

Tabela przeliczeń jednostek inżynierii chemicznej

Najczęściej używane przeliczenia jednostek w inżynierii chemicznej

Szybka pomoc do obliczeń, laboratoriów i powtórek.

*Od teorii
do praktyki*

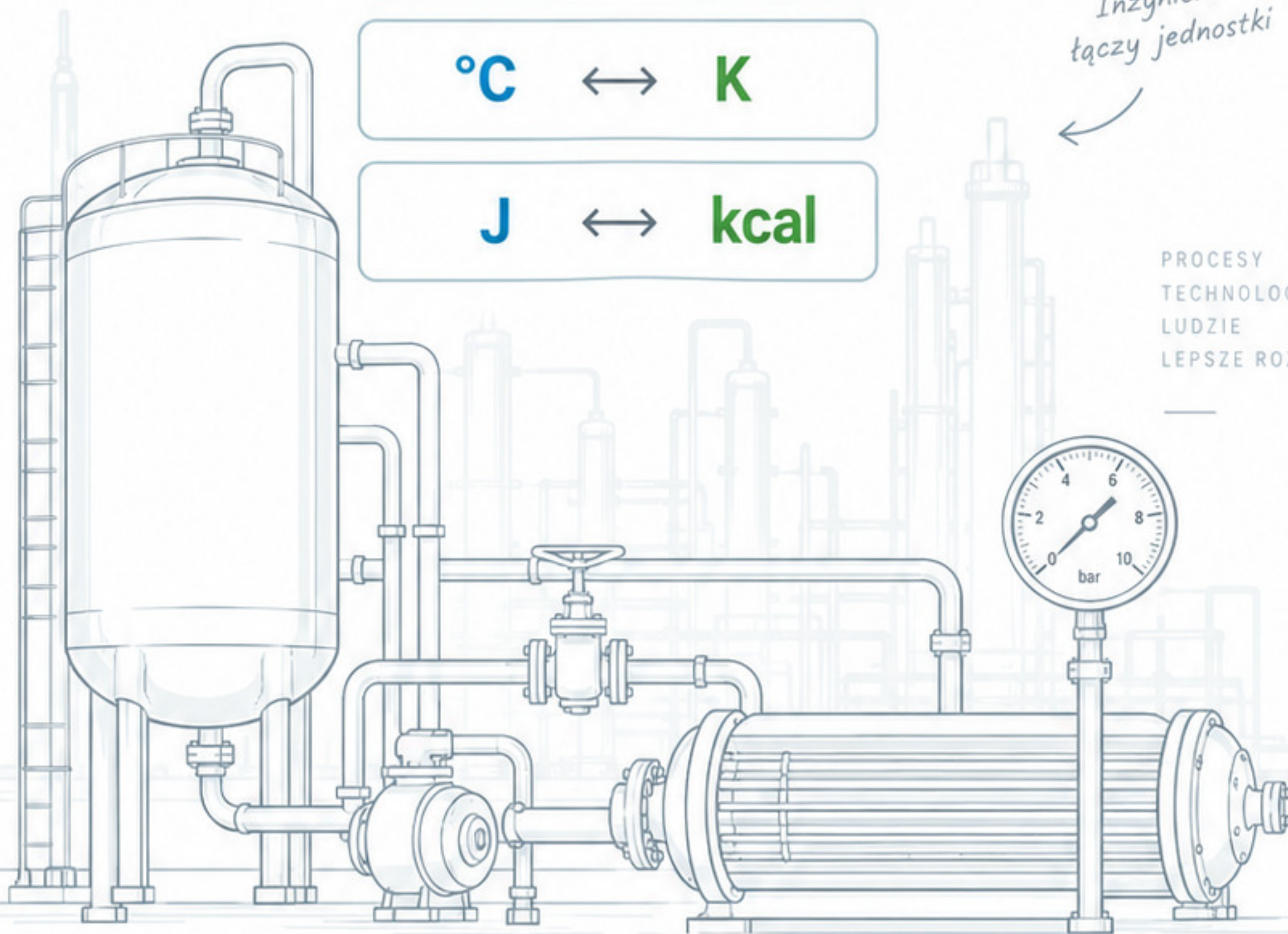
*Różne jednostki
ten sam świat*

*Inżynieria
łączy jednostki*

PROCESY
TECHNOLOGIE
LUDZIE
LEPSZE ROZWIĄZANIA

CHEMIA
PROCESY
INŻYNIERIA
PRZYSZŁOŚĆ

WIEDZA WSPÓLNYM JĘZYKIEM
INŻYNIERII CHEMICZNEJ



Informacje o materiale

Wiedza, która ułatwia codzienną pracę w inżynierii chemicznej.



PRAWA AUTORSKIE

© 2026 Tabela przeliczeń jednostek inżynierii chemicznej.

Wszelkie prawa zastrzeżone.



CEL MATERIAŁU

Materiał ma charakter **edukacyjny i pomocniczy**.

Służy do szybkiego sprawdzania najczęściej używanych jednostek oraz współczynników przeliczeniowych w inżynierii chemicznej.



WAŻNA INFORMACJA

Przed zastosowaniem wartości w projekcie, dokumentacji technicznej lub obliczeniach o znaczeniu bezpieczeństwa należy sprawdzić wymagany standard, definicję jednostki oraz warunki odniesienia.



UWAGA TECHNICZNA

Niektóre oznaczenia spotykane w praktyce przemysłowej mogą zależeć od przyjętej konwencji, zwłaszcza jednostki odnoszące się do warunków standardowych gazu. Zawsze należy sprawdzić temperaturę i ciśnienie odniesienia.



CHEMIA • PROCESY • INŻYNIERIA • PRZYSZŁOŚĆ

Spis treści

Szybki dostęp do wszystkich modułów i tematów.

01. Podstawy przeliczania jednostek



- 04 — Start modułu
- 05 — Układ SI
- 06 — Przedrostki SI
- 07 — Metoda przeliczania
- 08 — Długość, powierzchnia i objętość
- 09 — Czas, prędkość i przyspieszenie

02. Ciśnienie i próżnia



- 10 — Start modułu
- 11 — Jednostki ciśnienia
- 12 — Pa, kPa, MPa, bar, mbar
- 13 — atm, Torr, mmHg
- 14 — psi, psia, psig
- 15 — Ciśnienie absolutne i względne

03. Temperatura i wielkości cieplne



- 16 — Start modułu
- 17 — °C, K i °F
- 18 — Różnice temperatur
- 19 — Ciepło właściwe
- 20 — Przewodność i przenikanie ciepła
- 21 — Strumień ciepła

04. Masa, ilość substancji i właściwości płynów



- 22 — Start modułu
- 23 — Masa
- 24 — Mol i masa molowa
- 25 — Gęstość
- 26 — Stężenia
- 27 — Lepkość

05. Objętość i przepływy procesowe



- 28 — Start modułu
- 29 — Objętość
- 30 — Przepływ objętościowy
- 31 — Przepływ masowy
- 32 — Przepływ molowy
- 33 — Nm³ i Sm³

06. Energia, moc i szybka tabela końcowa



- 34 — Start modułu
- 35 — Energia
- 36 — Moc
- 37 — Energia właściwa i entalpia
- 38 — Stała gazowa R
- 39 — Mega-tabela szybkich przeliczeń

Nie ucz się jej na pamięć. Korzystaj z niej mądrze.

Ta tabela powstała, żeby ułatwić Ci codzienną pracę
w inżynierii chemicznej.

W inżynierii chemicznej używamy wielu jednostek,
ponieważ dane pochodzą z różnych źródeł: podręczników,
przrządów pomiarowych, laboratoriów oraz odmiennych
systemów technicznych (np. SI, anglosaskiego).
Dlatego ważne jest, aby umieć szybko i poprawnie
przeliczać jednostki.



PODRĘCZNIKI



LABORATORIA



APARATURA
POMIAROWA



RÓŻNE SYSTEMY
TECHNICZNE

Z tego materiału możesz korzystać na trzy sposoby:

- 1 szybkie sprawdzenie współczynnika przeliczeniowego;
- 2 kontrola jednostek podczas wykonywania zadania;
- 3 szybka powtórka przed laboratorium, kolokwium lub egzaminem.

*Różne źródła. Te same wyzwania.
Jedna tabela.*

3 kroki

Jak korzystać z tabeli?



**Znajdź wielkość
fizyczną**

np. ciśnienie, przepływ
lub lepkość.



**Zidentyfikuj jednostkę
początkową i docelową**

np. bar $\rightarrow$ kPa
lub $\text{m}^3/\text{h} \rightarrow \text{L}/\text{min}$.



**Zastosuj współczynnik
i sprawdź wymiar**

Upewnij się, że wynik ma
poprawną jednostkę.

Przykład

Jeżeli **1 bar = 100 kPa**, to **2,5 bar = 250 kPa**.

Mnożymy wartość przez współczynnik, a wynik zapisujemy z odpowiednią jednostką.



Jednostka jest częścią wyniku — nie dodatkiem do liczby.

Brak jednostki może prowadzić do błędów, nieporozumień i niebezpiecznych sytuacji
w praktyce inżynierskiej.

MODUŁ 01

Podstawy przeliczania jednostek

Nauczyć użytkownika czytać jednostki, rozumieć przedrostki SI i wykonywać przeliczenia bez mechanicznego zgadywania, czy należy mnożyć, czy dzielić.

Kilka prostych zasad pozwala uniknąć większości błędów w przeliczeniach jednostek.

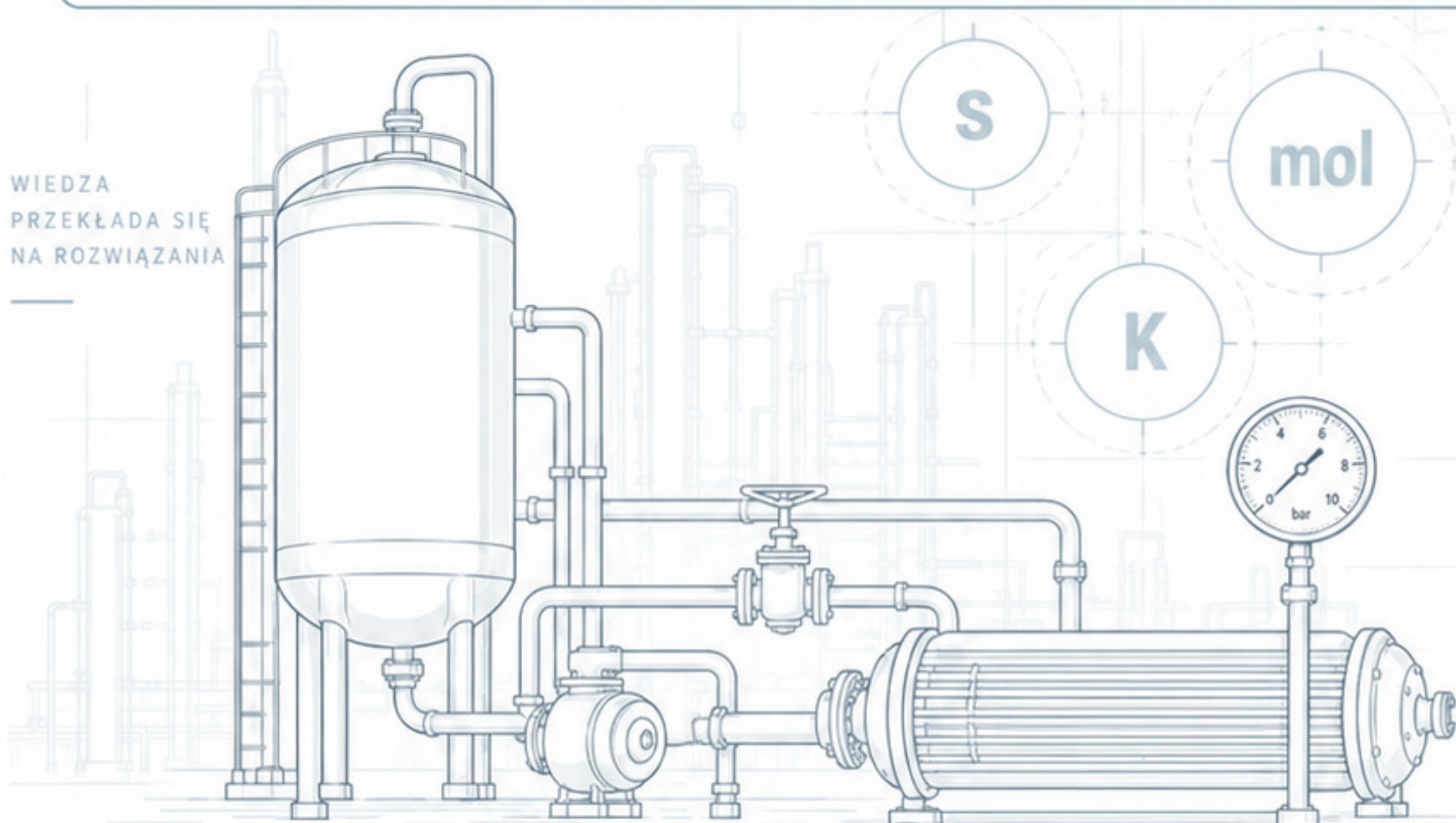
- jednostki podstawowe SI;
- przedrostki i potęgi dziesięciu;
- metoda współczynników przeliczeniowych;
- długość, powierzchnia i objętość;
- czas, prędkość i przyspieszenie.

JEDNOSTKI
TWORZĄ
MOŻLIWOŚCI

$$\text{wartość} \times \text{współczynnik} = \text{wartość w nowej jednostce}$$

WIEDZA
PRZEKŁADA SIĘ
NA ROZWIĄZANIA

PRECYZJA
ŁĄCZY
INŻYNIERIĘ



Najważniejsze jednostki SI

Układ SI: fundament obliczeń

Spójny język nauki, techniki i przemysłu.

Jednostki SI pozwalają porównywać, obliczać i projektować na całym świecie.

Wielkość	Jednostka	Symbol
długość	metr	m
masa	kilogram	kg
czas	sekunda	s
temperatura termodynamiczna	kelwin	K
ilość substancji	mol	mol
prąd elektryczny	amper	A
światłość	kandela	cd (rzadziej wykorzystywana w typowych obliczeniach procesowych)



Układ SI obejmuje formalnie **siedem jednostek podstawowych**.

Pa, J i W to jednostki pochodne, zbudowane z jednostek podstawowych.

