

Målesystemer og enheder

Se også "Måleenheder" side 466.

SI-systemet

SI-systemet er det officielt gældende målesystem i en række lande, heriblandt Danmark.

SI er den internationalt gældende forkortelse for "Système International d'Unités", på dansk: Det internationale enhedssystem.

Dette system blev allerede i 1901 foreslået af den italienske professor G. Giorgi. Dets bearbejdelse og godkendelse som internationalt system er forestået af BIPM (Bureau International des Poids et Mesures), blandt andet gennem en række internationale konferencer, CGPM (Conférence Générale des Poids et Mesures).

Systemet består af 7 "grundenheder", 2 "supplerende enheder" samt en række "afledede enheder".

Grundenheder

Længde.....	meter (m)
Masse.....	kilogram (kg)
Tid.....	sekund (s)
Elektrisk strømstyrke.....	ampere (A)
Termodynamisk temperatur.....	kelvin (K)
Stofmængde.....	mol (mol)
Lysstyrke.....	candela (cd)

Definitioner

Meter (m)

Meteren har været defineret på forskellige måder. Først som længden af en stok, som opbevares i Paris, derfor som længden af et antal lysbølger. Ifølge bekendtgørelse nr. 345 fra Statens Metrologiråd defineres meteren nu således: En meter er defineret som længden af den vej, lyset gennemløber i det tomme rum i løbet af 1/299.792.458 sekund.

Kilogram (kg)

Et kilogram er defineret som massen af den internationale kilogram-prototype, som opbevares i Sévres ved Paris.

Sekund (s)

Et sekund er defineret som varigheden af 9.192.631.770 perioder af strålingen fra cæsium-133 atomet ved overgang mellem grundtilstandens to hyperfinstruktur-niveauer.

Ampere (A)

En ampere er defineret som strømstyrken af en konstant elektrisk strøm, der - når den løber i to parallelle, rette, uendeligt lange ledere med forsvindende lille cirkulært tværsnit, som har en indbyrdes afstand på 1 meter og er anbragt i det tomme rum - bevirker, at den ene leder påvirker den anden med kraften 2×10^{-7} newton for hver meter.

Kelvin (K)

En kelvin er brøkdelen af 1/273,16 af vands tripelpunkts termodynamiske temperatur.

Mol (mol)

Et mol er den stofmængde af et system, der indeholder lige så mange elementære dele, som der er atomer i 0,012 kilogram kulstof-12.

Candela (cd)

En candela er defineret som lysstyrken i en given retning af en lyskilde, som udsender monokromatisk lys med en frekvens på 540×10^{12} hertz, og hvis strålingsstyrke i denne retning er 1/683 watt pr. steradian.

Supplerende enheder

Vinkel.....	radian (rad)
Rumvinkel.....	steradian (sr)

Definitioner

Radian (rad)

En radian er den plane vinkel, som af en cirkel med centrum i vinklens toppunkt udskærer en buelængde lig cirkelns radius.

Steradian (sr)

En steradian er den rumvinkel, som af en kugleflade med centrum i rumvinklens toppunkt udskærer et areal lig arealet af et plant kvadrat, hvis side er lig kuglens radius.

Afledede SI-enheder

Afledede SI-enheder og deres symboler dannes ved multiplikation og/eller division af grundenheder og supplerende enheder. Fx er SI-enheden for hastighed meter pr. sekund (m/s), og SI-enheden for vinkelhastighed er radian pr. sekund (rad/s). For nogle af de afledede enheder er der vedtaget særlige navne og symboler

