

# JEDNOSTKI MIAR NAJCZĘŚCIEJ STOSOWANE W TECHNICIE SMAROWNICZEJ



Obowiązującym systemem miar jest Międzynarodowy Układ Jednostek Miar (układ SI), jednak w zakresie techniki paliwowo-smarowniczej są również stosowane inne układy miar, np. angielski, amerykański, a także inne tradycyjne, np. układ: centymetr, gram, sekunda (CGS). Podane dalej zależności pozwalają na wzajemne przeliczenia najczęściej stosowanych jednostek, w szczególności na jednostki układu SI.

## 23.1. Międzynarodowy Układ Jednostek Miar SI

Międzynarodowy Układ Jednostek Miar SI jest oparty na siedmiu, niezależnych jednostkach podstawowych oraz dwóch jednostkach uzupełniających: radian i steradian, przedstawionych w tabeli 23.1. Zostały one zdefiniowane i bardziej szczegółowo omówione w kolejnych rozdziałach. Podano również wybrane jednostki pochodne SI, o nazwach specjalnych nadanych przez Generalną Konferencję Miar oraz wybrane jednostki pochodne, które są wyrażane za pomocą jednostek SI. Pochodne jednostki miar SI o nazwach specjalnych są tworzone z jednostek podstawowych, na podstawie zależności fizycznych między odpowiednimi wielkościami.

Podano również nazwy, definicje i oznaczenia wybranych jednostek, nie należących do układu SI, ale dopuszczonych do stosowania w Polsce [2].

Jednostki nie należące do tych zbiorów jednostek nie są w Polsce jednostkami legalnymi.

Jednostki miar są stosowane wraz z przedrostkami, oznaczającymi potęgę liczby 10, określonymi w tabeli 23.2. Takie jednostki są nazywane odpowiednio: wielokrotnością lub podwielokrotnością. Nazwy i oznaczenia wielokrotności i podwielokrotności wynikają z tradycji. Dołącza się je do nazwy jednostki SI, a także jednostek złożonych, umieszczając bezpośrednio przed nazwą jednostki miary, bez przerwy oddzielającej lub jakiegokolwiek innego znaku.

**Tabela 23.1** Podstawowe i uzupełniające jednostki Międzynarodowego Układu Jednostek Miar (SI)

Wielkość	Jednostki miary	
	Nazwa	Oznaczenie
Długość	metr	m
Masa	kilogram	kg
Czas	sekunda	s
Prąd elektryczny	amper	A
Temperatura termodynamiczna	kelwin	K
Liczność materii	mol	mol
Światłość	kandela	cd
Kąt płaski	radian	rad
Kąt bryłowy	steradian	sr

**Tabela 23.2** Oznaczenia i nazwy przedrostków wielokrotności i podwielokrotności, w układzie SI

Nazwa	Oznaczenie	Mnożnik
jotta	Y	$10^{24}$
zetta	Z	$10^{21}$
eksa	E	$10^{18}$
peta	P	$10^{15}$
tera	T	$10^{12}$
giga	G	$10^9$
mega	M	$10^6$
kilo	k	$10^3$
hekto	h	$10^2$
deka	da	10
decy	d	$10^{-1}$
centy	c	$10^{-2}$
mili	m	$10^{-3}$
mikro	$\mu$	$10^{-6}$
nano	n	$10^{-9}$
piko	p	$10^{-12}$
femto	f	$10^{-15}$
atto	a	$10^{-18}$
zepto	z	$10^{-21}$
jokto	y	$10^{-24}$

Oznaczeń i przedrostków, wymienionych w tabeli 23.2 nie stosuje się do stopnia Celsjusza [°C] oraz jednostek czasu.

## 23.2 Długość

Podstawową jednostką długości w układzie SI jest metr.

**Metr** – jest to długość drogi przebytej w próżni przez światło w czasie 1/299 792 458 sekundy.

W technice paliwowo-smarowniczej niekiedy są stosowane angielskie jednostki długości:

- cal (*inch*) [in], [1"]; 1" = 25,4 mm =  $25,4 \cdot 10^{-3}$  m,
- stopa (*foot*) [ft], [1']; 1 ft = 12 in = 0,304 8 m,
- jard (*yard*) [yd]; 1 yd = 3 ft = 0,914 4 m.

Zależności umożliwiające wzajemne przeliczenie wybranych jednostek długości podano w tabeli 23.3.

**Tabela 23.3 Przeliczanie jednostek długości**

	metr	in (cal = 1")	ft (stopa = 1')	yd (jard)
metr	1	39,370	3,280 8	1,093 6
in	$25,4 \cdot 10^{-3}$	1	$83,333 \cdot 10^{-3}$	$27,778 \cdot 10^{-3}$
ft	0,304 8	12	1	0,333 33
yd	0,914 4	36	3	1

### 23.3 Pole powierzchni (powierzchnia)

Podstawową jednostką pola powierzchni w układzie SI jest: metr kwadratowy ( $m^2$ ). Jest to jednostka pochodna metra.

metr kwadratowy	$m^2$	$1 m^2 = 1 m \cdot 1 m$	$1 m^2$
-----------------	-------	-------------------------	---------

Niekiedy są stosowane angielskie jednostki miar powierzchni:

- cal kwadratowy (*square inch*), [ $in^2$ ];  $1 in^2 = 0,645 16 \cdot 10^{-3} m^2$ ,
- stopa kwadratowa (*square foot*), [ $ft^2$ ];  $1 ft^2 = 144 in^2$ ;  
 $1 ft^2 = 92,903 \cdot 10^{-3} m^2$ ,
- jard kwadratowy (*square yard*), [ $yd^2$ ];  $1 yd^2 = 9 ft^2$ ;  
 $1 yd^2 = 0,836 13 m^2$ .