Jednostki pochodne, które zobaczysz cały czas

N	– siła	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$
Pa	– ciśnienie	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2$
J	– energia	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$
W	– moc	$1 \text{ W} = 1 \text{ J} / \text{s}$

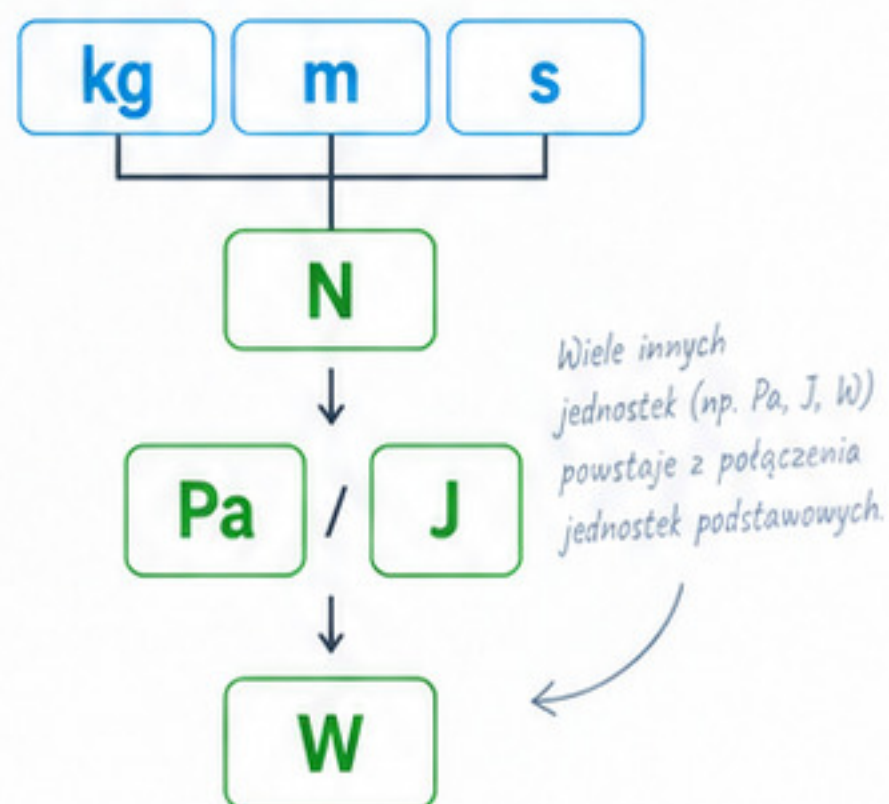


Pamiętaj!

Symbol jednostki nie jest skrótem językowym – zapisuj go zgodnie ze standardem, np. kg, Pa, kPa, mol.

Jak to się łączy?

Od podstawowych do pochodnych.



Przedrostki SI – bez liczenia zer

Szybciej, prościej, pewniej w obliczeniach.

Najczęściej spotykane przedrostki w materiałach studenckich i procesowych.

Przedrostek	Symbol	Mnożnik
giga	G	10^9
mega	M	10^6
kilo	k	10^3
hekto	h	10^2
deka	da	10^1
decy	d	10^{-1}
centy	c	10^{-2}
mili	m	10^{-3}
mikro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}

Przykłady zastosowań

Tych przeliczeń używasz na co dzień.

$$1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mmol} = 10^{-3} \text{ mol}$$

$$1 \text{ μm} = 10^{-6} \text{ m}$$



Uwaga!

Nie pomył tych symboli!

M $\neq$ **m**

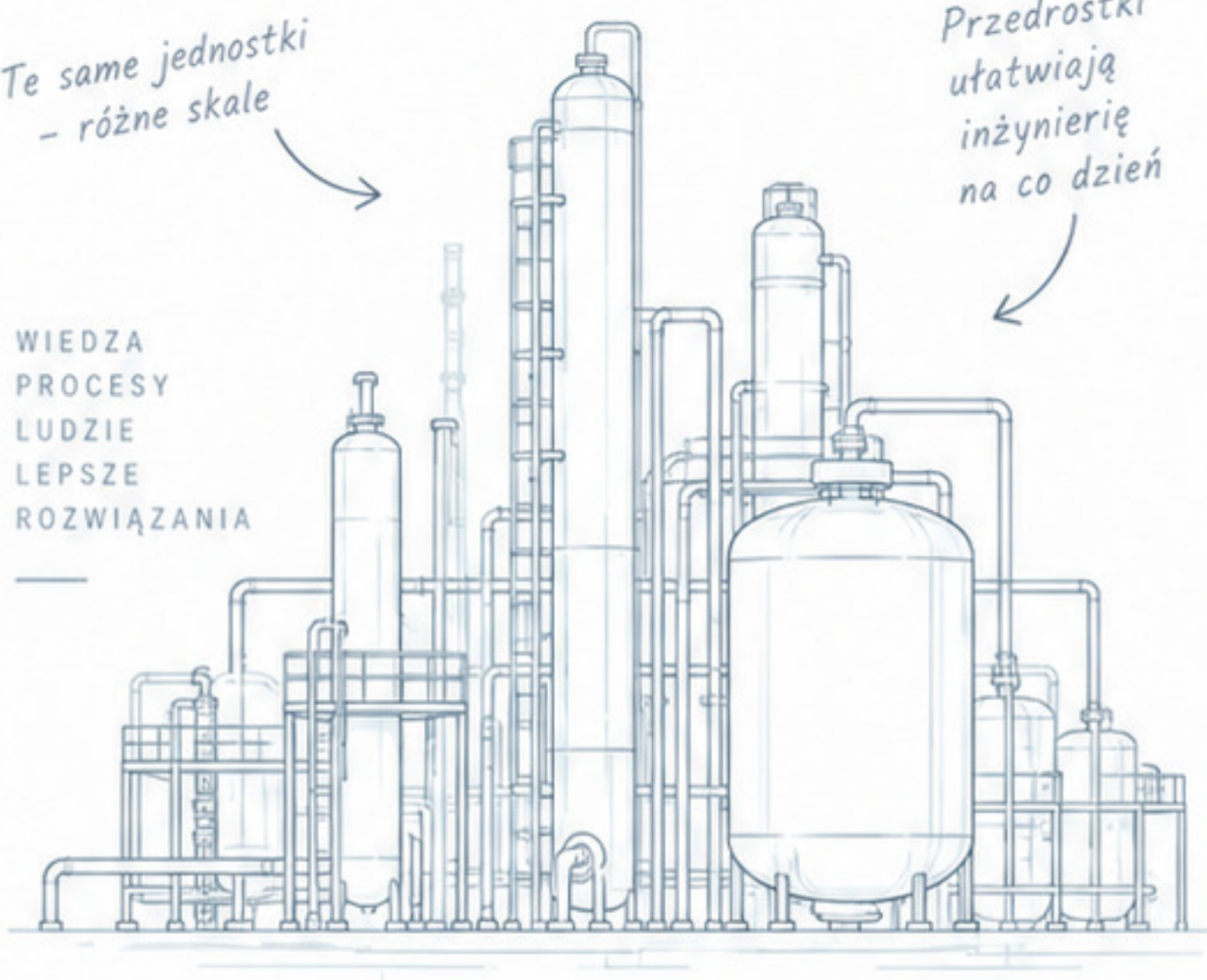
$$\text{M} = \text{mega} \\ = 10^6$$

$$\text{m} = \text{mili} \\ = 10^{-3}$$

Te same jednostki
– różne skale

Przedrostki
ułatwiają
inżynierię
na co dzień

WIEDZA
PROCESY
LUDZIE
LEPSZE
ROZWIĄZANIA



Mini zadanie

Wykonaj przeliczenie z użyciem przedrostków.

$$0,025 \text{ MPa} = ? \text{ kPa}$$

Rozwiązanie:
25 kPa

Długość ≠ powierzchnia ≠ objętość

Nie używaj tego samego współczynnika konwersji dla różnych wymiarów.

Przy jednostkach kwadratowych i sześciennych współczynnik konwersji należy podnieść do odpowiedniej potęgi.

Długość

Wymiar liniowy (1D)

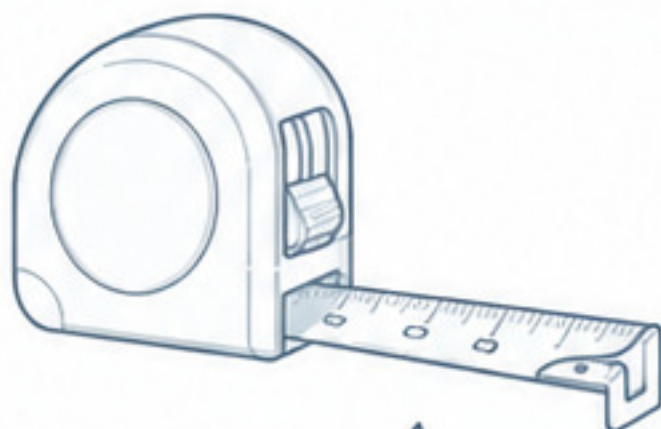


$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$$

$$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$$

$$1 \text{ in} = 25,4 \text{ mm}$$

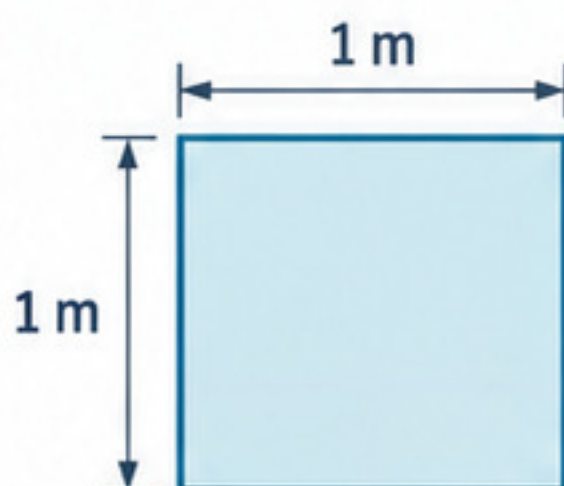
$$1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$$



Długość
w jednym wymiarze.

Powierzchnia

Wymiar kwadratowy (2D)



$$1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2$$

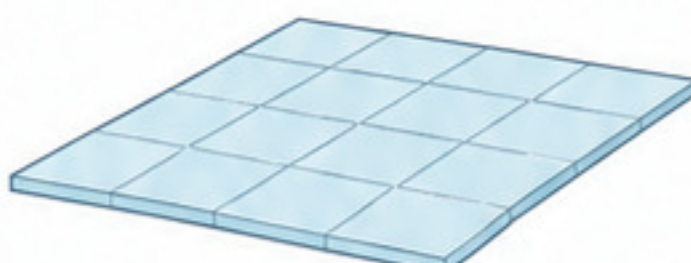
$$1 \text{ m}^2 = 10^6 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ ft}^2 = 0,09290304 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

ale

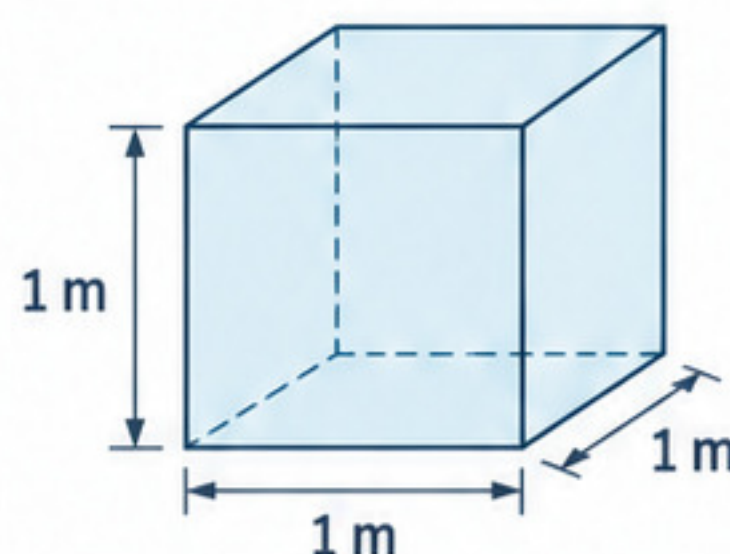
$$1 \text{ m}^2 = (100 \text{ cm})^2 = 10\,000 \text{ cm}^2$$



Powierzchnia
w dwóch wymiarach.

Objętość

Wymiar sześcienny (3D)



$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$$

$$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3$$

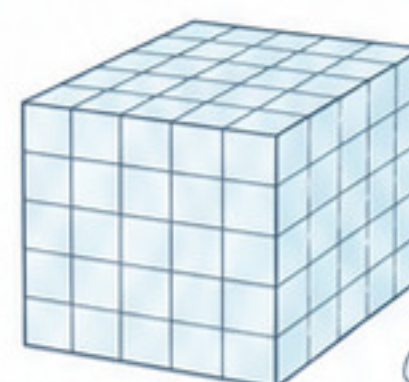
$$1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

ale

$$1 \text{ m}^3 = (100 \text{ cm})^3 = 1\,000\,000 \text{ cm}^3$$



Objętość
w trzech wymiarach.

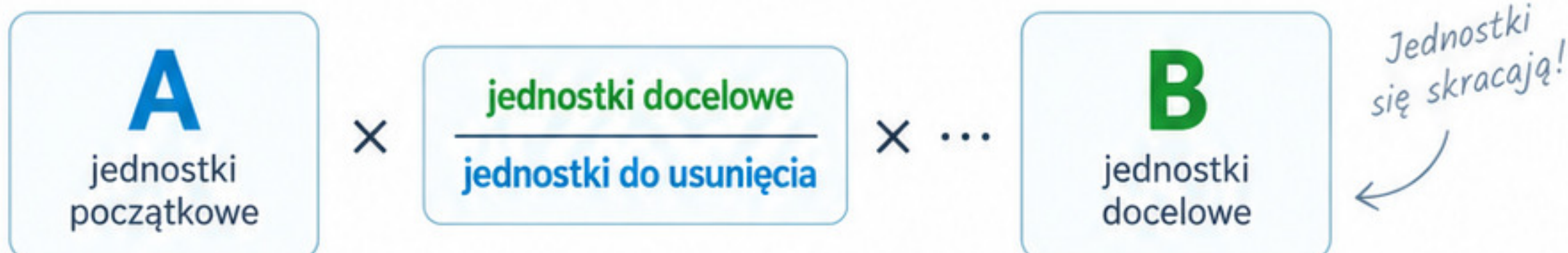


**Przy jednostkach kwadratowych i sześciennych
potęguj również współczynnik konwersji.**

Jeśli $1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$, to $1 \text{ m}^2 = 100^2 \text{ cm}^2$, a $1 \text{ m}^3 = 100^3 \text{ cm}^3$.