Størrelse	SI-enhedens navn	Symbol	SI-enhed udtrykt ved grund- eller afledende enheder
frekvens	hertz	Hz	1 Hz = 1 s ⁻¹
kraft	newton	N	1 N = 1 kg m/s ²
tryk, spænding	pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m ²
arbejde, energi, varmemængde	joule	J	1 J = 1 N m
effekt ¹⁾	watt	W	1 W = 1 J/s
elektrisk ladning	coulomb	C	1 C = 1 A s
elektrisk potential, elektromotorisk kraft, elektrisk spænding	volt	V	1 V = 1 W/A
elektrisk kapacitans	farad	F	1 F = 1 A s/V
elektrisk resistans	ohm	Ω	1 Ω = 1 V/A
elektrisk konduktans	siemens	S	1 S = 1 Ω ⁻¹
magnetisk flux	weber	Wb	1 Wb = V s
magnetisk induktion, magnetisk fluxtæthed	tesla	T	1 T = Wb/m ²
induktans	henry	H	1 H = 1 V s/A
lysstrøm	lumen	lm	1 lm = 1 cd sr
belysningsstyrke, illuminans	lux	lx	1 lx = 1 lm/m ²
aktivitet (radioaktivitet)	becquerel	Bq	1 Bq = 1 S ⁻¹
(absorberet) dosis	gray	Gy	1 Gy = 1 J/kg
dosisækvivalent	sievert	Sv	1 Sv = 1 J/kg

1) I vekselstrømsteknik udtrykkes tilsynladende effekt i voltampere (VA) og reaktiv i var (var). Betegnelsen "var" findes ikke i CGPM's resolutioner.

Prefixer

Oftest har man brug for at angive fysiske størrelser, der er langt mindre eller langt større end den pågældende måleenhed. Hertil anvendes følgende mangefold af SI-enhederne:

Mangfold	Prefix	Symbol
10 ¹⁸	exa	E
10 ¹⁵	peta	P
10 ¹²	tera	T
10 ⁹	giga	G
10 ⁶	mega	M
10 ³	kilo	k
10 ²	hekto	h
10	deka	da
10 ⁻¹	deci	d
10 ⁻²	centi	c
10 ⁻³	milli	m
10 ⁻⁶	mikro	μ
10 ⁻⁹	nano	n
10 ⁻¹²	piko	p
10 ⁻¹⁵	femto	f
10 ⁻¹⁸	atto	a

Andre enhedssystemer

CGS-systemet

CGS-systemet (centimeter - gram - sekund systemet) har hovedsageligt fundet anvendelse inden for fysik og naturvidenskab. Grundenhederne er længde (cm), masse (g) og tid (s).

CGS-systemet kaldes også undertiden for det "det absolutte system".

Det tekniske system

Det tekniske system har grundenhederne kraft (kg eller kp), længde (m) og tid (s). Det adskiller sig fra CGS-systemet ved, at enhederne er "lettere at tage at føle på": kraft i stedet for masse, meter i stedet for centimeter, kilogram (eller kilopond) i stedet for gram. Både i CGS-systemet og i SI-systemet har konstanten i Newton's 2. lov værdien 1, hvilket ikke er tilfældet i det tekniske system.

Både CGS-systemet og det tekniske system er nu stort set forladt, og i stedet bruges SI-systemet.

Omregning mellem forskellige enheder

Man vil ofte have brug for omregning mellem forskellige systemer, blandt andet fordi erfaringstal og fysiske konstanter i den hidtidige litteratur opgives i de ældre enhedssystemer.

Et godt råd ved omregning: skriv enhederne op på en brøkstreg ved siden af selve tallene og forkort dem væk, indtil den rigtige enhed bliver tilbage.

Eksempel:

$$1 \text{ kcal/h} = 1 \text{ kcal/h} \cdot 4187 \text{ J/kcal} \cdot 1 \text{ h}/3600 \text{ sec}$$

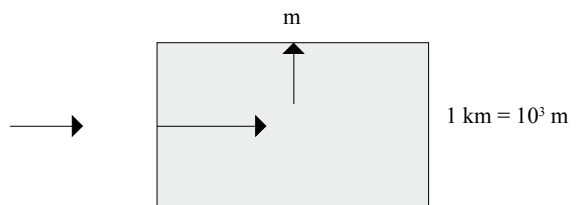
$$1 \text{ kcal/h} = \frac{1 \text{ kcal}}{\text{h}} \cdot \frac{4187 \text{ J}}{\text{kcal}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ sec}}$$

$$1 \text{ kcal/h} = \frac{4187}{3600} \frac{\text{kcal}}{\text{kcal}} \frac{\text{h}}{\text{h}} \frac{\text{J}}{\text{sec}}$$

$$1 \text{ kcal/h} = 1,16 \text{ J/s}$$

$$1 \text{ kcal/h} = 1,16 \text{ W}$$

I de efterfølgende omregningstabeller læses med indgang fra venstre således:



Længde

	mm	cm	m	km	tomme "	fod '	alen°	inch	foot	yard	mile
mm	1	10 ⁻¹	10 ⁻³	10 ⁻⁶	0,0382	–	–	0,039	–	–	–
cm	10	1	10 ⁻²	10 ⁻⁵	0,382	0,0319	–	0,393	0,033	0,01	–
m	10 ³	10 ²	1	10 ⁻³	38,2	3,186	1,593	39,37	3,281	1,094	–
km	10 ⁶	10 ⁵	10 ³	1	–	3186	1593	39370	3281	1094	0,6214
tomme "	26,16	2,616	0,02616	–	1	0,0833	0,0417	–	–	–	–
fod '	314	31,4	0,314	–	12	1	0,5	–	–	–	–
alen °	628	62,8	0,628	–	24	2	1	–	–	–	–
inch	25,4	2,54	–	–	–	–	–	1	0,083	0,028	–
foot	304,8	30,48	0,3048	–	–	–	–	12	1	0,33	–
yard	914,4	91,44	0,9144	–	–	–	–	36	3	1	–
mile	–	–	1609	1,609	–	–	–	63360	5280	1760	1

1 (international) sømil = 1852 m
 1 imp. naut. mile = 1853,18 m
 1 μ = 1 micron = 10⁻⁶ m
 1 Å (Ångström) = 10⁻¹⁰ m
 1 favn = 1,883 m
 1 mil (dansk mil) = 7532 m
 1 geografisk mil = 7,42 km

Areal

	cm ²	m ²	ha	km ²	□ tomme	□ fod	□ alen	td. land	sq.in.	sq.ft.	sq.yd.	acre	sq.mile
cm ²	1	10 ⁻⁴	–	–	0,146	–	–	–	0,155	0,001076	–	–	–
m ²	10 ⁴	1	10 ⁻⁴	–	1462	10,15	2,538	–	1550	10,764	1,196	–	–
ha	–	10 ⁴	1	10 ⁻²	–	–	25380	1,813	–	–	–	2,471	0,0038
km ²	–	10 ⁶	10 ²	1	–	–	–	181,3	–	–	–	247,1	0,3861
□ tomme	6,84	684 10 ⁻⁶	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–
□ fod	985	0,0985	–	–	144	1	0,25	–	–	–	–	–	–
□ alen	3940	0,3940	–	–	576	4	1	–	–	–	–	–	–
td. land	–	5516	0,5516	0,0052	–	56000	13580	1	–	–	–	1,363	–
sq.in.	6,452	645,2 10 ⁻⁶	–	–	–	–	–	–	1	0,00694	–	–	–
sq.ft.	929	0,0929	–	–	–	–	–	–	144	1	0,1111	–	–
sq.yd.	8361	0,8361	–	–	–	–	–	–	1296	9	1	–	–
acre	–	4047	0,4047	–	–	–	–	0,734	–	43560	4840	1	0,0015
sq.mile	–	–	259	2,59	–	–	–	–	–	–	–	640	1

Volumen

	cm ³ = ml	dm ³ = l	m ³	cu.in.	cu.ft.	cu.yd.	fl.oz	imp. quart	imp. gallon	US gallon	petr. barrel
cm ³ = ml	1l	10 ⁻³	10 ⁻⁶	0,06102	–	–	0,0352	–	–	–	–
dm ³ = l	10 ³	1	10 ⁻³	61,022	0,03531	0,00131	35,19	0,8799	0,2200	0,2642	–
m ³	10 ⁶	10 ³	1	61022	35,315	1,3079	–	879,9	219,97	264,2	6,300
cu.in.	16,387	0,0164	–	1	578,7 10 ⁻⁶	–	0,5767	–	–	–	–
cu.ft.	28316	28,316	0,028	1728	1	0,03704	–	24,915	6,2290	7,4812	0,1781
cu.yd.	–	764,55	0,76455	46656	27	1	–	672,71	168,18	201,97	4,810
fl.oz.	28,413	0,0284	–	1,7339	–	–	1	–	–	–	–
imp. quart	1136,5	1,1365	0,00137	–	0,04014	0,00149	–	1	0,25	0,3002	–
imp. gallon	4546	4,546	0,00455	277,4	0,16054	0,00595	–	4	1	1,2009	–
US gallon	–	3,785	0,00379	231	0,13368	0,00495	–	–	0,8327	1	0,0238
petr. barrel	–	158,76	0,15876	–	5,6146	0,2079	–	–	–	42	1