Zależności umożliwiające wzajemne przeliczenia wybranych jednostek powierzchni podano w tabeli 23.4.

### 23.4 Objętość

Podstawową jednostką miary objętości w układzie SI jest metr sześcienny [ $m^3$ ]. Jest to jednostka pochodna metra. Jednostką objętości dopuszczoną do stosowania, ale nie należącą do układu SI jest litr [l, L]. Jednostka ta jest stosowana do wyrażania objętości ciał ciekłych i sypkich.

metr sześcienny	$m^3$	$1 m^3 = 1 m \cdot 1 m \cdot 1 m$	$1 m^3$
*litr	l, L	$1 l = 1 dm^3 = 10^{-3} m^3$	

W technice paliwowej i smarowniczej są niekiedy stosowane angielskie i amerykańskie jednostki objętości:

- cal sześcienny (*cubic inch*) [ $in^3$ ];  $1 in^3 = 16,387 \cdot 10^{-6} m^3$ ,
- stopa sześcienna (*cubic foot*) [ $ft^3$ ];  $1 ft^3 = 1728 in^3$ ;  
 $1 ft^3 = 28,317 \cdot 10^{-3} m^3$ ,
- jard sześcienny (*cubic yard*) [ $yd^3$ ];  $1 yd^3 = 27 ft^3$ ;  
 $1 yd^3 = 0,764 56 m^3$ ,
- \*galon angielski (*imperial gallon, galon*) [Imp. gal];  
 $1 Imp. gal = 4,546 l$ ,
- \*galon amerykański (*US gallon*) [US-gal];  $1 US-gal = 3,785 4 l$ ,
- \*baryłka (beczka) angielska (*imperial barrel; barrel*) [bbl];  
 $1 bbl = 36 imp. gal$ ;  $1 bbl = 0,15899 \cdot 10^3 l$ ,
- \*baryłka (beczka) amerykańska (*US barrel*) [US-bbl];  
 $1 US-bbl = 42 US-gal = 1,5898 \cdot 10^3 l$ .

**Tabela 23.4 Przeliczanie jednostek powierzchni**

	$m^2$	$in^2$	$ft^2$	$yd^2$
$m^2$	1	1,550 0	10,764	1,196 0
$in^2$	$0,645 16 \cdot 10^{-3}$	1	$6,944 4 \cdot 10^{-3}$	$0,771 61 \cdot 10^{-3}$
$ft^2$	$92,903 \cdot 10^{-3}$	144	1	0,111 11
$yd^2$	0,836 13	$1,296 \cdot 10^3$	9	1

**Tabela 23.5 Przeliczanie jednostek objętości**

	$m^3$	$in^3$	$ft^3$	$yd^3$	Imp. gal	US-gal
$m^3$	1	$61,024 \cdot 10^3$	35,315	1,308 0	219,97	264,17
$in^3$	$16,387 \cdot 10^{-6}$	1	$0,578 70 \cdot 10^{-3}$	$21,434 \cdot 10^{-6}$	$3,604 6 \cdot 10^{-3}$	$4,329 0 \cdot 10^{-3}$
$ft^3$	$28,317 \cdot 10^{-3}$	$1,728 \cdot 10^3$	1	$37,037 \cdot 10^{-3}$	6,228 8	7,480 5
$yd^3$	0,764 56	$46,656 \cdot 10^3$	27	1	168,18	201,97
Imp. gal	$4,546 1 \cdot 10^{-3}$	277,42	0,160 54	$5,946 1 \cdot 10^{-3}$	1	1,201
US-gal	$3,785 4 \cdot 10^{-3}$	231	0,133 68	$4,951 1 \cdot 10^{-3}$	0,832 68	1

**Tabela 23.6 Przeliczanie jednostek masy**

	kg	funt [lb]	uncja [oz]
kg	1	2,204 6	35,274
lb	0,453 59	1	16
oz	$28,349 \cdot 10^{-3}$	112	1

**UWAGA** Jednostki objętości oznaczone \* są stosowane tylko do materiałów płynnych i sypkich.

Zależności umożliwiające wzajemne przeliczenia wybranych jednostek objętości podano w tabeli 23.5.

### 23.5 Masa

Masa jest to wielkość charakteryzująca substancje, służy ona do ilościowego opisu ich bezwładności; jest miarą ilości materii. Podstawową jednostką miary masy w układzie SI jest kilogram [kg].

**Kilogram** – jest to jednostka masy, równa masie międzynarodowego prototypu kilograma, przechowywanego w Międzynarodowym Biurze Miar (Bureau International des Poids et Mesures – BIPM) w Severs (Francja).

Prototypem kilograma jest walec o średnicy równej jego wysokości, wykonany ze stopu platyny {90 %( $m/m$ )} z irydem {10% ( $m/m$ )}.

Tradycyjnie wielokrotności i podwielokrotności jednostek masy są tworzone przez dodawanie przedrostków do jednostki stanowiącej  $1/1000 kg = 1 g$ .

Jako dodatkowa jednostka masy jest dopuszczona tona [t], zwana także toną metryczną (*metric ton*), przy czym:

$$1 t = 1 Mg = 10^3 kg$$

Niekiedy są stosowane angielskie handlowe jednostki miar masy:

- funt (*pound*) [lb];  $1 lb = 0,453 59 kg$ ,
  - uncja (*ounce*) [oz];  $1 oz = 1/16 lb$ ;  $1 oz = 28,350 \cdot 10^{-3} kg$ .
- Zależności umożliwiające wzajemne przeliczenia wybranych jednostek masy podano w tabeli 23.6.

**UWAGA** Należy odróżniać masę od ciężaru, który jest pojęciem oznaczającym siłę. Masa może być mierzona z użyciem wagi z odważnikami. Nie może być mierzona z zastosowaniem wagi sprężynowej.