Jedna metoda, która działa prawie zawsze

Traktuj jednostki jak elementy algebraiczne. Jednostkę, którą chcesz usunąć, ustaw po przeciwnej stronie ułamka, aby mogła się skrócić.



Przykład 1

72 km/h $\rightarrow$ m/s

$$72 \frac{\cancel{\text{km}}}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \cancel{\text{km}}} \times \frac{1 \cancel{\text{h}}}{3600 \text{ s}} = 20 \text{ m/s}$$

Co się dzieje?

- 1 Kilometry skracają się:
km w liczniku i **km** w mianowniku.
- 2 Godziny skracają się:
h w liczniku i **h** w mianowniku.
- 3 Zostają pożądane jednostki: **m/s**.

Przykład 2

250 L/min $\rightarrow$ m³/h

$$250 \frac{\cancel{\text{L}}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \cancel{\text{L}}} \times \frac{60 \cancel{\text{min}}}{1 \text{ h}} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$$

Co się dzieje?

- 1 Litry skracają się:
L w liczniku i **L** w mianowniku.
- 2 Minuty skracają się:
min w liczniku i **min** w mianowniku.
- 3 Zostają pożądane jednostki: **m³/h**.



Sprawdź wynik

Jeśli niepożądane jednostki się nie skracają, układ współczynników prawdopodobnie jest błędny.

Np. jeśli w wyniku nadal występuje „km” przy konwersji na m/s, sprawdź ustawienie ułamków.



Nie zgaduj

Zamiast zastanawiać się: „mnożyć czy dzielić?” zapytaj:

„Jak ustawić współczynnik, aby jednostka się skróciła?”

Ta sama metoda działa dla każdej jednostki.



PROSTSZE
OBLICZENIA
LEPSZE
ROZWIĄZANIA

Czas i szybkość procesu

Podstawowe przeliczenia i praktyczne zastosowania w inżynierii chemicznej.



Czas

Najczęściej używane przeliczenia jednostek czasu.

$$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

$$1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 86\,400 \text{ s}$$



Prędkość

Najczęściej używane przeliczenia jednostek prędkości.

$$1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$$

$$1 \text{ km/h} = 0,277778 \text{ m/s}$$

$$1 \text{ ft/s} = 0,3048 \text{ m/s}$$



Przyspieszenie

Jednostka i ważne informacje.

$$\text{Jednostka SI: } \mathbf{m/s^2}$$

$$g_0 = \mathbf{9,80665 \text{ m/s}^2}$$

Symbol „g” może być używany jako wielokrotność standardowego przyspieszenia grawitacyjnego (g_0). Nie należy go mylić z gramem (g) w kontekstach jednostek.

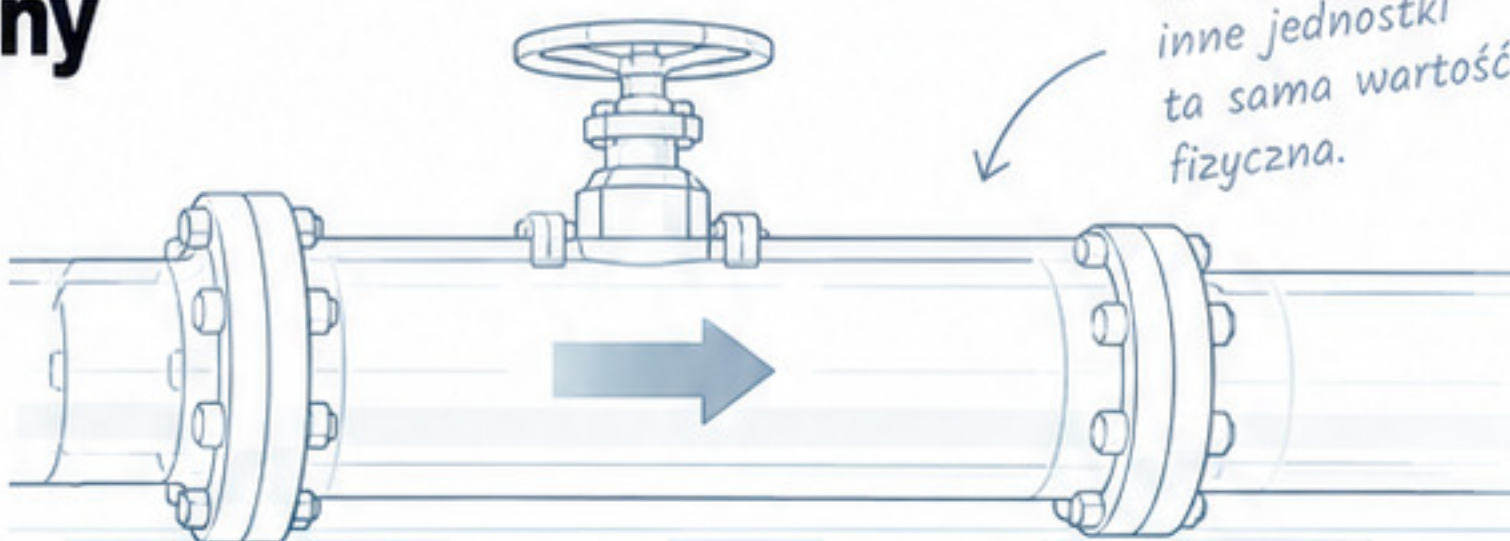


Przykład praktyczny

Konwersja prędkości przepływu.

$$\text{Prędkość płynu} = \mathbf{1,5 \text{ m/s}}$$

$$1,5 \times 3,6 = \mathbf{5,4 \text{ km/h}}$$



Warto pamiętać

Jednostki czasu pojawiają się ponownie w przepływach:

L/min, m³/h, kg/s, kmol/h.



Sprawdź wymiar

Podobne jednostki – różne znaczenie. Zawsze sprawdzaj wymiar fizyczny!

$$\mathbf{m/s} \rightarrow \text{prędkość}$$

długość
czas⁻¹

$$\mathbf{m/s^2} \rightarrow \text{przyspieszenie}$$

długość
czas⁻²

$$\mathbf{m^3/s} \rightarrow \text{przepływ objętościowy}$$

objętość
czas⁻¹

MODUŁ 02

Ciśnienie i próżnia

Nauczyć użytkownika szybko rozpoznawać i przeliczać najczęściej spotykane jednostki ciśnienia oraz poprawnie odróżniać ciśnienie absolutne, względne i próżnię.

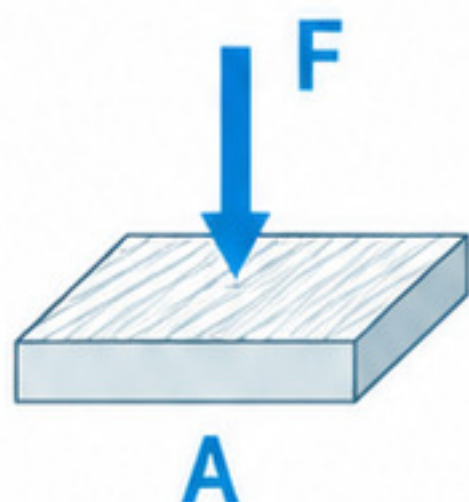
To samo ciśnienie może być zapisane jako **Pa, kPa, bar, atm, Torr, mmHg** lub **psi**. Kluczem jest rozpoznanie jednostki i punktu odniesienia.

- podstawowa definicja ciśnienia;
- Pa, kPa, MPa, bar i mbar;
- atm, Torr i mmHg;
- psi, psia i psig;
- ciśnienie absolutne i względne;
- podstawowe pojęcie próżni.

Definicja ciśnienia

$$p = \frac{F}{A}$$

p – ciśnienie [Pa]
F – siła [N]
A – pole powierzchni [m²]

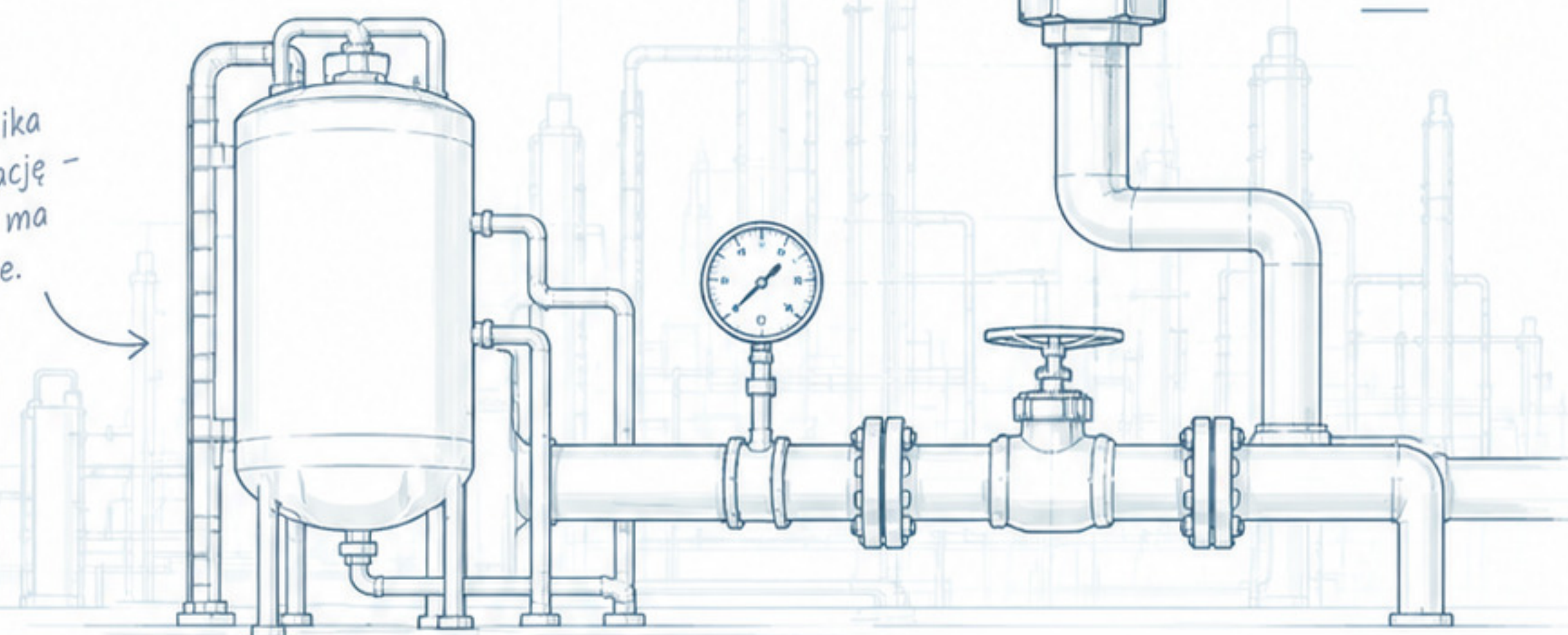


kPa | bar | atm | psi | Torr



CIŚNIENIE
ŁĄCZY
TEORIĘ
Z PRAKTYKĄ

Od zbiornika
po instalację –
ciśnienie ma
znaczenie.



Ciśnienie – jedna wielkość, wiele jednostek

Ciśnienie opisuje siłę działającą na określoną powierzchnię.

Jednostka	Symbol	Wartość w Pa
pascal	Pa	1 Pa
kilopascal	kPa	1 000 Pa
megapascal	MPa	1 000 000 Pa
bar	bar	100 000 Pa
atmosfera standardowa	atm	101 325 Pa
Torr	Torr	≈ 133,322 Pa
milimetr słupa rtęci	mmHg	≈ 133,322 Pa
pound-force per square inch	psi	≈ 6 894,76 Pa

Definicja ciśnienia

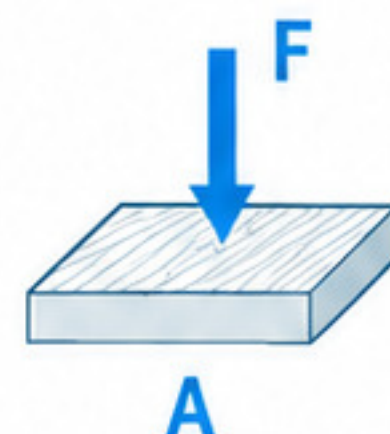
$$p = \frac{F}{A}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

p – ciśnienie [Pa]

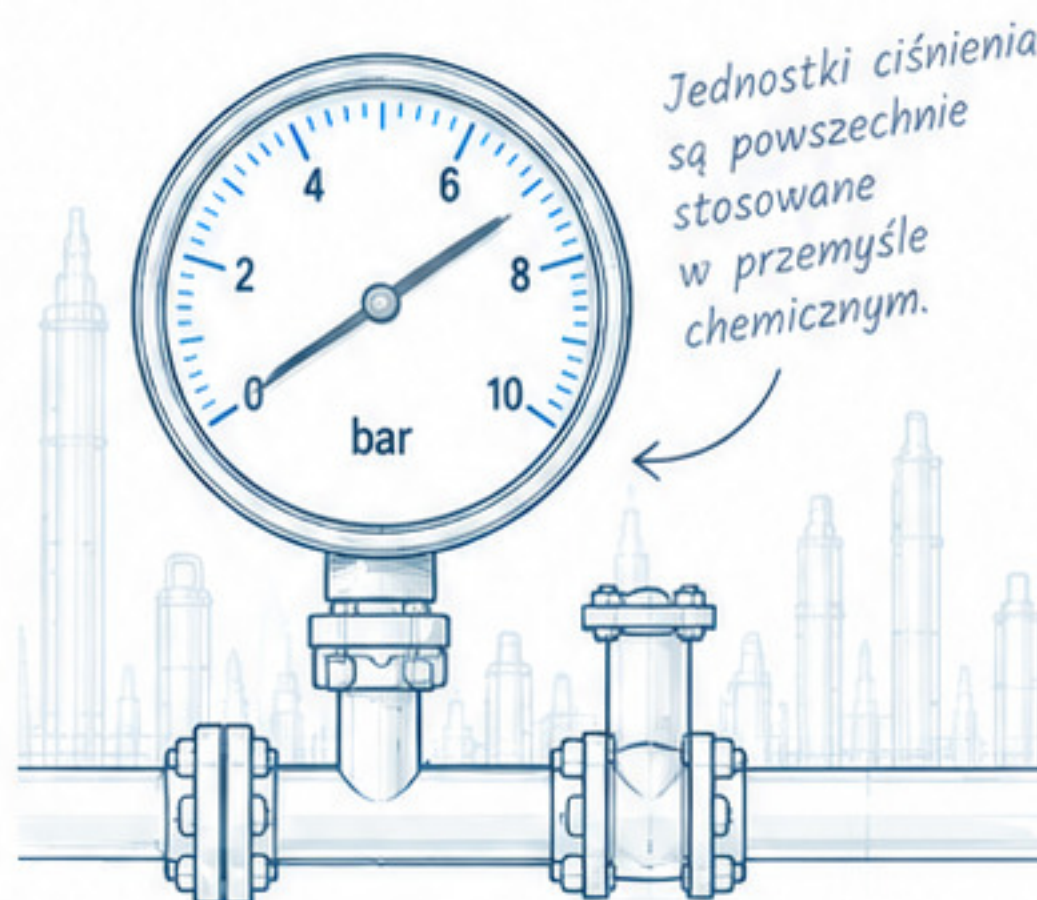
F – siła [N]

A – pole powierzchni [m²]



$$1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa} = 0,1 \text{ MPa}$$

To najczęściej używane przeliczenie w praktyce inżynierskiej.