Hastighed

	m/s	km/h	fps	fpm	mph
m/s	1	3,6	3,281	196,85	2,2369
km/h	0,2778	1	0,9114	54,68	0,6214
fps	0,3048	1,097	1	60	0,6818
fpm	5,08 10 ⁻³	0,01829	0,0167	1	0,01136
mph	0,4470	1,6093	1,467	88	1

fps = foot per second

fpm = foot per minute

mph = miles per hour

1 knob = 1 imp.naut.mile/h = 1,8532 km/h

Acceleration

	m/s ²	ft/s ²	ft/min ²
m/s ²	1	3,2808	11811
ft/s ²	0,3048	1	3600
ft/min ²	84,67 10 ⁻⁶	277,8 10 ⁻⁶	1

Masse

	kg	tekma (hyl)*	g	lb	oz	grain	long cwt	short cwt	long tons	short ton
kg	1	0,1097	1000	2,2046	35,274	–	0,01968	0,02205	0,9842 10 ⁻³	1,102 10 ⁻³
tekma	9,80665	1	9807	21,624	345,93	–	–	–	9,652 10 ⁻³	10,81 10 ⁻³
g	10 ⁻³	0,102 10 ⁻³	1	2,205 10 ⁻³	35,27 10 ⁻³	15,43	–	–	–	–
lb	0,45359	46,26 10 ⁻³	453,59	1	16	7000	–	–	446,4 10 ⁻⁶	0,5 10 ⁻³
oz	28,35 10 ⁻³	2,891 10 ⁻³	28,35	62,5 10 ⁻³	1	437,5	–	–	27,90 10 ⁻⁶	31,25 10 ⁻⁶
grain	–	–	0,0648	–	–	1	–	–	–	–
long cwt	50,80	–	50802	112	1792	–	1	1,12	0,05	0,056
short cwt	45,36	–	45359	100	1600	–	0,8929	1	0,04464	0,05
long ton	1016	103,61	–	2240	35840	–	20	22,4	1	1,12
short ton	907,2	92,507	–	2000	32000	–	17,86	20	0,8929	1

*Betegnelsen tekma for masseenheden i det tekniske målesystem er speciel. I engelsktalende lande kaldes den hyl.

Massefylde

	kg/m ³	t/m ³ = g/m ³	lb/cu.ft	lb/cu.in
kg/m ³	1	10 ⁻³	6,243 10 ⁻²	36,13 10 ⁻⁶
t/m ³ = g/m ³	10 ⁻³	1	62,43	36,13 10 ⁻³
lb/cu.ft	16,0185	16,019 10 ⁻³	1	578,7 10 ⁻⁶
lb/cu.in	27680	27,68	1728	1

lb/cu.ft = pounds per cubic feet
lb/cu.in = pounds per cubic inch

Massestrøm

	kg/s	kg/h	lb/min
kg/s	1	3600	132,28
kg/h	277,78 10 ⁻⁶	1	36,7 10 ⁻³
lb/min	7,56 10 ⁻³	27,216	1

Volumenstrøm

	m ³ /s	m ³ /h	l/s	l/min	cfm	USgpm
m ³ /s	1	3600	10 ⁻³	6000	2119	15851
m ³ /h	277,8 10 ⁻⁶	1	0,2778	16,667	0,58861	4,4029
l/s	10 ⁻³	3600	1	60	2,119	15,851
l/min	16,67 10 ⁻⁶	0,060	0,0167	1	–	–
cfm	471,9 10 ⁻⁶	1,699	–	–	1	7,4805
USgpm	63,09 10 ⁻⁶	0,22712	–	–	0,1337	1

cmf = cubic feet per minute
USgpm = U.S. gallons per minute

Kraft

	N	kp	lb.ft/s ²
N	1	0,10197	7,2330
kp	9,807	1	71,0
lb.ft/s ²	0,1383	1,410 10 ⁻²	1

1 N (Newton) = 10⁵ dyn (=10⁵ g cm/s²)

Spænding (tryk eller træk)

