, Gliwice 1948.
2. S. OCHĘDUSZKO, *Termodynamika stosowana*, WNT, 1964.
3. E. SCHMIDT, *Einführung in die technische Thermodynamik*, w. 8, Springer Verlag, 1960.
4. S. OCHĘDUSZKO, *Teoria maszyn cieplnych*, cz. I, II i III, PWT.
5. S. OCHĘDUSZKO, *Teoria maszyn cieplnych*, cz. III, 1955, równ. L, 83.
6. S. OCHĘDUSZKO, *Teoria maszyn cieplnych*, cz. I, w. 2, PWT, równ. XXX, 15c.
7. H. GÓRNIK, W. GUNDLACH, S. OCHĘDUSZKO, *Zastosowanie międzynarodowego układu jednostek miar w energetyce cieplnej*, PWN, 1965.

## Резюме

### ИЗМЕНЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ В МЕХАНИКЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМОЙ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ

На фоне применяемых до сих пор формул и единиц так наз. технической (традиционной) системы, показаны выгоды международной системы единиц измерения СИ. Новая система основывается на шести основных единицах, двух дополнительных и 27 производных единицах (таблица 1). Главным ее достоинством является когерентность главных единиц, что дает возможность применения физических уравнений. Кроме того эта система универсальна в любой области знания.

Для облегчения технических расчетов, в 2 табл. приводятся физические величины, употребляемые в технике и термодинамике, с учетом трех когерентных систем единиц (СИ, Мк ГС, ЦГС).

Дальнейшие таблицы 4 и 5 содержат эквиваленты облегчающие вычисление числовых значений величин из области механических напряжений и энергии.

Автор выступил с некоторыми предложениями, касающимися названий номинальных единиц, применяемых в механике и в сопротивлении материалов.

В переходной период, перед окончательным введением системы в экономическую жизнь страны — следовало бы применять физические уравнения и традиционные единицы, основанные на эквиваленте единиц массы

$$1 \frac{\text{kp}}{\text{m}} \text{ s}^2 = 1 \text{ инерт} = \mu \text{ kg} = 9,80665 \text{ kg}.$$

Единица инерт, когерентна с килопондом, составляющим главную единицу обсуждаемого множества.

## Summary

### CHANGES IN THE MECHANICS CAUSED BY THE INTERNATIONAL MEASURING UNITS SYSTEM

The advantages of the international measuring units system SI are shown on the basis of adapted equations, now in use, and of the so-called technical (traditional) units system. The new system consists of six basic units, two complementary units, and twenty seven derived units (Table 1). The main advantage of the system is the coherence of basic units. This enables to use the quantitative equations. Also, the new system is universal, i.e. it may be applied in any branch of science.

Table 2 presents the physical quantities, used in mechanics and thermodynamics, in three units systems (SI, MkPS, and CGS). This may help to carry out the technical computations.

Tables 4 and 5 contain the equivalents for calculating the numerical values of mechanical stresses and energy.

The author advances some suggestions concerning the names of nominal units used in mechanics and strength of materials.

The quantitative equations and traditional units based on the equivalent of mass units

$$1 \frac{\text{kp}}{\text{m}} \text{ s}^2 = 1 \text{ inert} = \mu \text{ kg} = 9.80665 \text{ kg}$$

should be used before the system SI is universally introduced in the country.

The unit inert and kilopond, the basic unit in the discussed system, are coherent.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

*Praca została złożona w Redakcji dnia 3 grudnia 1965 r.*

---