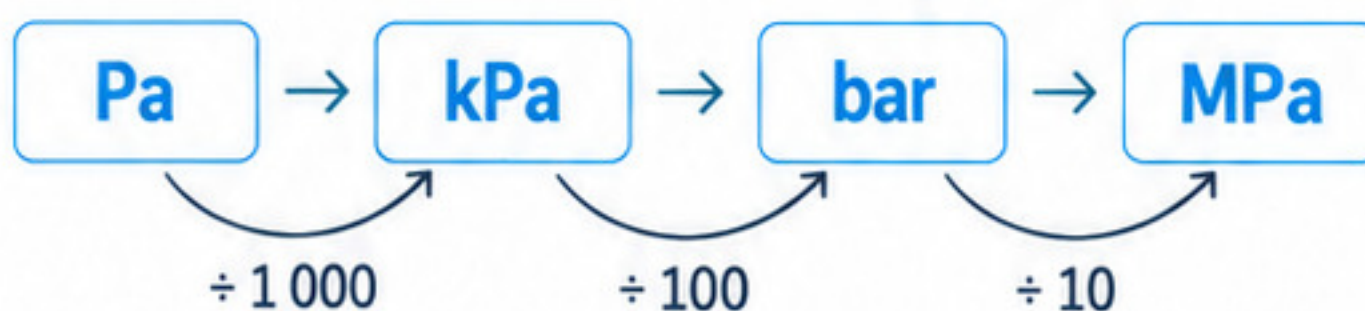


Przykład 1 350 kPa = ?

$$350 \text{ kPa} \div 100 = 3,5 \text{ bar}$$

$$350 \text{ kPa} = 3,5 \text{ bar}$$

Schemat przeliczania jednostek



Pamiętaj!

Nie zakładaj automatycznie, że odczyt „2 bar” oznacza ciśnienie absolutne. Trzeba sprawdzić, względem jakiego poziomu zostało określone.



Warto wiedzieć

Istnieją różne rodzaje ciśnienia: bezwzględne (absolutne), względne (nadciśnienie) i podciśnienie (względem atmosfery). Zawsze sprawdzaj, jaki rodzaj ciśnienia podano.

Pa, kPa, MPa i bar — szybkie przeliczenia

Gotowe przeliczniki używane najczęściej w europejskiej praktyce technicznej.

Z	Na	Działanie
Pa	kPa	$\div 1\,000$
kPa	Pa	$\times 1\,000$
kPa	MPa	$\div 1\,000$
MPa	kPa	$\times 1\,000$
bar	Pa	$\times 100\,000$
bar	kPa	$\times 100$
bar	MPa	$\times 0,1$
kPa	bar	$\div 100$
MPa	bar	$\times 10$
mbar	bar	$\div 1\,000$

Przykład 1

2,8 bar $\rightarrow$ kPa

$$2,8 \times 100 = \mathbf{280\,kPa}$$

Przykład 2

750 kPa $\rightarrow$ bar

$$750 \div 100 = \mathbf{7,5\,bar}$$

Przykład 3

1,6 MPa $\rightarrow$ bar

$$1,6 \times 10 = \mathbf{16\,bar}$$

Najważniejsze zależności

$$\mathbf{1\,bar} = 100\,000\,Pa$$

$$\mathbf{1\,bar} = 100\,kPa$$

$$\mathbf{1\,MPa} = 10\,bar$$

$$\mathbf{1\,mbar} = 100\,Pa$$



Nie mylić:

mbar = milibar z:
MPa = megapascal.
Różnica wielkości
jest ogromna.

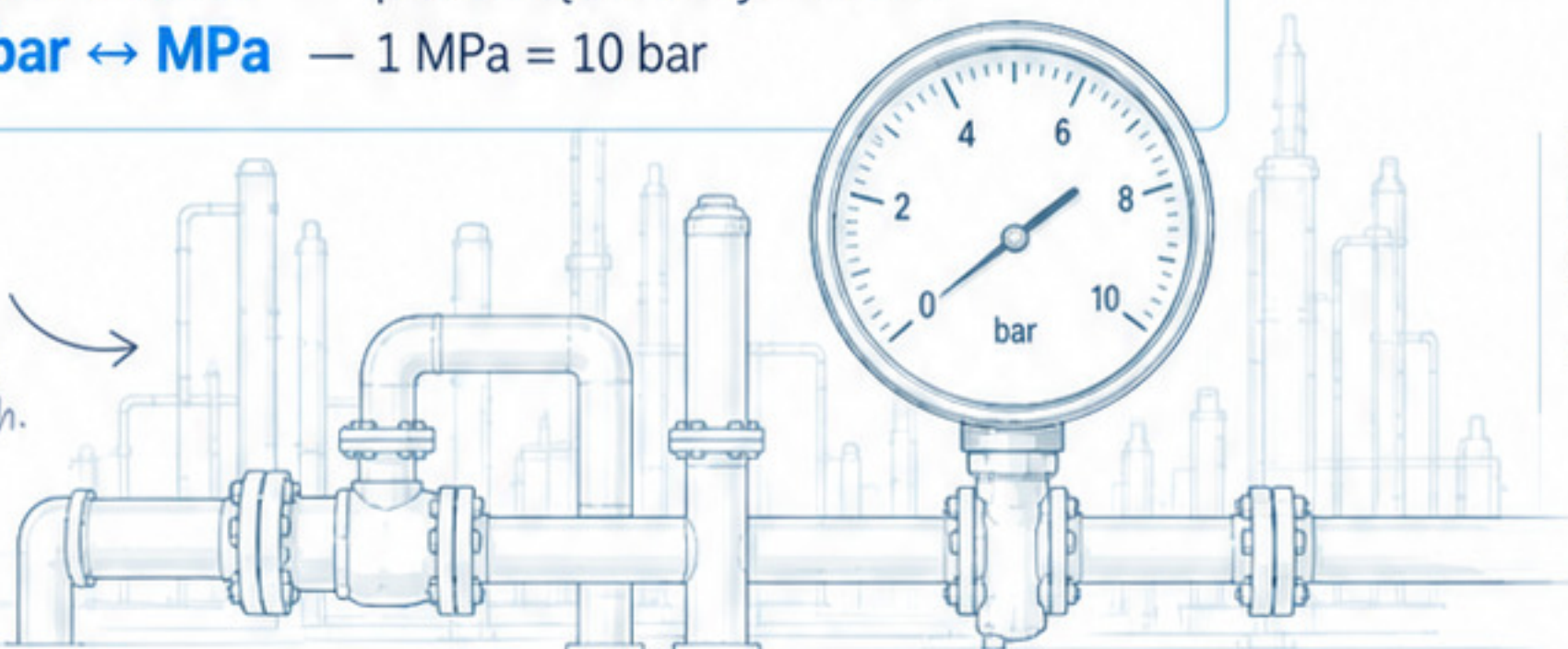


Najczęstszy skrót myślowy

bar $\leftrightarrow$ kPa — przesunięcie o czynnik 100

bar $\leftrightarrow$ MPa — 1 MPa = 10 bar

Ciśnienie
to kluczowy
parametr
w procesach
chemicznych.



PRAKTYCZNE
PRZELICZENIA
REALNE
ZASTOSOWANIA

Atmosfera, Torr i mmHg

Jednostki często spotykane w termodynamice, technice próżniowej, laboratoriach oraz w danych literaturowych.

Kluczowe równoważności

Warto zapamiętać:

$$1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ atm} = 1,01325 \text{ bar}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ Torr}$$

Jednostka	Przybliżona równoważność
1 atm	101,325 kPa
1 atm	1,01325 bar
1 atm	760 Torr
1 Torr	$\approx 133,322 \text{ Pa}$
1 mmHg	$\approx 133,322 \text{ Pa}$
760 mmHg	$\approx 1 \text{ atm}$



Torr i mmHg są bardzo zbliżone liczbowo i w wielu prostych obliczeniach spotyka się je zamiennie, ale ich formalne definicje nie są identyczne.

Przykłady obliczeń

Przykład 1

0,5 atm → kPa

$$0,5 \times 101,325 = 50,6625 \text{ kPa}$$

Przykład 2

380 Torr → atm

$$380 \div 760 = 0,5 \text{ atm}$$

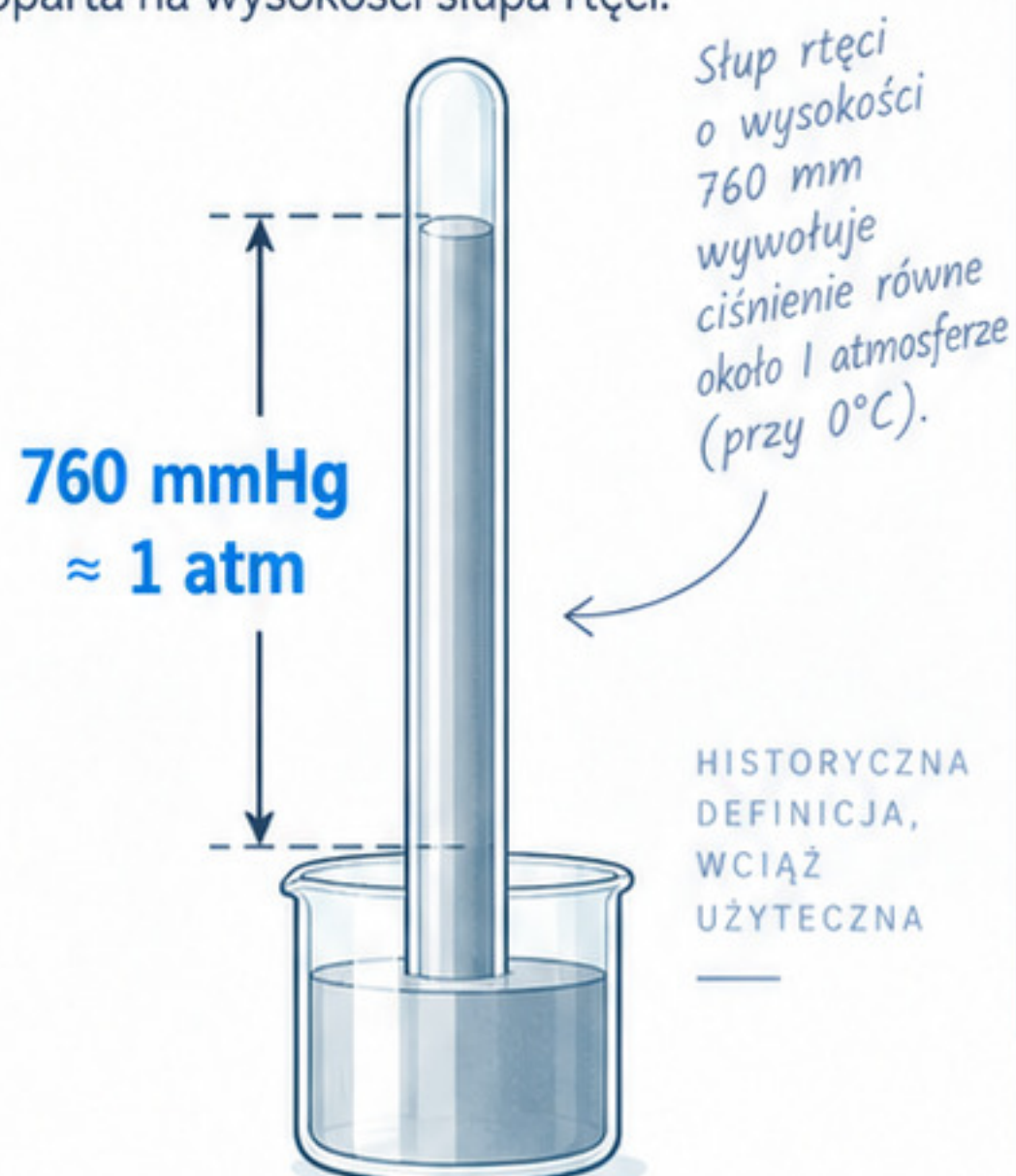
Przykład 3

100 Torr → Pa

$$100 \times 133,322 \approx 13\,332,2 \text{ Pa}$$

Słup rtęci

Tradycyjna definicja atmosfery oparta na wysokości słupa rtęci.



Gdzie je spotkasz?

- atm → termodynamika, równania gazowe
- Torr → technika próżniowa
- mmHg → laboratoria, pomiary historyczne i wybrane zastosowania techniczne

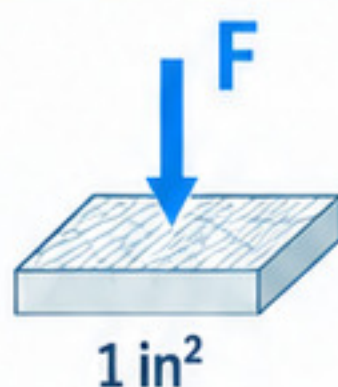
psi — kiedy dane pochodzą z systemu imperialnego

Naucz się bezpiecznie interpretować wartości ciśnienia w amerykańskiej dokumentacji, na urządzeniach, w kartach katalogowych i publikacjach.

Definicja jednostki

psi = pound-force per square inch

1 psi $\approx$ 6,89476 kPa



Punkty odniesienia ciśnienia

Ciśnienie powyżej atmosfery



np. **30 psig $\approx$ 44,7 psia**
przy standardowym ciśnieniu atmosferycznym

Ciśnienie atmosferyczne



$\approx$ 14,7 psia = 0 psig
(przy standardowych warunkach)

Próżnia absolutna



0 psia

psia i psig różnią się punktem odniesienia!

psi $\neq$ zawsze ten sam punkt odniesienia

W systemie imperialnym spotkasz dwie najczęstsze odmiany tej jednostki.

psia

pounds per square inch absolute

Oznacza ciśnienie absolutne względem idealnej próżni.

psig

pounds per square inch gauge

Oznacza ciśnienie względne względem lokalnego ciśnienia atmosferycznego.