	Pa (N/m ²)	mbar	bar	mm VS kp/m ²	at = kp/cm ²	atm	Torr = mm Hg	lbf/in ² (psi)	inch WG	inch HG
Pa (N/m ²)	1	10 ⁻²	10 ⁻⁵	0,102	10,197 10 ⁻⁶	9,869 10 ⁻⁶	0,0075	1,4504 10 ⁻⁴	4,02 10 ⁻³	2,953 10 ⁻⁶
mbar	100	1	10 ⁻³	10,197	1019,7 10 ⁻⁶	9,869 10 ⁻⁴	0,750	0,0145	0,4015	295,3 10 ⁻⁶
bar	10 ⁵	10 ³	1	10197	1,01972	0,9869	750,06	1,4504 10 ⁻²	402	29,53
mm VS = kp/m ²	9,807	0,0981	98,07 10 ⁻⁶	1	10 ⁻⁴	9,678 10 ⁻⁵	0,07355	1,4223 10 ⁻³	0,03937	2,896 10 ⁻³
at = kp/cm ²	98067	980,67	0,98067	10 ⁴	1	0,9678	735,56	14,2233	393,7	28,959
atm	101325	1013	1,01325	10332	1,03323	1	760,0	14,696	406,77	29,921
Torr = mm Hg	133,02	1,3333	1,3333 10 ⁻³	13,596	1,3595 10 ⁻³	1,3158 10 ⁻⁶	1	0,019337	0,5353	0,03937
lbf/in ² (psi)	6895	68,95	0,068948	703,1	0,07307	6,805 10 ⁻²	51,715	1	27,68	2,0360
inch WG	249,10	2,491	2,491 10 ⁻³	25,4	2,54 10 ⁻³	2,453 10 ⁻³	1,868	3,613 10 ⁻²	1	0,07355
inch HG	3386,4	33,87	0,033864	345,3	0,034532	0,033421	25,40	0,4912	13,596	1

psi = pounds per square inch
WG = Water Gauge (vandsøjle)

ViskositetKinematisk viskositet ν .

	m ² /s	cSt	ft ² /s
m ² /s	1	10 ⁶	10,764
cSt	10 ⁻⁶	1	1,076 10 ⁻⁵
ft ² /s	9,29 10 ⁻²	92903	1

1 St (stokes) = 100 cSt

Dynamisk viskositet $\eta = \nu \rho = \nu \frac{\gamma}{g}$

	N s/m ²	cP	kp s/m ²	lb/ft s
N s/m ²	1	10 ³	0,102	0,672
cP	10 ⁻³	1	1,02 10 ⁻⁴	6,72 10 ⁻⁴
kp s/m ²	9,807	9810	1	6,59
lb/ft s	1,488	1488	0,152	1

1 P (poises) = 100 cP

Der eksisterer desuden andre, empiriske enheder som °Engler, Saybold Universal og Saybold Furol seconds samt Redwood Nr. 1 og Nr. 2 seconds.

Arbejde, energi og (entalpi)

	kJ = kWS = kNm	kWh	kpm	kcal	Btu	HKh
kJ = kWS = kNm	1	277,8 10 ⁻⁶	102	0,239	0,948	378 10 ⁻⁶
kWh	3,60 10 ³	1	367,10 10 ³	860	3413	1,36
kpm	9,807 10 ⁻³	2,7241 10 ⁻⁶	1	2,3423 10 ⁻³	9,2949 10 ⁻³	3,70 10 ⁻⁶
kcal	4,187	1163 10 ⁻⁶	427	1	3,968158	1 10 ⁻⁶
Btu	1,055	293 10 ⁻⁶	107,59	0,25198	1	398 ⁻⁶
HKh	2,648 10 ³	0,736	270 10 ³	632	2,51 10 ³	1