### 23.6 Czas

Podstawową jednostką miary czasu w układzie SI jest sekunda [s].

**Sekunda** – jest to czas równy 9 192 631 770 okresom promieniowania odpowiadającego przejściu między dwoma nadsubtelny-mi poziomami stanu podstawowego atomu cezu 133.

Jednostkami miary czasu dopuszczonymi do stosowania, ale nie należącymi do układu SI są:

- minuta [min];  $1 min = 60 s$
- godzina [h];  $1 h = 60 min = 3 600 s$
- doba [d];  $1 d = 24 h = 86 400 s$
- rok (zwrotnikowy) [r,a];  $1 r \approx 31 556 926 s$

### 23.7 Prąd elektryczny

Podstawową jednostką miary prądu elektrycznego, zwanego również natężeniem prądu elektrycznego, w układzie SI jest amper [A].

**Amper** – jest to prąd elektryczny nie zmieniający się, który płynie w dwóch równoległych, prostoliniowych i nieskończenie długich przewodach o przekroju kołowym, znikomo małym, umieszczonych w próżni w odległości 1 m od siebie wywołuje między tymi przewodami siłę  $2 \cdot 10^{-7}$  niutona, na każdy metr długości.

### 23.8 Temperatura

Podstawową jednostką miary temperatury termodynamicznej w układzie SI jest kelwin [K].

**Kelwin** – jest to  $1/273,16$  temperatury termodynamicznej potrójnego punktu wody.

Stopień Celsjusza jest nazwą specjalną jednostki kelwin, przeznaczoną do wyrażania wartości temperatury Celsjusza, przy czym:

$$1^{\circ}\text{C} = 1 \text{ K}$$

Zależność między wartościami liczbowymi temperatury  $t$ , wyrażonej w  $^{\circ}\text{C}$  i temperatury  $T$ , wyrażonej w K jest następująca:

$$t = T - 273,15$$

W niektórych krajach jest stosowana jednostka temperatury – stopień Fahrenheita [ $^{\circ}\text{F}$ ].

Między temperaturą wyrażaną w stopniach Celsjusza i stopniach Fahrenheita są następujące zależności:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{1,8}$$

$$^{\circ}\text{F} = 1,8 \cdot ^{\circ}\text{C} + 32,$$

$$1^{\circ}\text{F} = (5/9)^{\circ}\text{C} = (5/9) \text{ K} = 0,556 \text{ K}.$$

Charakterystyczne punkty do wyznaczania jednostek temperatury oraz zależności między tymi jednostkami podano w tabeli 23.7.

### 23.9 Liczność materii

Podstawową jednostką miary liczności materii w układzie SI jest mol [mol].

**Mol** – jest to liczność materii układu zawierającego liczbę cząstek równą liczbie atomów zawartych w masie 0,012 kilograma węgla 12.

Tabela 23.8 Jednostki stosowane do określania liczności materii

Wielkość	Nazwa	Oznaczenie	Relacje definiujące	Wyrażanie za pomocą jednostek podstawowych Uwagi
Masa molowa	kilogram na mol	kg/mol	$1 \text{ kg/mol} = 1 \text{ kg} : 1 \text{ mol}$	$1 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$
Molarność	mol na kilogram	mol/kg	$1 \text{ mol/kg} = 1 \text{ mol} : 1 \text{ kg}$	$1 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{mol}$
Ułamek molowy	jedność	1	$1 \text{ mol} : 1 \text{ mol}$	
Ułamek masowy	jedność	1	$1 \text{ kg} : 1 \text{ kg}$	Wyrażany również w $\%(m/m)$
Ułamek objętościowy	jedność	1	$1 \text{ m}^3 : 1 \text{ m}^3$	Wyrażany również w $\%(V/V)$
Objętość molowa	metr sześcienny na mol	$\text{m}^3/\text{mol}$	$1 \text{ m}^3/\text{mol} = 1 \text{ m}^3 : 1 \text{ mol}$	$1 \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
	litr na mol	l/mol L/mol	$1 \text{ l/mol} = 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$	
Stężenie molowe	mol na metr sześcienny	$\text{mol}/\text{m}^3$	$1 \text{ mol}/\text{m}^3 = 1 \text{ mol} : 1 \text{ m}^3$	$1 \text{ m}^{-3} \cdot \text{mol}$
	mol na litr	mol/l mol/L	$1 \text{ mol/l} = 10^3 \text{ mol}/\text{m}^3$ $1 \text{ mol/L} = 10^3 \text{ mol}/\text{m}^3$	
Stężenie masowe	kilogram na metr sześcienny	$\text{kg}/\text{m}^3$	$1 \text{ kg}/\text{m}^3 = 1 \text{ kg} : 1 \text{ m}^3$	$1 \text{ m}^{-3} \cdot \text{kg}$
	kilogram na litr	kg/l kg/L	$1 \text{ kg/l} = 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$ $1 \text{ kg/L} = 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$	

Tabela 23.7 Punkty stałe (definiujące) i charakterystyczne skal temperatury

Stan fizyczny	Temperatura termodynamiczna	Temperatura Celsjusza	Temperatura Fahrenheita
Zero absolutne	0 K	$-273,15^{\circ}\text{C}$	$-459,67^{\circ}\text{F}$
–	233,26 K	$-40^{\circ}\text{C}$	$-40^{\circ}\text{F}$
Temperatura mieszaniny śniegu z salmiakiem ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )	255,372 K	$-17,778^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{F}$
Temperatura krzepnięcia wody	273,15 K	$0^{\circ}\text{C}$	$32^{\circ}\text{F}$
Temperatura punktu potrójnego wody	273,16 K	$0,01^{\circ}\text{C}$	$32,018^{\circ}\text{F}$
Temperatura wrzenia wody	373,15 K	$100^{\circ}\text{C}$	$212^{\circ}\text{F}$

Przy stosowaniu mola jest niezbędne określenie rodzaju cząstek, np.: atomy, cząstki (drobiny), jony, elektrony itp.