Na manometrach w USA często stosuje się jednostkę psi.

Przykład

20 psi $\rightarrow$ bar

$20 \times 0,0689476 \approx$ **1,379 bar**



Pamiętaj!

Nigdy nie przeliczaj psig na psia bez uwzględnienia ciśnienia atmosferycznego.



Dane w jednostkach imperialnych są powszechne w wielu branżach.

CIŚNIENIE ŁĄCZY TEORIĘ Z PRAKTYKĄ

Ciśnienie absolutne czy względne?

Uniknij jednego z najczęstszych i najbardziej kosztownych błędów w interpretacji ciśnienia.

Ciśnienie można mierzyć względem dwóch różnych punktów odniesienia.

- **Ciśnienie absolutne** — p_{abs} — odnoszone do idealnej próżni.
- **Ciśnienie względne** — p_g — odnoszone do ciśnienia atmosferycznego.

Ciśnienie absolutne:

$$p_{abs} = p_g + p_{atm}$$

Ciśnienie względne:

$$p_g = p_{abs} - p_{atm}$$

Przykład 1 Manometr pokazuje: 2 bar(g)

Przyjmując: $p_{atm} \approx 1,013 \text{ bar}$

otrzymujemy:

$$p_{abs} \approx 3,013 \text{ bar(a)}$$

Przykład 2 Jeżeli: $p_{abs} = 0,4 \text{ bar}$

to przy: $p_{atm} = 1,0 \text{ bar}$

ciśnienie względne wynosi około:

$$p_g = -0,6 \text{ bar}$$



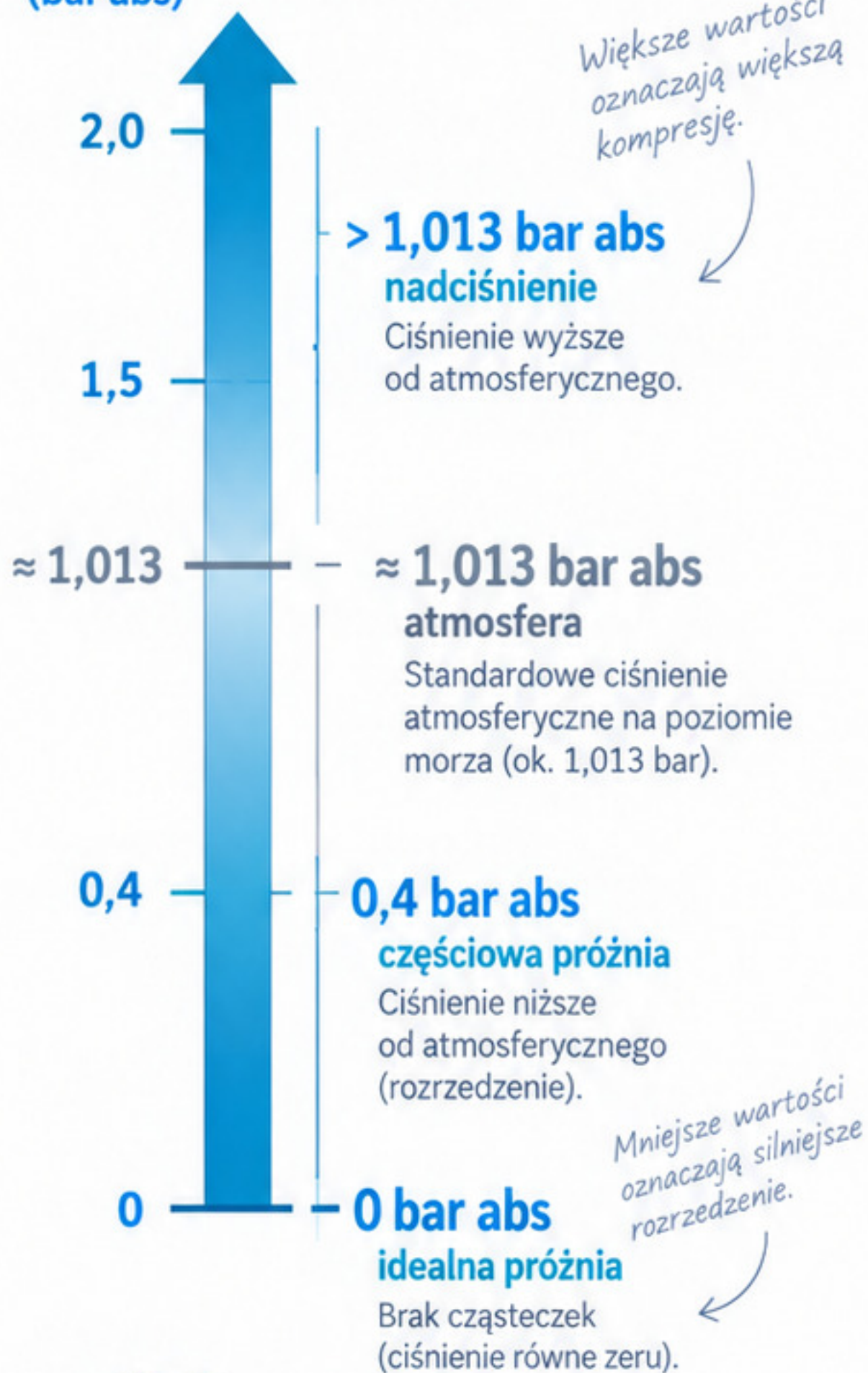
Uwaga przy równaniach gazowych

W równaniach takich jak $PV = nRT$ należy używać ciśnienia absolutnego, nie manometrycznego.



Zanim podstawisz ciśnienie do wzoru, **sprawdź jego punkt odniesienia.**

Skala ciśnienia absolutnego (bar abs)



Ten sam odczyt na manometrze jest ciśnieniem względnym (g).

MODUŁ 03

Temperatura i wielkości cieplne

Nauczyć użytkownika poprawnego przeliczania temperatur oraz jednostek wykorzystywanych w bilansach cieplnych i wymianie ciepła.

W termodynamice nie wystarczy znać liczbę. Trzeba wiedzieć, czy oznacza temperaturę bezwzględną, różnicę temperatur czy wielkość energetyczną.

- °C, K i °F;
- różnice temperatur;
- ciepło właściwe;
- pojemność cieplna;
- przewodność cieplna;
- współczynnik przenikania ciepła;
- strumień ciepła i gęstość strumienia ciepła.

Podstawowy wzór

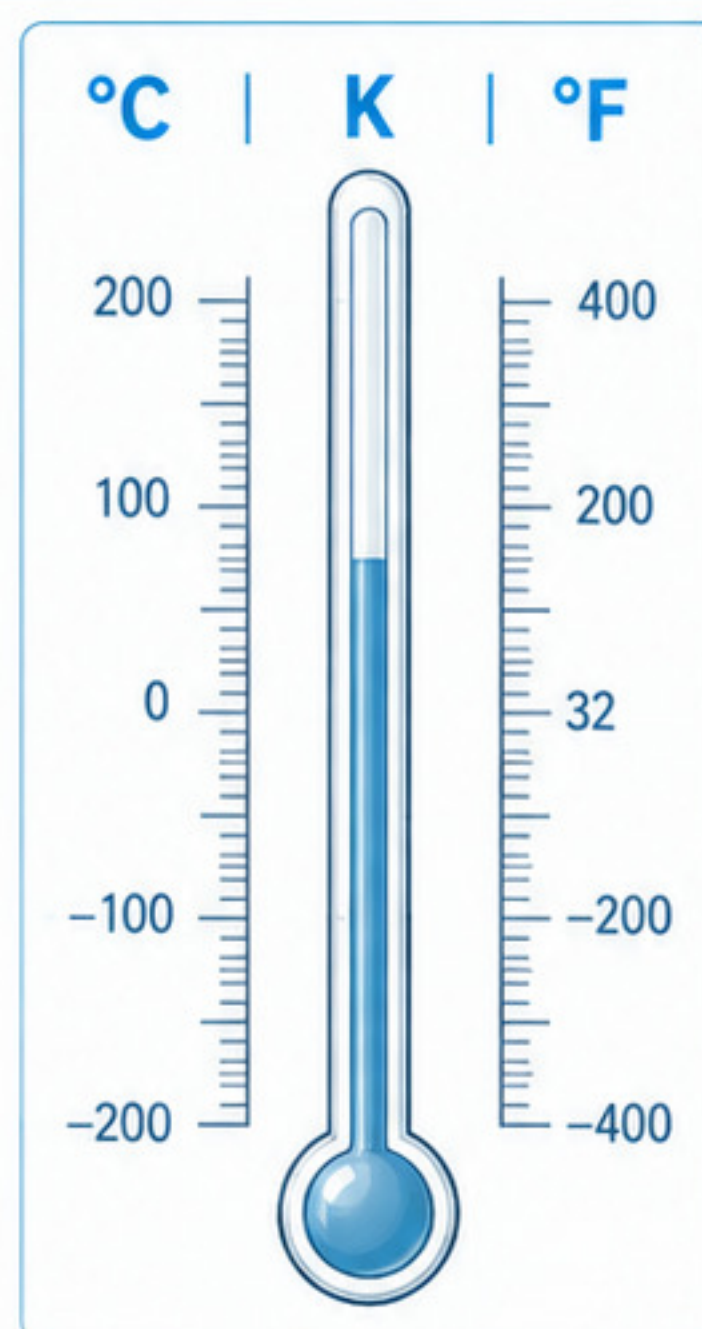
$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Q – ilość ciepła [J]

m – masa [kg]

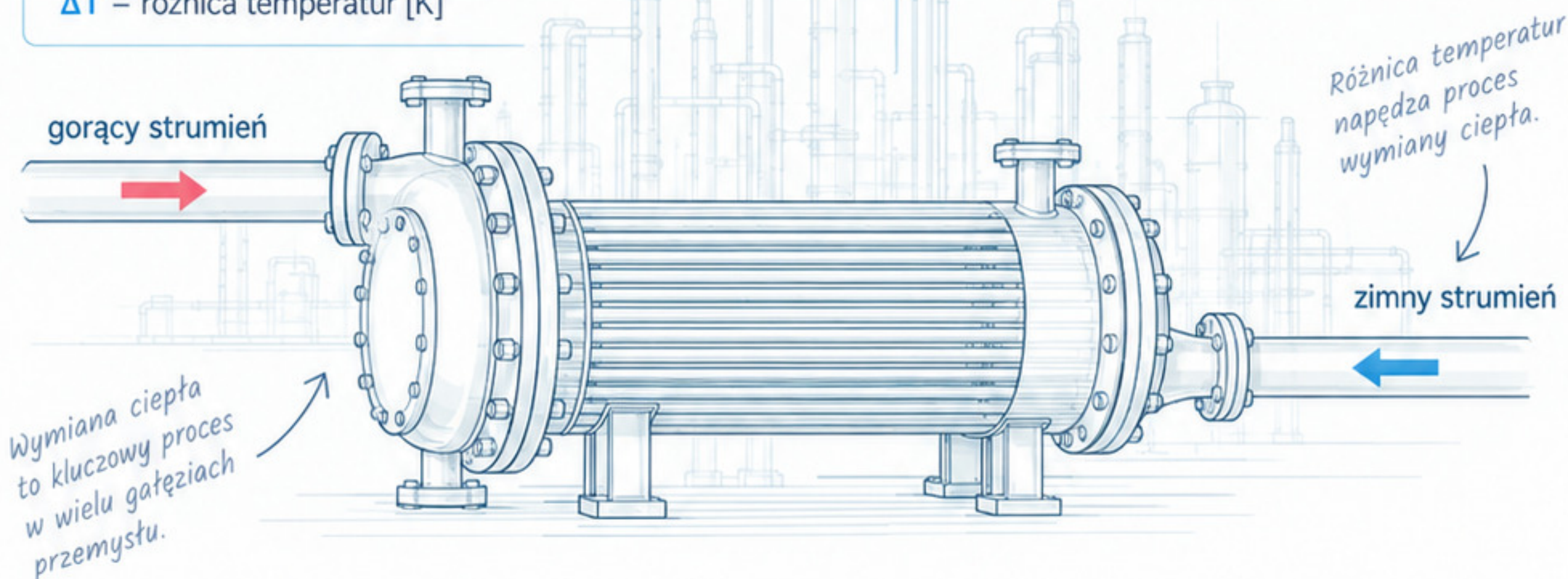
c_p – ciepło właściwe [J/(kg·K)]

ΔT – różnica temperatur [K]



Ta sama temperatura - różne skale.

JEDNOSTKI
ŁĄCZĄ
TEORIĘ
Z PRAKTYKĄ



Temperatura – °C, K i °F

Kompletny zestaw podstawowych wzorów do praktycznego przeliczania temperatury.