1 J (joule) = 10⁷ erg
1 kJ = 10³ J

Effekt, varmemstrøm

	kW = kJ/s	kpm/s	hk	kcal/h	ft.lb/s	hp	Btu/h	ton of ref.
kW = kJ/s	1	102	1,36	860	738	1,34	3410	284
kpm/s	$9,81 \cdot 10^{-3}$	1	$1,33 \cdot 10^{-2}$	8,44	7,23	$1,32 \cdot 10^{-2}$	32,5	$2,79 \cdot 10^{-2}$
hk	0,735	75	1	632	542	0,986	2510	2,09
kcal/h	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,119	$1,58 \cdot 10^{-3}$	1	0,858	$1,56 \cdot 10^{-3}$	3,97	$3,31 \cdot 10^{-4}$
ft.lb/s	1,36	0,138	$1,84 \cdot 10^{-3}$	1,17	1	$1,82 \cdot 10^{-3}$	4,63	$3,86 \cdot 10^{-3}$
hp	0,745	76	1,014	642	550	1	2550	2,12
Btu/h	$2,93 \cdot 10^{-4}$	$2,99 \cdot 10^{-2}$	$3,99 \cdot 10^{-4}$	0,252	0,216	$3,93 \cdot 10^{-4}$	1	$8,33 \cdot 10^{-3}$

ton of ref. = ton of refrigeration

Varmedledningsevne λ

	W/m K	kcal/m h °C	Btu/ft h °
W/m K	1	0,860	0,5778
kcal/m h °C	1,163	1	0,6720
Btu/ft h °F	1,731	1,4882	1

Specifik entalpi

	J/kg	kcal/kg	Btu/lb
J/kg	1	$2,388 \cdot 10^{-4}$	0,0043
kcal/kg	4187	1	1,80
Btu/lb	2326	0,55556	1

Varmeoverføringskoefficient og -transmissionstal U

	W/m ² K	kcal/m ² h °C	Btu/ft ² h °F
W/m ² K	1	0,860	0,1761
kcal/m ² h °C	1,163	1	0,205
Btu/ft ² h °F	5,678	4,882	1

Vindstyrker og vindhastigheder

Beaufort skala	Vindhastighed m/s	Betegnelse	Virkning
0	0–0,2	Stille	Røg stiger lige op
1	0,3–1,5	Svag luftning	Røgens drift viser vindens retning
2	1,6–3,3	Svag brise	Løv rasler, vimpler løftes og vinden kan mærkes
3	3,4–5,4	Let vind	Blade og kviste i bevægelse, vimpler og flag løftes
4	5,5–7,9	Jævn vind	Smågrene bevæger sig, papirstykker løftes
5	8,0–10,7	Frisk vind	Små løvtræer svajer
6	10,8–13,8	Kuling eller blæst	Store grene bevæger sig, telefontråde synger
7	13,9–17,1	Stiv kuling	Større træer bevæger sig
8	17,2–20,2	Hård kuling	Kviste og grene brækker af træer
9	20,8–24,4	Storm	Træstammer svajer, store grene brækker af
10	24,5–28,4	Stærk storm	Træer rives op, betydelige skader på huse
11	28,5–32,6	Orkanagtig storm	Mange ødelæggelser, svært at gå
12	32,7–	Orkan	Voldsomme ødelæggelser

Varmedfylde

	J/kg °C = J/kg K	kcal/kg °C	Btu/lb °F
J/kg °C = J/kg K	1	$2,388 \cdot 10^{-4}$	$2,388 \cdot 10^{-4}$
kcal/kg °C	4186,8	1	1
Btu/lb °F	4186,8	1	1

Temperatur

K = Kelvin (absolut temperatur)
 C = grader Celcius = centigrade
 F = grader Fahrenheit

$$t \text{ K} = t \text{ °C} + 273,16$$

$$t \text{ °C} = \frac{5}{9} (t \text{ °F} - 32)$$

$$t \text{ °F} = \frac{9}{5} t \text{ °C} + 32$$