Do określania liczności materii są także stosowane jednostki zdefiniowane w tabeli 23.8

Często stosowaną jednostką liczności materii są ułamki masowe:

- część na milion (*part per milion*) [ppm];  $1 \text{ ppm} = 1/10^6$ ,
- część na miliard (*part per billion*) [ppb];  $1 \text{ ppb} = 1/10^9$ .

UWAGA W Polsce jednostki liczności materii [ppm] oraz [ppb] nie są jednostkami legalnymi.

UWAGA Do wyrażania liczności materii są także stosowane symbole: % (procent) oraz ‰ (promil). Są to symbole matematyczne. Ich znaczenie jako podwielokrotności ma charakter wtórny:

$$1 \% = 1/100 = 10^{-2},$$

$$1 \text{ ‰} = 1/1000 = 10^{-3}.$$

Zapisy: % masowy, % objętościowy, ‰ masowy, ‰ objętościowy nie są prawidłowe. Należy stosować odpowiednio zapisy:

- ułamek masowy, wyrażony w procentach -  $\%(m/m)$
- ułamek objętościowy, wyrażony w procentach -  $\%(V/V)$
- ułamek masowy, wyrażony w promilach -  $\text{‰}(m/m)$
- ułamek objętościowy, wyrażony w promilach -  $\text{‰}(V/V)$

### 23.10 Gęstość i ciężar właściwy

#### 23.10.1 Gęstość (masa właściwa)

**Gęstość (masa właściwa)** – jest to masa jednostki objętości ciała lub stosunek masy ciała do jego objętości.

$$1 \text{ kg}/\text{m}^3 = 1 \text{ kg} : 1 \text{ m}^3$$

Podstawową jednostką miary gęstości jest kilogram na metr sześcienny.

$$[1 \text{ kg}/\text{m}^3 = 1 \text{ m}^{-3} \cdot \text{kg}]$$

Często stosowanymi jednostkami gęstości, spoza układu SI są gram na centymetr sześcienny oraz gram na mililitr:

$$1 \text{ g/cm}^3 = 1\,000 \text{ kg/m}^3, \\ 1 \text{ g/ml} = 1\,000 \text{ kg/m}^3.$$

W krajach anglosaskich są stosowane następujące jednostki gęstości:

- funt na cal sześcienny - [pound/inch<sup>3</sup>]; [lb/in<sup>3</sup>];  
1 lb/in<sup>3</sup> = 27,680 g/ml = 27,680 kg/m<sup>3</sup>,
- funt na stopę sześcienną – [pound/foot<sup>3</sup>]; [1b/ft<sup>3</sup>];  
1b/ft<sup>3</sup> = 0,016018 g/ml = 0,016018 kg/m<sup>3</sup>,
- funt na galon brytyjski – [pound/Imperial gallon]; [lb/Imp.gal.];  
1 lb/Imp.gal = 0,099776 g/ml = 0,119826 kg/m<sup>3</sup>,
- funt na galon US – [pound/US gallon]; [lb/ US-gal.]; lb/ US-gal = 0,119826 g/ml = 0,119826 kg/m<sup>3</sup>.

### 23.10.2 Gęstość względna

**Gęstość względna** – jest to stosunek gęstości ciała do gęstości wzorca

$$1 = (1 \text{ kg/m}^3) : (1 \text{ kg/m}^3)$$

Podstawową jednostką gęstości względnej jest jedność.

W Stanach Zjednoczonych i niektórych innych krajach, gęstość względna często jest wyrażana w umownych jednostkach – stopniowej skali American Petroleum Institute (°API). Zależność między gęstością w stopniach API i gęstością względem wody, w temperaturze w stopniach Fahrenheita, jest wyrażana wzorem empirycznym:

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\gamma_{60^{\circ}\text{F}}} - 131,5$$

*UWAGA* Jako wzorce odniesienia najczęściej jest stosowana gęstość wody w temperaturach: 4°C, 15°C, 20°C. Gęstość wody w tych temperaturach wynosi odpowiednio:

$$\rho^4 = 999,97 \approx 1\,000,0 \text{ kg/m}^3 \\ \rho^{15} = 999,01 \text{ kg/m}^3 \\ \rho^{20} = 998,20 \text{ kg/m}^3$$

### 23.10.3 Ciężar właściwy

**Ciężar właściwy** – jest to ciężar jednostki objętości ciała lub stosunek ciężaru ciała do jego objętości.

Podstawową jednostką miary ciężaru właściwego jest kilogram siły na metr sześcienny.

$$[1 \text{ kgf/m}^3 = 1 \text{ m}^{-3} \cdot \text{kgf}]$$

W układzie SI ciężar właściwy może być wyrażony w niutonach na metr sześcienny.

$$[1 \text{ N/m}^3 = 1 \text{ m}^{-3} \cdot \text{N}] \\ 1 \text{ kgf/m}^3 = 9,80665 \text{ N/m}^3$$

*UWAGA* Często jako oznaczenie kilograma siły [kgf] jest stosowane oznaczenie [kG].

$$1 \text{ kgf} = 1 \text{ kG}$$

*UWAGA* Kilogram siły w układzie SI nie jest jednostką legalną.

*UWAGA* Pojęcie ciężaru właściwego jest pojęciem archaicznym; aktualnie jest stosowane w bardzo ograniczonym zakresie.

### 23.10.4 Ciężar właściwy względny

**Ciężar właściwy względny** – jest to stosunek ciężaru właściwego ciała do ciężaru właściwego wzorca.

$$1 = (1 \text{ kgf/m}^3) : (1 \text{ kgf/m}^3)$$

Podstawową jednostką ciężaru właściwego względnego jest jedność.