1 Celsius ↔ Kelvin

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$$

$$T(^{\circ}C) = T(K) - 273,15$$

Przykład

25°C

$$25 + 273,15 =$$

298,15 K

2 Celsius ↔ Fahrenheit

$$T(^{\circ}F) = T(^{\circ}C) \times \frac{9}{5} + 32$$

$$T(^{\circ}C) = [T(^{\circ}F) - 32] \times \frac{5}{9}$$

Przykład

100°C

$$100 \times 1,8 + 32 =$$

212°F

3 Kelvin ↔ Fahrenheit

Najczytelniej: konwersja przez °C

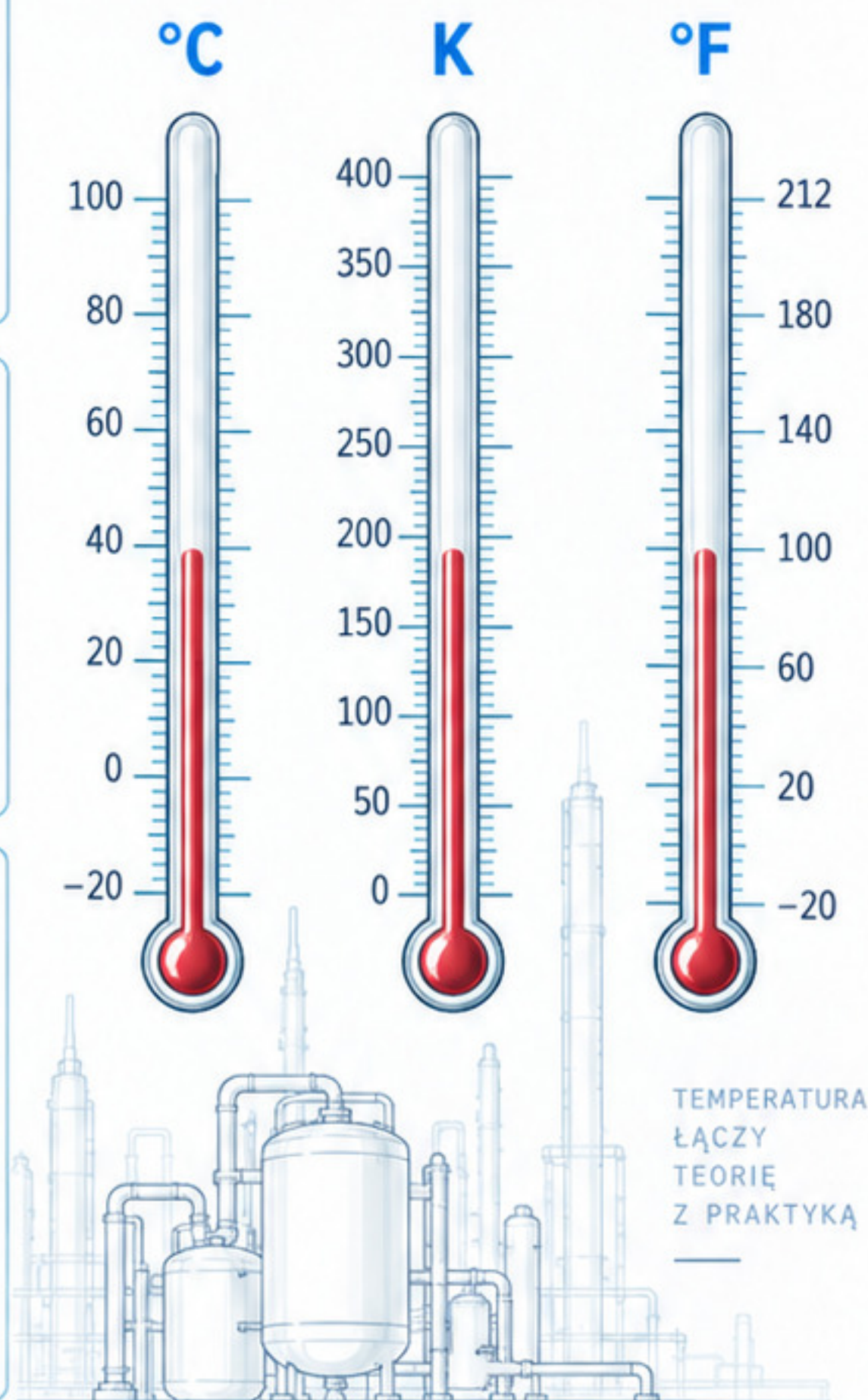
1. $T(^{\circ}C) = T(K) - 273,15$

2. $T(^{\circ}F) = T(^{\circ}C) \times \frac{9}{5} + 32$

Wzór bezpośredni:

$$T(^{\circ}F) = [T(K) - 273,15] \times \frac{9}{5} + 32$$

*Ta sama temperatura
w różnych jednostkach.*



Wybrane punkty odniesienia

Zjawisko	°C	K	°F
zero absolutne	-273,15	0	-459,67
zamarzanie wody	0	273,15	32
temperatura pokojowa, przykład	25	298,15	77
wrzenie wody przy 1 atm	100	373,15	212



Pamiętaj!

Kelwin zapisujemy **K**, nie °K.



Pamiętaj!

Przeliczanie temperatury różni się od przeliczania różnicy temperatur. To zostanie pokazane na następnej stronie.

Temperatura i ΔT to nie to samo

Temperatura to wartość określająca stan cieplny układu,
a różnica temperatur to przyrost lub spadek temperatury.

Kluczowa zasada

Dla temperatur:

$$25^{\circ}\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

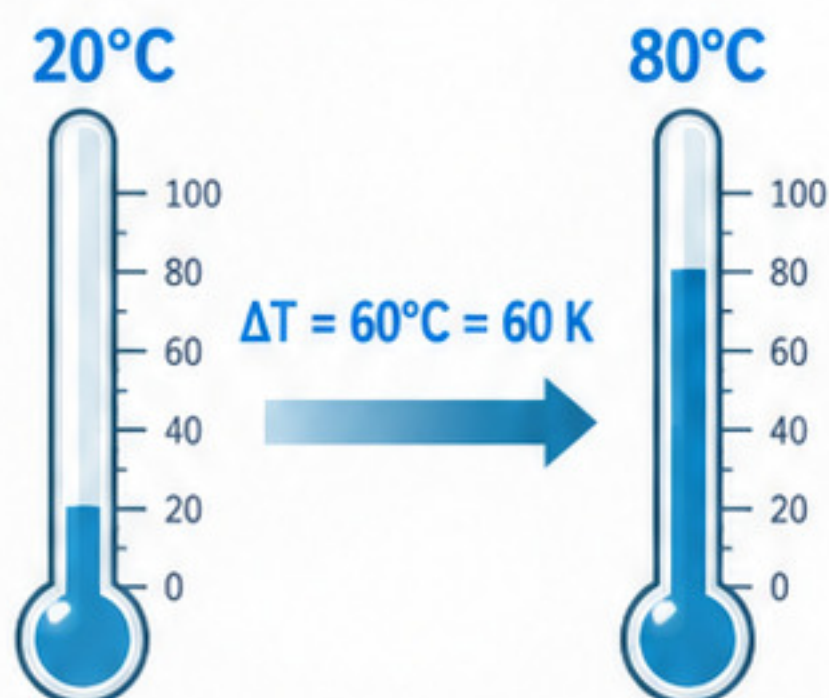
ale dla różnicy temperatur:

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

Skala $^{\circ}\text{C}$ i K ma tę samą wielkość kroku
(jednostka stopnia jest taka sama),
różnią się tylko punktem zerowym.

Przykład: ogrzewanie płynu

Płyn ogrzano z 20°C do 80°C .



$$\Delta T = 80 - 20 = 60^{\circ}\text{C}$$

Ta sama różnica:

$$\Delta T = 60 \text{ K}$$

$$\Delta T = 60^{\circ}\text{C} = 60 \text{ K}$$

To ta sama wielkość,
wyrażona w różnych
skalach.



Uważaj!

Nie pisać: $60^{\circ}\text{C} = 333,15 \text{ K}$,
gdy chodzi o różnicę temperatur.
To byłaby konwersja temperatury
bezwzględnej, a nie ΔT .

Różnice temperatur w skali Fahrenheita

Dla różnic:

$$\Delta T(^{\circ}\text{F}) = 1,8 \times \Delta T(^{\circ}\text{C})$$

Przykład:

$$10^{\circ}\text{C} \text{ różnicy} = 18^{\circ}\text{F} \text{ różnicy}$$

Skala $^{\circ}\text{F}$ ma większy
krok — jedna różnica
temperatury w $^{\circ}\text{C}$
odpowiada 1,8 różnicy
temperatury w $^{\circ}\text{F}$.

Przykład z bilansu cieplnego

Oblicz ilość ciepła potrzebną do ogrzania 5 kg wody
o 20 K (przyjmij $c_p = 4 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$).

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Dane:

$$m = 5 \text{ kg}$$

$$c_p = 4 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$$

$$\Delta T = 20 \text{ K}$$

Obliczenia:

$$Q = 5 \times 4 \times 20$$

$$Q = 400 \text{ kJ}$$

Wzór wykorzystuje
różnicę temperatur,
a nie temperatury
bezwzględne.

To samo ΔT możesz
podać w $^{\circ}\text{C}$ lub K.



W bilansach cieplnych bardzo często używasz ΔT ,
a nie temperatury absolutnej.

Ciepło właściwe – jednostki w bilansach energetycznych

Ciepło właściwe informuje, ile energii potrzeba, aby podnieść temperaturę jednostki masy substancji o jeden stopień.

Typowe jednostki

- J/(kg·K)
- kJ/(kg·K)
- J/(g·K)
- kcal/(kg·°C)
- Btu/(lb·°F)

$$1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) = 1 \text{ J}/(\text{g} \cdot \text{K})$$

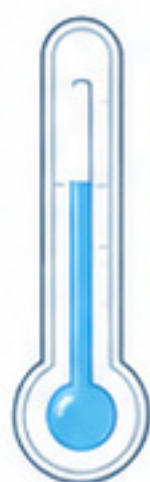
To ta sama wartość – różne, ale równoważne jednostki.

Dodatkowo: $1 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K}) = 1000 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

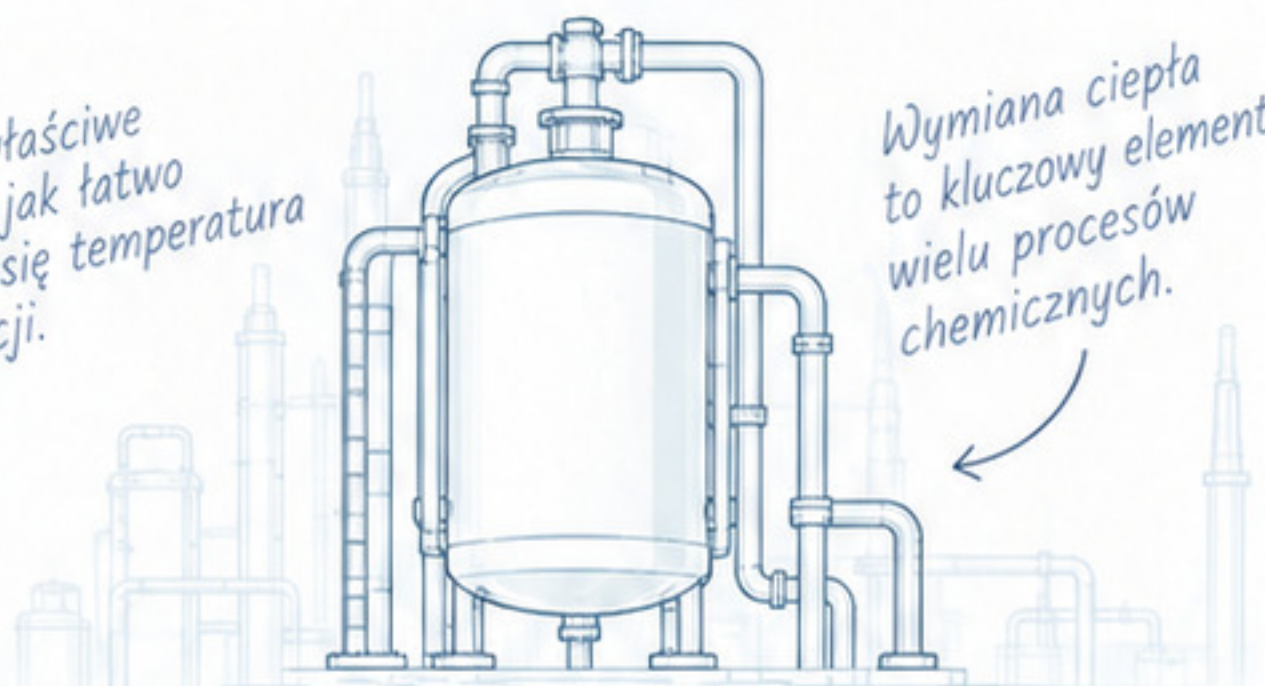
Przykład równoważności

$c_p = 4,18 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
jest liczbowo równoważne:

$$4,18 \text{ J}/(\text{g} \cdot \text{K})$$



Ciepło właściwe opisuje, jak łatwo zmienia się temperatura substancji.



Wymiana ciepła to kluczowy element wielu procesów chemicznych.

Ciepło właściwe vs pojemność cieplna

Ciepło właściwe c_p

energia / masa / temperatura
np. $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$

$$C = m \cdot c_p$$

Pojemność cieplna jest iloczynem masy i ciepła właściwego.

Pojemność cieplna C

energia / temperatura
np. kJ/K

Przykład obliczeniowy

10 kg substancji o $c_p = 2,0 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
ma pojemność cieplną:

$$C = 10 \times 2 = 20 \text{ kJ}/\text{K}$$

Box kontrolny

W równaniu: $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$
jednostki powinny skrócić się do jednostki energii.

$$\cancel{\text{kg}} \times \frac{\text{kJ}}{\cancel{\text{kg}} \cdot \cancel{\text{K}}} \times \cancel{\text{K}} = \text{kJ}$$



Nie łącz bezpośrednio

masy w gramach z wartością c_p podaną na kilogram, jeśli wcześniej nie wykonano konwersji.

Przewodność cieplna λ i współczynnik przenikania ciepła U

Ta strona pokazuje różnicę między właściwością materiału a parametrem opisującym wymianę ciepła przez cały układ.

Przewodność cieplna λ

Przewodność cieplna opisuje zdolność materiału do przewodzenia ciepła.

Jednostka SI: $W/(m \cdot K)$

Typowe formy:

- $W/(m \cdot K)$
- $kW/(m \cdot K)$

$$1 \text{ kW}/(m \cdot K) = 1000 \text{ W}/(m \cdot K)$$

Najważniejsza różnica

$$\lambda \rightarrow \frac{W}{(m \cdot K)}$$

$$U \rightarrow \frac{W}{(m^2 \cdot K)}$$

λ ma metr w mianowniku.
 U ma metr kwadratowy.

Współczynnik przenikania ciepła U

Współczynnik przenikania ciepła opisuje wymianę ciepła przez przegrodę lub aparat wymiennikowy z uwzględnieniem wielu oporów cieplnych (ścianki, warstw osadów, filmów konwekcyjnych po obu stronach itp.).