*UWAGA* W przypadku tego samego wzorca, gęstość względna ciała jest równa jego względnemu ciężarowi właściwemu.

## 23.11 Lepkość dynamiczna

Podstawową jednostką miary lepkości dynamicznej jest paskalosekunda.

$$[1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \text{ m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Paskalosekunda	Pa · s	1 Pa · s = 1 Pa : (1 m/s : 1 m)	1 m <sup>-1</sup> · kg · s <sup>-1</sup>
----------------	--------	---------------------------------	--

W układzie jednostek CGS jednostką lepkości dynamicznej jest puaz [P]. W praktyce stosuje się jednostkę 100 razy mniejszą – centipuaz [cP].

Między jednostkami układu CGS, a jednostkami układu SI, istnieją zależności wyrażane wzorami:

$$1 \text{ P} = 0,1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$1 \text{ cP} = 1 \text{ mPa} \cdot \text{s}$$

*UWAGA* W Polsce jednostka lepkości dynamicznej puaz nie jest jednostką legalną.

## 23.12 Lepkość kinematyczna

Podstawową jednostką miary lepkości kinematycznej jest metr kwadratowy na sekundę.

$$[1 \text{ m}^2/\text{s} = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$$

metr kwadratowy na sekundę	m <sup>2</sup> /s	1 m <sup>2</sup> /s = 1 Pa · s : 1 kg/m <sup>3</sup>	1 m <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup>
----------------------------	-------------------	--	------------------------------------

Niekiedy jest stosowana tradycyjna jednostka lepkości kinematycznej:

- stokes [St]; 1 St = 10<sup>2</sup> cSt = 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s
- centistokes [cSt]; 1 cSt = 1 mm<sup>2</sup>/s

*UWAGA* W Polsce jednostka lepkości kinematycznej stokes [St] nie jest jednostką legalną.

## 23.13 Lepkość względna

**Lepkość względna** – jest to stosunek lepkości kinematycznej do lepkości kinematycznej wzorca.

Lepkość względna jest wyrażana w jednostkach umownych, stanowiących stosunek czasu wypływu badanej cieczy do czasu wypływu takiej samej objętości cieczy wzorcowej, w określonej temperaturze lub jest podawana jako czas wypływu badanej cieczy ze znormalizowanego aparatu, w ściśle określonych warunkach.

W niektórych krajach anglosaskich jednostkami lepkości względnej, w zależności od stosowanego aparatu pomiarowego, są odpowiednio:

- sekundy Redwooda nr 1 [SR],
- sekundy Redwooda Admiralty [SRA],
- sekundy Saybolta Uniwersalne [SUS], sekundy Saybolta Furol [SSF].

W Europie jako jednostkę lepkości względnej, oznaczanej z zastosowaniem lepkościomierza Englera, stosowano stopień Englera [°E].

Wzajemne zależności między jednostkami lepkości względnej, a jednostkami lepkości kinematycznej w układzie SI, są złożone. Z tego względu, do wzajemnego przeliczania należy stosować specjalne tabele przeliczeniowe, dostępne w ASTM D 2161 lub w [4].

*UWAGA* W Polsce jednostki lepkości względnej nie są jednostkami legalnymi.

## 23.14 Światłość

Podstawową jednostką miary światłości w układzie SI jest kandela [cd].

**Kandela** – jest to światłość źródła emitującego w określonym kierunku promieniowanie monochromatyczne o częstotliwości  $540 \cdot 10^{12}$  herców i o natężeniu promieniowania w tym kierunku równym  $1/683$  wata na steradian.

### 23.15 Prędkość (liniowa)

Podstawową jednostką miary prędkości w układzie SI jest metr na sekundę [m/s].

metr na sekundę	m/s	$1 \text{ m/s} = 1 \text{ m} : 1 \text{ s}$	$1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
-----------------	-----	---	-----------------------------------

**UWAGA** Należy rozróżnić pojęcia: **prędkość** (wektor) i **szybkość** (skalar), np.:

- prędkość pojazdu,
- szybkość reakcji chemicznej.

### 23.16 Prędkość obrotowa

Podstawową jednostką miary prędkości obrotowej w układzie SI jest odwrotność sekundy – sekunda do potęgi minus pierwszej [ $\text{s}^{-1}$ ].

odwrotność sekundy	$\text{s}^{-1}$	$1 \text{ s}^{-1} = 1 : 1 \text{ s}$	$1 \text{ s}^{-1}$
--------------------	-----------------	--------------------------------------	--------------------

**UWAGA** Jako jednostki miary prędkości obrotowej, obracających się części maszyn, są stosowane jednostki:

- obrót na sekundę [obr/s];  $1 \text{ obr/s} = 1 \text{ s}^{-1} = 1 \text{ Hz}$ ,
  - obrót na minutę [obr/min];  $1 \text{ obr/min} = 1/60 \text{ s}^{-1} = 0,01666(6) \text{ Hz}$ ,
- UWAGA** W niektórych krajach, w miejsce „obr”, jest stosowane oznaczenie „r” oraz:

$$[\text{obr/s}] = [\text{r/s}],$$

$$[\text{obr/min}] = [\text{r/min}] \text{ lub } [\text{rpm}].$$

Symbole „obr” oraz „r” nie oznaczają jednostki miary SI.

### 23.17 Częstotliwość

Podstawową jednostką miary częstotliwości w układzie SI jest herc. [ $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$ ]

**Herc** – jest to częstotliwość zjawiska okresowego, którego okres jest równy sekundzie.

$$1 \text{ Hz} = 1 : (1 \text{ s})$$

W przypadku prędkości obrotowej jest dopuszczalne stosowanie jednostek:

- obroty na sekundę [r/s]  $1 \text{ r/s} = \text{s}^{-1}$ ,
- obroty na minutę [r/min]  $1 \text{ r/s} = \text{min}^{-1}$ .

### 23.18 Siła

Podstawową jednostką miary siły w układzie SI jest niuton. [ $\text{N} = 1 \text{ m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$ ].

**Niuton** – jest to siła, która w kierunku swego działania, nadaje masie 1 kilograma przyspieszenie 1 metra na kwadrat sekundy.

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$$

**Tabela 23.9 Przeliczanie jednostek siły**

	N	dyna	kp, kgf	lbf
N	1	$0,1 \cdot 10^6$	0,101 97	0,224 81
dyna	$10 \cdot 10^6$	1	$1,019 7 \cdot 10^6$	$2,248 1 \cdot 10^6$
kp, kgf	9,806 6	$0,980 66 \cdot 10^6$	1	$2 \cdot 204 6$
lbf	4,448 2	$0,444 82 \cdot 10^6$	0,453 59	1

Stosowane są także tradycyjne jednostki siły:

- dyna [dyn];  $1 \text{ dyn} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ N}$ ,
- kilopond [kp];  $1 \text{ kp} = 9,806 \text{ N}$ ,
- kilogram-siła [kgf], [kG];  $1 \text{ kg} = 1 \text{ kG} = 1 \text{ kp} = 9,806 \text{ N}$ ,
- funt-siła (*pound-force*) [lbf];  $1 \text{ lbf} \approx 4,448 2 \text{ N}$ .

Zależności umożliwiające wzajemne przeliczenia wybranych jednostek siły podano w tabeli 23.9.

**UWAGA** W niektórych krajach, w miejsce „kG”, jest stosowane oznaczenie „kgf” (f od *force* – siła).

**UWAGA** Należy odróżnić pojęcia siła i masa. Wcześniej jednostka masy była stosowana dla wyrażenia wielkości siły (tzw. kilogram siła – kG oraz funt siła - lbf).

### 23.19 Ciśnienie

Podstawową jednostką miary ciśnienia w układzie SI jest paskal.

$$[1 \text{ Pa} = 1 \text{ m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}]$$

**Paskal** – jest to ciśnienie występujące na powierzchni płaskiej 1 metra kwadratowego, na którą działa prostopadle siła 1 niutona

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} : (1 \text{ m}^2)$$

**UWAGA** W przypadkach, gdy to nie jest specjalnie uzasadnione, należy unikać stosowania jednostki ciśnienia niuton na metr kwadratowy [ $\text{N/m}^2$ ], natomiast należy stosować jednostkę paskal [Pa].

Stosowane są także tradycyjne jednostki ciśnienia:

- bar [bar];  $1 \text{ bar} = 100 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ ,
- atmosfera techniczna [at], [ $\text{kp/cm}^2$ ];  $1 \text{ at} = 98,066 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ ,
- Tor [Tr], milimetr słupa rtęci [ $1 \text{ Tr} \approx 1 \text{ mmHg}$ ];  $1 \text{ mmHg} = 133,32 \text{ Pa}$ ,
- atmosfera fizyczna [atm];  $1 \text{ atm} = 101,32 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ ,
- funt siły na cal kwadratowy (*pound-force/inch<sup>2</sup>*) [ $\text{lbf/in}^2 = \text{psi}$ ];  $1 \text{ psi} = 6,894 8 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ .

Zależności umożliwiające wzajemne przeliczenia wybranych jednostek ciśnienia podano w tabeli 23.10.

**UWAGA** W przypadkach, gdy to nie ma uzasadnienia, jednostka miary ciśnienia bar [bar] nie powinna być stosowana.

### 23.20 Energia, praca

Podstawową jednostką miary energii i pracy w układzie SI jest dżul.

$$[1 \text{ J} = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}]$$

**Dżul** – jest to energia równa pracy wykonanej na drodze o długości 1 metra przez siłę 1 niutona, w kierunku jej działania.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$$

**Tabela 23.10 Przeliczanie jednostek ciśnienia**

	Pa	bar	at, kp/cm <sup>2</sup>	Tr ( $\approx$ mmHg)	atm	lbf/in <sup>2</sup>
Pa	1	$10 \cdot 10^6$	$10,197 \cdot 10^6$	$7,500 6 \cdot 10^6$	$9,869 2 \cdot 10^6$	$0,145 04 \cdot 10^3$
bar	$100 \cdot 10^3$	1	1,019 7	750,06	0,986 92	14,504
at, kp/cm <sup>2</sup>	$98,066 \cdot 10^3$	0,980 66	1	735,56	0,967 84	14,223
Tr ( $\approx$ mmHg)	133,32	$1,333 2 \cdot 10^3$	$1,359 5 \cdot 10^3$	1	$1,315 8 \cdot 10^3$	$19,337 \cdot 10^3$
atm	$101,32 \cdot 10^3$	1,013 2	1,033 2	760	1	14,696
lbf/in <sup>2</sup>	$6,894 8 \cdot 10^3$	$68,948 \cdot 10^3$	$70,307 \cdot 10^3$	51,715	$68,046 \cdot 10^3$	1

**Tabela 23.11 Przeliczanie jednostek energii, pracy i ciepła**

	J	kW · h	kp · m	kcal	Btu
J	1	$0,277\ 78 \cdot 10^{-6}$	0,101 97	$0,238\ 85 \cdot 10^{-3}$	$0,947\ 82 \cdot 10^{-3}$
kW · h	$3,6 \cdot 10^6$	1	$0,367\ 10 \cdot 10^6$	859,85	$3,412\ 1 \cdot 10^3$
kp · m	9,806 6	$2\ 724\ 1 \cdot 10^{-6}$	1	$2,342\ 3 \cdot 10^{-3}$	$9,294\ 9 \cdot 10^{-3}$
kcal	$4,186\ 8 \cdot 10^3$	$1,163 \cdot 10^{-3}$	426,94	1	3,968 3
Btu	$1,055\ 1 \cdot 10^3$	$0,293\ 07 \cdot 10^{-3}$	107,59	0,252 00	1

Stosowane są także tradycyjne jednostki energii i pracy:

- kilowatogodzina [kW · h]; 1 kWh =  $3,6 \cdot 10^6$  J,
- kilopondometr [kp · m]; 1 Kp · m = 9,806 6 J,
- kaloria [cal]; 1 cal = 4,186 8 J,
- brytyjska jednostka ciepła (british thermal unit) [Btu]; 1 Btu =  $1,055\ 1 \cdot 10^3$  J.