Typowa jednostka:

- $W/(m^2 \cdot K)$
- $kW/(m^2 \cdot K)$

Przykład obliczeniowy

Współczynnik przenikania ciepła wynosi:

$$U = 0,8 \text{ kW}/(m^2 \cdot K)$$

Po przeliczeniu na podstawowe jednostki:

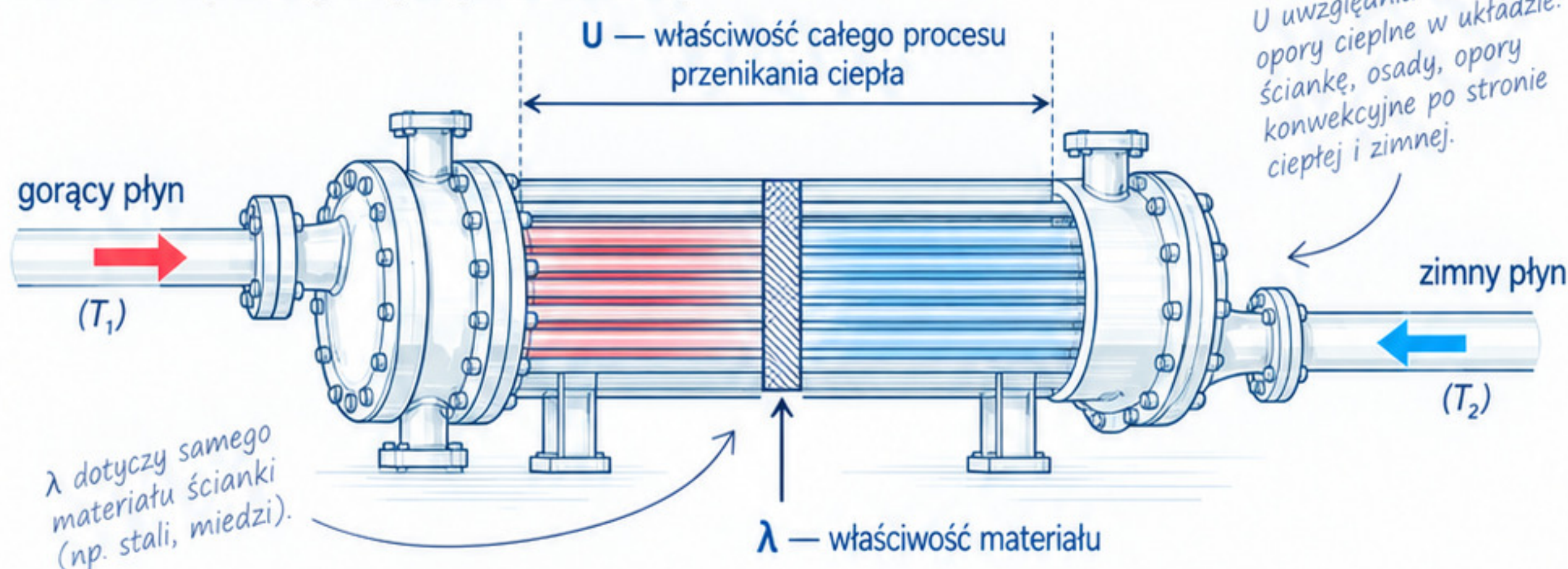
$$U = 800 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$



Nie wolno zamieniać λ i U

tylko dlatego, że oba parametry dotyczą wymiany ciepła. Mają inne znaczenie fizyczne i inne wymiary.

Schemat wymiany ciepła przez ściankę



Q , $\dot{Q}$ i q'' – trzy różne wielkości

Nie myl energii, strumienia ciepła i gęstości strumienia ciepła.
Każda z tych wielkości ma inne znaczenie, wzór i jednostkę.

Ilość ciepła Q

$Q \rightarrow$ energia

To energia przekazana w procesie.

Jednostki: **J, kJ, MJ**

Q to całkowita ilość ciepła, np. potrzebna do ogrzania substancji.

Strumień ciepła $\dot{Q}$

$\dot{Q} \rightarrow \frac{\text{energia}}{\text{czas}}$

Opisuje szybkość przekazywania energii.

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t}$$

Jednostka: **W = J/s**
Typowe formy: **W, kW, MW**

$\dot{Q}$ mówi, ile ciepła jest przekazywane w jednostce czasu.

Gęstość strumienia ciepła q''

$q'' \rightarrow \frac{\text{energia}}{\text{czas} \cdot \text{powierzchnia}}$

Opisuje strumień ciepła przypadający na powierzchnię.

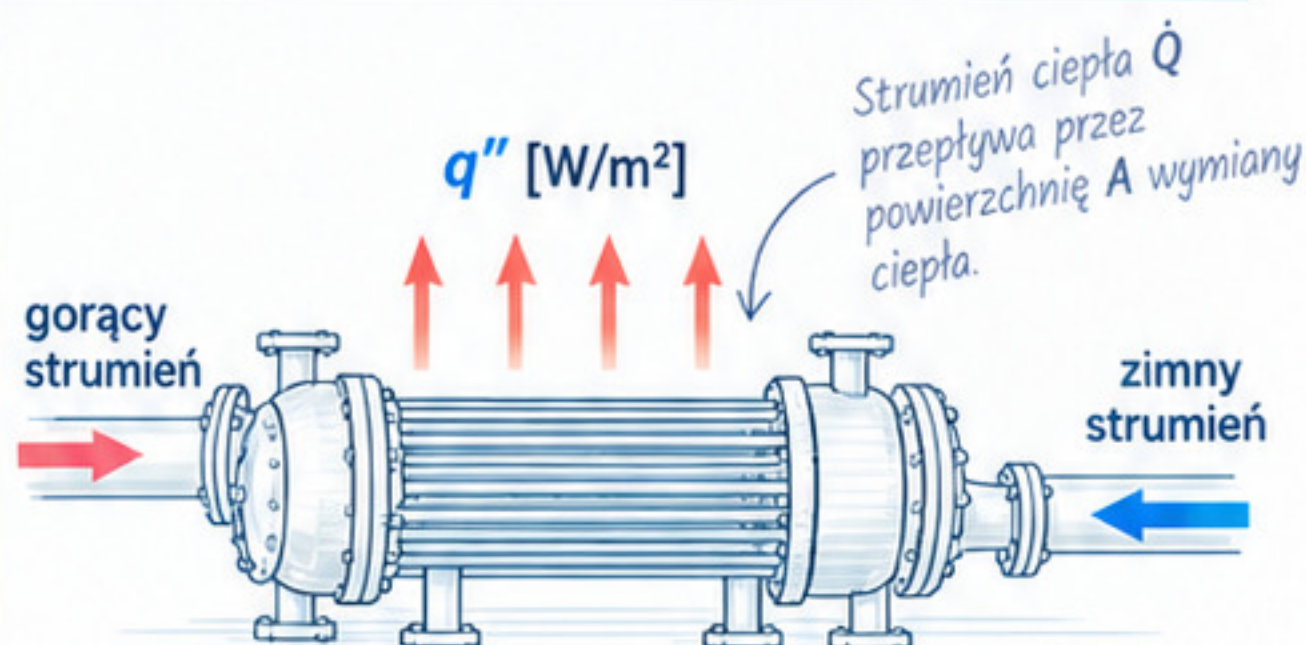
$$q'' = \frac{\dot{Q}}{A}$$

Jednostki: **W/m²**
Typowe formy: **W/m², kW/m²**

q'' określa intensywność wymiany ciepła na powierzchni, np. ścianie wymiennika.

Podsumowanie – porównanie wielkości

Wielkość	Symbol	Typowa jednostka
energia cieplna	Q	J, kJ
strumień ciepła	$\dot{Q}$	W, kW
gęstość strumienia	q''	W/m ²



Przykład obliczeniowy

Jeżeli wymiennik przekazuje $\dot{Q} = 120 \text{ kW}$ przez powierzchnię $A = 30 \text{ m}^2$, to gęstość strumienia ciepła wynosi:

$$q'' = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{120}{30} = \mathbf{4 \text{ kW/m}^2}$$

Większa powierzchnia oznacza mniejszą gęstość strumienia ciepła przy tym samym $\dot{Q}$.



kJ to energia. kW to energia na jednostkę czasu.

Nie porównuj ich bezpośrednio – to różne wielkości o różnych jednostkach.

MODUŁ 04

Masa, ilość substancji i właściwości płynów

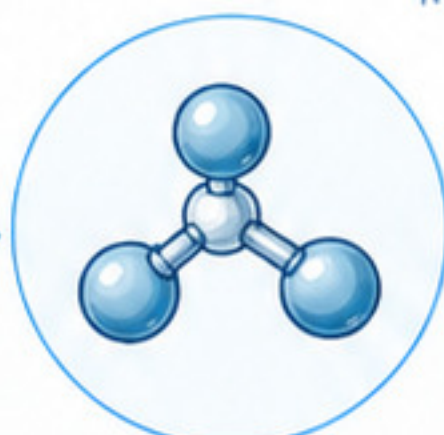
Ułatwić przeliczanie wielkości związanych z ilością materiału oraz właściwościami fizycznymi najczęściej wykorzystywanymi w bilansach masowych, obliczeniach procesowych i mechanice płynów.

Kilogram mówi, ile substancja waży. Mol mówi, ile jej cząsteczek lub jednostek chemicznych odpowiada danej ilości.

- masa i jednostki imperialne;
- mol, kmol i lbmol;
- masa molowa;
- gęstość;
- objętość właściwa;
- stężenia;
- udziały masowe i molowe;
- lepkość dynamiczna i kinematyczna.



kg
masa
(ile waży)



mol
ilość substancji
(ile cząsteczek)



m³
objętość
(ile miejsca zajmuje)

Różne sposoby
opisu tej samej
ilości materiału.

Podstawowe wzory

Ilość substancji

$$n = \frac{m}{M}$$

n – ilość substancji [mol]
m – masa [kg]
M – masa molowa [kg/mol]

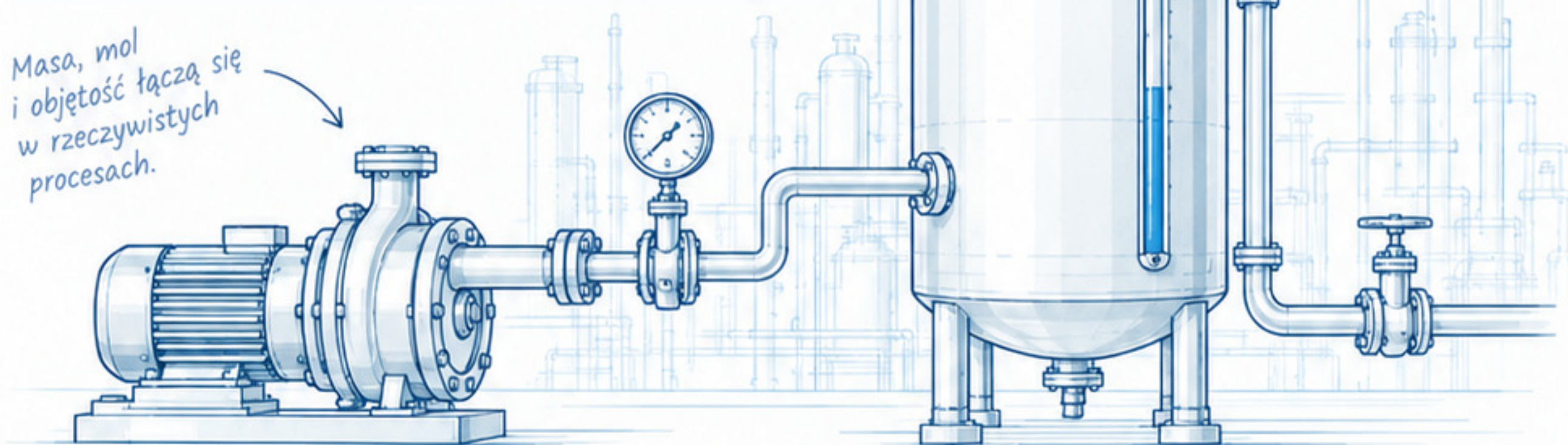
Gęstość

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ – gęstość [kg/m³]
m – masa [kg]
V – objętość [m³]

Masa, mol
i objętość łączą się
w rzeczywistych
procesach.

Właściwości płynów
są kluczowe w projektowaniu
i analizie procesów
przemysłowych.



Masa – od miligrama do tony

Zbiór najczęściej wykorzystywanych przeliczeń masy w laboratorium, bilansach materiałowych i dokumentacji technicznej.

Podstawowe jednostki i równoważności

Jednostka	Równoważność
1 kg	1000 g
1 g	1000 mg
1 mg	1000 μ g
1 t	1000 kg
1 lb	$\approx 0,453592$ kg
1 kg	$\approx 2,20462$ lb

Najważniejsze zależności

$$1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g}$$

$$1 \text{ g} = 10^3 \text{ mg}$$

$$1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$$

Każdy krok w skali masy to 1000 dla jednostek metrycznych.

Skala jednostek masy



Przykłady obliczeniowe

$$2,75 \text{ kg} \rightarrow \text{g}$$

$$2,75 \times 1000 =$$

$$2750 \text{ g}$$

$$500 \text{ lb} \rightarrow \text{kg}$$

$$500 \times 0,453592 \approx$$

$$226,8 \text{ kg}$$

$$0,035 \text{ g} \rightarrow \text{mg}$$

$$0,035 \times 1000 =$$

$$35 \text{ mg}$$

Pułapka symboli

Uważaj na wielkość liter – oznaczają różne jednostki!

$$\text{mg} = \text{miligram}$$

$$1 \text{ mg} = 10^{-3} \text{ g} \\ = 10^{-6} \text{ kg}$$

$$\text{Mg} = \text{megagram}$$

$$1 \text{ Mg} = 10^6 \text{ g} \\ = 1000 \text{ kg}$$

$$1 \text{ Mg} = 1000 \text{ kg} = 1 \text{ t}$$

Mała litera „m” to mili (10^{-3}), wielka „M” to mega (10^6). To zupełnie inne wartości!



Uwaga!

W obliczeniach przemysłowych często łatwo pomylić t/h z kg/h. Zawsze sprawdź rząd wielkości po konwersji.

$$1 \text{ t/h} = 1000 \text{ kg/h}$$

To tysiąckrotna różnica!

Mol i masa molowa – przejście między masą a ilością substancji

Dowiedz się, jak poprawnie przechodzić między kilogramami, molami i kilomolami substancji.

Mol opisuje ilość substancji. Masa molowa mówi, jaka masa odpowiada jednemu molowi lub kilomolowi substancji.