Zależności umożliwiające wzajemne przeliczenia wybranych jednostek energii i pracy podano w tabeli 23.11.

*UWAGA* Nazwa kaloria może oznaczać różne jednostki.

*UWAGA* Jednostka miary energii (ciepła) kaloria [cal] w Polsce nie jest jednostką legalną.

$$[1\ V = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}]$$

**Wolt** – jest to napięcie elektryczne występujące między dwiema powierzchniami ekwipotencjalnymi jednorodnego przewodu prostoliniowego, z niezmiennym się prądem 1 ampera, gdy moc wydzielana przez przewód między tymi powierzchniami jest równa 1 wатовi.

$$1\ V = 1\ W : 1\ A$$

### 23.21 Moc

Podstawową jednostką miary mocy w układzie SI jest wat.

$$[1\ W = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}]$$

**Wat** – jest to moc, przy której praca 1 dżula jest wykonana w czasie 1 sekundy.

$$1\ W = 1\ J : 1\ s$$

Tradycyjną jednostką mocy jest koń mechaniczny [KM].

$$1\ KM = 735,4988\ W$$

Zależności umożliwiające wzajemne przeliczenia wybranych jednostek mocy podano w tabeli 23.12.

W technice elektrycznej jednostką mocy biernej oraz mocy pozornej jest jednostka złożona woltamper.

$$[V \cdot A]; 1\ V \cdot 1\ A = 1\ kg \cdot m \cdot s^{-3}$$

*UWAGA* W technice elektrycznej IEC jednostką mocy biernej jest war:

$$[1\ var = 1\ V \cdot A]$$

### 23.22 Ładunek elektryczny

Podstawową jednostką miary ładunku elektrycznego w układzie SI jest kulomb.

$$[1\ C = 1\ s \cdot A]$$

**Kulomb** – jest to ładunek elektryczny przepływający w czasie 1 sekundy przez powierzchnię, gdy prąd elektryczny płynący przez tę powierzchnię wynosi 1 amper.

$$1\ C = 1\ A \cdot 1\ s$$

### 23.23 Napięcie elektryczne

Podstawową jednostką miary napięcia elektrycznego, a także siły elektromotorycznej, potencjału elektrycznego, w układzie SI jest wolt.

**Tabela 23.12 Wzajemne przeliczenie wybranych jednostek mocy**

	W	kp · m · s <sup>-1</sup>	kcal · s <sup>-1</sup>	KM (metryczny)	KM	btu · h <sup>-1</sup>
W	1	0,101 97	$0,238\ 9 \cdot 10^{-3}$	$1,359\ 6 \cdot 10^{-3}$	$1,341\ 0 \cdot 10^{-3}$	3,412 1
kp · m · s <sup>-1</sup>	9,806 6	1	$2,342\ 3 \cdot 10^{-3}$	$13,333 \cdot 10^{-3}$	$13,151 \cdot 10^{-3}$	33,462
kcal · s <sup>-1</sup>	$4,186\ 8 \cdot 10^3$	426,94	1	5,692 5	5,614 6	$14,286 \cdot 10^3$
KM (metryczny)	735,50	75	0,175 67	1	0,986 32	$2,509\ 6 \cdot 10^3$
KM	745,70	76,040	0,178 11	1,013 9	1	$2,544\ 4 \cdot 10^3$
btu · h <sup>-1</sup>	0,293 07	$29\ 885 \cdot 10^{-3}$	$69,999 \cdot 10^{-6}$	$0,398\ 47 \cdot 10^{-3}$	$0,393\ 02 \cdot 10^{-3}$	1

### 23.24 Opór elektryczny

Podstawową jednostką miary oporu elektrycznego w układzie SI jest om.

$$[1\ \Omega = 1\ m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}]$$

**Om** – jest to opór elektryczny między dwiema powierzchniami ekwipotencjalnymi przewodu jednorodnego prostoliniowego, gdy niezmiennie napięcie elektryczne 1 wolta występujące między tymi powierzchniami wywołuje w tym przewodzie prąd elektryczny 1 ampera.

$$1\ \Omega = 1\ V : 1\ A$$

### 23.25 Przewodność elektryczna

Podstawową jednostką miary przewodności elektrycznej w układzie SI jest simens.

$$[1\ S = 1\ m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2]$$

**Simens** – jest to przewodność elektryczna przewodu o oporze elektrycznym 1 oma.

$$1\ S = 1\ \Omega^{-1} = 1 : 1\ \Omega$$

### 23.26 Strumień masy

Podstawową jednostką miary strumienia masy jest kilogram na sekundę.

$$[1\ kg/s = 1\ kg : 1\ s]$$

kilogram na sekundę	kg/s	1 kg/s = 1 kg : 1 s	1 kg · s <sup>-1</sup>
---------------------	------	---------------------	------------------------

### 23.27 Strumień objętości

Podstawową jednostką miary strumienia objętości jest metr sześcienny na sekundę.

$$[1 \text{ m}^3/\text{s} = 1 \text{ m}^3 : 1 \text{ s}]$$

Metr sześcienny na sekundę	$\text{m}^3/\text{s}$	$1 \text{ m}^3/\text{s} = 1 \text{ m}^3 : 1 \text{ s}$	$1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
----------------------------	-----------------------	--	-------------------------------------

### 23.28 Pojemność cieplna

Podstawową jednostką miary pojemności cieplnej jest dżul na kelwin.

$$[\text{J}/\text{K}]$$

dżul na kelwin	$\text{J}/\text{K}$	$1 \text{ J}/\text{K} = 1 \text{ J} : 1 \text{ K}$	$1 \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
----------------	---------------------	--	---

### 23.29 Pojemność cieplna właściwa

Podstawową jednostką miary pojemności cieplnej właściwej jest dżul na kilogram i kelwin.

$$[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$$

dżul na kilogram i kelwin	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	$1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) = (1 \text{ J}/\text{K}) : \text{kg}$	$1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
---------------------------	---------------------------------------	---	---

UWAGA Stosowane są również określenia:

- pojemność cieplna właściwa,
- ciepło właściwe.

### 23.30 Pojemność cieplna molowa

Podstawową jednostką miary pojemności cieplnej molowej jest dżul na mol i kelwin.

$$[\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})]$$

dżul na mol i kelwin	$\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$	$1 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) = 1 (\text{J}/\text{K}) : 1 \text{ mol}$	$1 \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{mol}^{-1}$
----------------------	--	---	---

### 23.31 Przewodność cieplna

Podstawową jednostką miary przewodności cieplnej właściwej (zwanej również konduktywnością cieplną) w układzie SI jest wat na kelwin.

$$[1 \text{ W}/\text{K} = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}]$$

wat na kelwin	$\text{W}/\text{K}$	$1 \text{ W}/\text{K} = [1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})] : (1 \text{ m}^2/\text{m})$	$1 \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$
---------------	---------------------	---	---

### 23.32 Przewodność cieplna właściwa

Podstawową jednostką miary przewodności cieplnej właściwej w układzie SI jest wat na metr i kelwin.

$$[1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) = 1 \text{ m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}]$$

wat na metr i kelwin	$\text{W}/(\text{mK})$	$1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) = (1 \text{ W}/\text{m}^2) : (1 \text{ K}/\text{m})$	$1 \text{ m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$
----------------------	------------------------	---	---

$$1 \text{ kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K}) = 1,16 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$1 \text{ Btu}/(\text{ft} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F}) = 1,73 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

### 23.33 Współczynnik załamania

Podstawową jednostką miary współczynnika załamania jest jedność.

$$[1]$$

jedność	1	$(1 \text{ m}/\text{s}) : (1 \text{ m}/\text{s})$	–
---------	---	---	---

Stosuje się np. do: współczynnika załamania światła, współczynnika odbicia światła, współczynnika przepuszczania.

#### Opracowano na podstawie:

[1] PN-ISO 31 Wielkości fizyczne i jednostki miar;

[2] PN-ISO 1000 Jednostki miar SI i zalecenia do stosowania ich krotności oraz wybranych jednostek miar

[3] Zarządzenie Nr 4 Prezesa Głównego Urzędu Miar z dnia 17 stycznia 1994 r. w sprawie ustalenia nazw, definicji i oznaczeń legalnych jednostek miar; Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa Nr 2, Warszawa 25 luty 1994. r.;

[4] Górski K., Górski W.: Napędy lotnicze – Materiały pędne i smary, WKŁ, Warszawa 1986;

[5] Szymczyk T., Rabiej S., Pielesz A., Desselberger J.: Tablice matematyczne, fizyczne, chemiczne, astronomiczne, wyd. VI

## BIBLIOGRAFIA

- Bartoszewicz J., Caban W., Krzemiński-Freda H.: *Smarowanie łożysk tocznych*, CPN, Warszawa 1981;
- Dudek A.: *Oleje Smarowe Rafinerii Gdańskiej*, GMET-PRESS, Gdańsk 1997;
- Górska K., Górski W.: *Napędy lotnicze – Materiały pędne i smary*; WKŁ, Warszawa 1986;
- Hebda M., Wachal A.: *Trybologia*; WNT, Warszawa 1980;
- Hycnar J., Śliwa A.: *Towaroznawstwo naftowe*; PTE, Katowice 1987;
- Jaśkiewicz Z., Wąsiewski A.: *Przekładnie walcowe – Projektowanie*; WKŁ, Warszawa 1995
- Kajdas C.: *Podstawy zasilania paliwem i smarowania samochodów*; WKŁ, Warszawa 1983
- Lawrowski Z.: *Technika smarowania*; PWN, Warszawa 1987;
- Lipski J.: *Napędy i sterowanie hydrauliczne*; WKŁ, Warszawa 1981;
- Machel M.: *Gospodarka paliwowo-smarownicza w transporcie samochodowym*; WKŁ, Warszawa 1979;
- Michałowska J.: *Paliwa, oleje, smary*; WKŁ, Warszawa 1973;
- Michałowska J.: *Paliwa, oleje, smary samochodowe*; WKŁ, Warszawa 1983;
- Paliwa, Oleje i Smary w eksploatacji*, Explonaft;
- Pilat S.: *Zarys technologii nafty*; Lwów 1939 (reprint, Kraków 2001);
- Podniało A.: *Paliwa, oleje i smary w ekologicznej eksploatacji*, WNT, Warszawa 2002;
- Szczerek M., Wiśniewski M.: *Tribologia – Tribotechnika*; 9 PTT, ITE, SiTMP, Radom 2000;
- TOTAL: *Przemysłowe środki smarne*, katalog, edycja 2002;
- Wachal A.: *Materiały pędne i oleje silnikowe*; MON, Warszawa 1959;
- Zwierzycycki W.: *Oleje, paliwa i smary dla motoryzacji i przemysłu*, GLIMAR S.A., Gorlice;