Podstawowy wzór

$$n = \frac{m}{M}$$

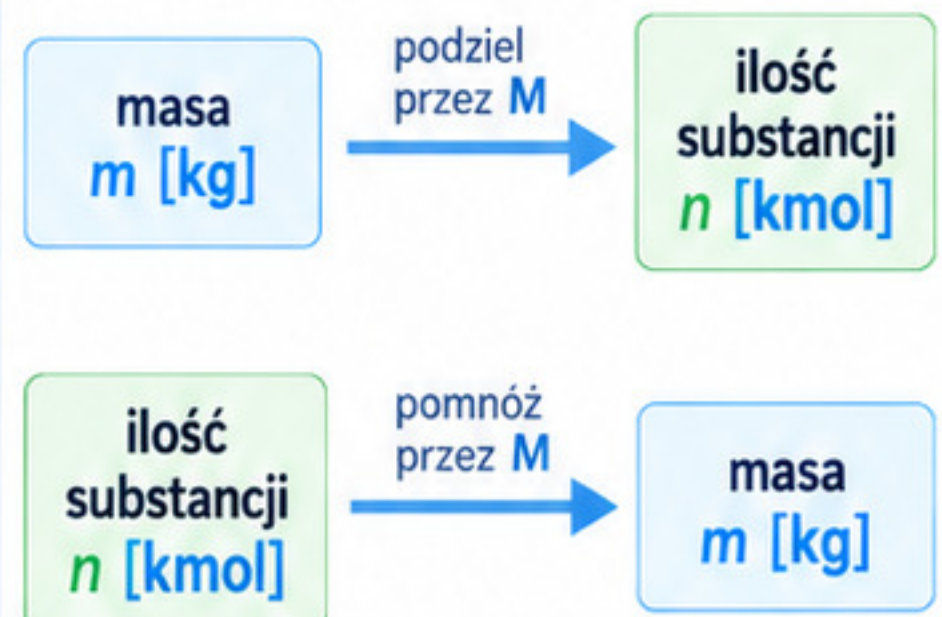
n – ilość substancji [mol lub kmol]
 m – masa [kg]
 M – masa molowa [kg/kmol lub g/mol]

Zgodność jednostek

Jeśli $m \rightarrow \text{kg}$ oraz $M \rightarrow \text{kg/kmol}$,
to $n \rightarrow \text{kmol}$.

Używaj spójnego układu jednostek, aby uniknąć błędów w obliczeniach.

Schemat przeliczeń



Przykład obliczeniowy – woda (H₂O)

Masa molowa wody:

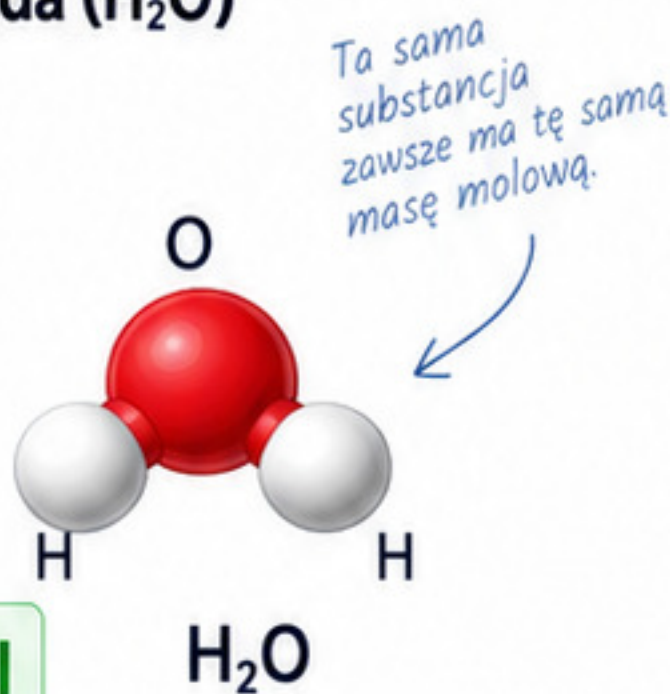
$$M_{\text{H}_2\text{O}} \approx 18,015 \text{ kg/kmol}$$

Masa próbki:

$$m = 36,03 \text{ kg}$$

Liczba moli (kilomoli):

$$n = \frac{36,03}{18,015} \approx 2,00 \text{ kmol}$$



Konwersja jednostek ilości substancji

Z	Na	Działanie
mol	kmol	÷ 1000
kmol	mol	× 1000
mmol	mol	÷ 1000
mol	mmol	× 1000

Jednostki imperialne

lbmol – pound-mole

$$1 \text{ lbmol} \approx 453,592 \text{ mol}$$

$$1 \text{ lbmol} \approx 0,453592 \text{ kmol}$$

lbmol jest używany w literaturze anglojęzycznej, zwłaszcza w USA.



Ważne!

Wartość liczbowa masy molowej zależy od przyjętego układu jednostek.

Dla wody:

$$18,015 \text{ g/mol} = 18,015 \text{ kg/kmol}$$

Te wartości są liczbowo równoważne (tylko inne jednostki).

Gęstość ρ i objętość właściwa v

Gęstość określa, jaka masa substancji znajduje się w danej objętości. Poniżej przedstawiono zależność między masą i objętością oraz najczęściej używane przeliczenia jednostek gęstości.

Definicja gęstości

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ – gęstość [kg/m³]
 m – masa [kg]
 V – objętość [m³]

Jednostka SI: **kg/m³**

Najczęściej stosowane jednostki gęstości

- **kg/m³** (kilogram na metr sześcienny)
- **g/cm³** (gram na centymetr sześcienny)
- **g/mL** (gram na mililitr)
- **kg/L** (kilogram na litr)

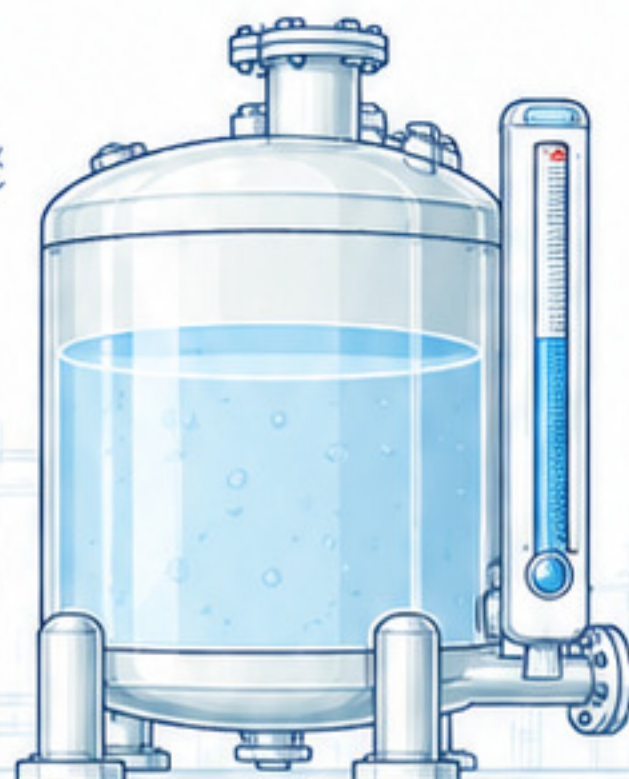
Ważne równoważności

$$1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$$

$$1 \text{ g/mL} = 1 \text{ g/cm}^3$$

Gęstość opisuje, ile masy zawiera określona objętość substancji.



Ta sama objętość różnych substancji może mieć różną masę – dlatego ich gęstość jest różna.

Przykład obliczeniowy – gęstość

Gęstość substancji wynosi **0,85 g/cm³**.
Ile to w jednostkach kg/m³?

$$0,85 \text{ g/cm}^3 \times 1000 = \mathbf{850 \text{ kg/m}^3}$$

Szybkie przeliczenia – gęstość

Gęstość	Równoważność
1 g/cm³	1000 kg/m ³
1 kg/L	1000 kg/m ³
1 kg/m³	0,001 g/cm ³

Objętość właściwa

$$v = \frac{V}{m}$$

v – objętość właściwa [m³/kg]
 V – objętość [m³]
 m – masa [kg]

Jednostka SI: **m³/kg**

Zależność z gęstością

$$v = \frac{1}{\rho}$$

Objętość właściwa jest odwrotnością gęstości.

Przykład obliczeniowy – objętość właściwa

Jeżeli $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$, to

$$v = \frac{1}{800} = \mathbf{0,00125 \text{ m}^3/\text{kg}}$$



Nie mylić gęstości z ciężarem właściwym.

Gęstość ma jednostkę masy na objętość.

Stężenie – zawsze sprawdź, co jest w liczniku i mianowniku

Najczęstsze sposoby opisywania składu mieszanin oraz ich wzajemne zależności. W praktyce ważne jest, co znajduje się w liczniku (co mierzymy) i w mianowniku (czego dotyczy stężenie).

1. Stężenie masowe

Najczęściej używane jednostki:

- kg/m^3
- g/L
- mg/L

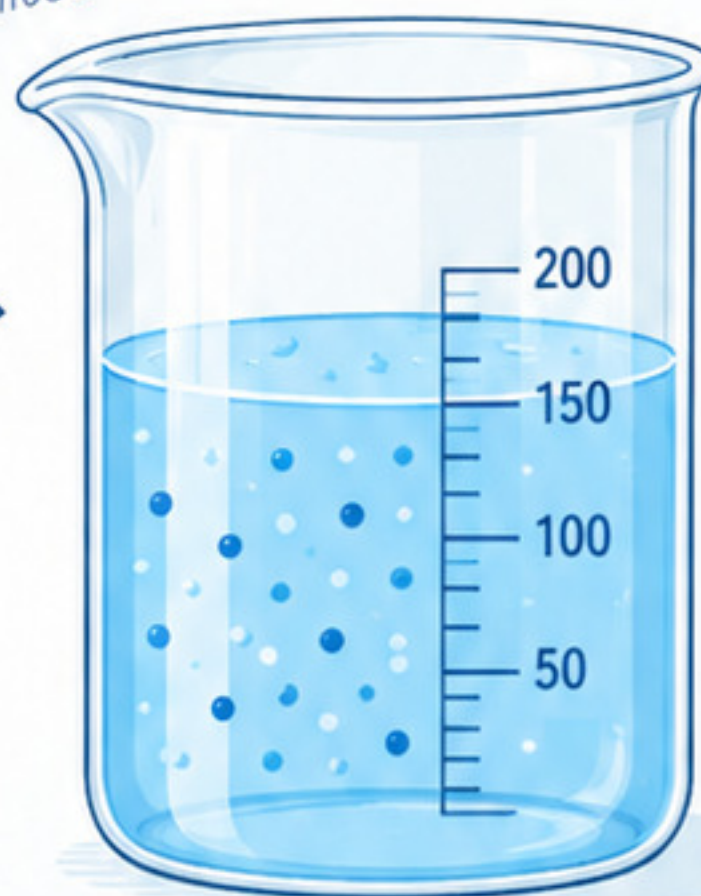
$$1 \text{ g/L} = 1 \text{ kg/m}^3$$

Przykład

$$250 \text{ mg/L} \rightarrow \text{g/L}$$

$$250 \div 1000 = 0,25 \text{ g/L}$$

Stężenie mówi, ile składnika jest w określonej ilości mieszaniny.



Składniki mieszaniny:

● składnik A (rozpuszczony)

● składnik B (rozpuszczalnik)

← To sama mieszanina – różne sposoby opisu jej składu.

2. Stężenie molowe

Typowa jednostka:

- mol/L

W zastosowaniach procesowych często stosuje się również:

- mol/m^3

$$1 \text{ mol/L} = 1000 \text{ mol/m}^3$$

3. Ułamek masowy

$$w_i = \frac{m_i}{m_{\text{całk}}}$$

Jest bezwymiarowy.
Może być podawany jako 0,20 lub 20%.

4. Ułamek molowy

$$x_i = \frac{n_i}{n_{\text{całk}}}$$

Również bezwymiarowy.
Może być podawany jako 0,20 lub 20%.

$$20\% = 0,20$$

$$20\% \text{ masowych} \neq 20\% \text{ molowych}$$

Przykład obliczeniowy – ułamek masowy

Roztwór zawiera 20 kg składnika A i 80 kg składnika B.
Masa całkowita: 100 kg.
Ułamek masowy A:

$$w_A = \frac{20}{100} = 0,20 = 20\%$$



ppm i ppb powinny być używane tylko z jasno określoną podstawą, np. masową, molową lub objętościową.

↑ Te same liczby mogą oznaczać coś innego w zależności od tego, jaką podstawę przyjmiesz.

Lepkość – $\text{Pa}\cdot\text{s}$, cP , $\text{mPa}\cdot\text{s}$ i cSt

Lepkość opisuje opór wewnętrzny płynu przed płynięciem.
Poniżej najczęściej używane jednostki i przeliczenia.

Dynamiczna μ

Jednostka SI: $\text{Pa}\cdot\text{s}$

Często stosowane jednostki:

- $\text{mPa}\cdot\text{s}$ (miliPascalosekunda)
- cP (centypoza)

Podstawowe zależności

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

$$1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 1000 \text{ cP}$$

Przykład obliczeniowy

$$\begin{aligned} 25 \text{ cP} &= 25 \text{ mPa}\cdot\text{s} \\ &= \mathbf{0,025 \text{ Pa}\cdot\text{s}} \end{aligned}$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Do przeliczenia
z μ na ν
potrzebna jest
gęstość ρ .

Ta sama ciecz
może mieć różne
wartości μ i ν
w zależności
od temperatury.

Kinematyczna ν

Definicja: $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

Jednostka SI: m^2/s

Często stosowane jednostki:

- St — stokes ($1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2/\text{s}$)
- cSt — centistokes ($1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$)

Podstawowe zależności

$$1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$$

$$1 \text{ cSt} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Przykład obliczeniowy

$$\begin{aligned} 15 \text{ cSt} &= 15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \\ &= \mathbf{1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} \end{aligned}$$

Najważniejsze rozróżnienie

μ — lepkość dynamiczna

- zależy od rodzaju cieczy i temperatury;
- ma wymiar siły na powierzchnię razu czas ($\text{Pa}\cdot\text{s}$);
- opisuje „wewnętrzne tarcie” w płynie.

ν — lepkość kinematyczna

- jest ilorazem μ i gęstości ρ ;
- ma wymiar powierzchni na czas (m^2/s);
- określa szybkość dyfuzji pędu w płynie;
- często używana w mechanice płynów i analizie przepływów.

Im większa lepkość,
tym wolniej ciecz
przepływa przez
wąską rurkę
kapilarną.



Pomiary lepkości
często wykonuje się
za pomocą
wiskozymetrów
kapilarnych
(np. typu Ubbelohde).

Przykład przeliczenia z μ na ν

Ciecz ma lepkość $\mu = 25 \text{ cP}$ i gęstość $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$.
Najpierw zamieniamy na jednostki SI:

$$\mu = 25 \text{ cP} = 0,025 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

Następnie obliczamy lepkość kinematyczną:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0,025}{850} = \mathbf{2,94 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}$$



**cP i cSt nie są
bezpośrednio wymienne.**

Aby przejść między lepkością
dynamiczną i kinematyczną,
potrzebna jest gęstość.

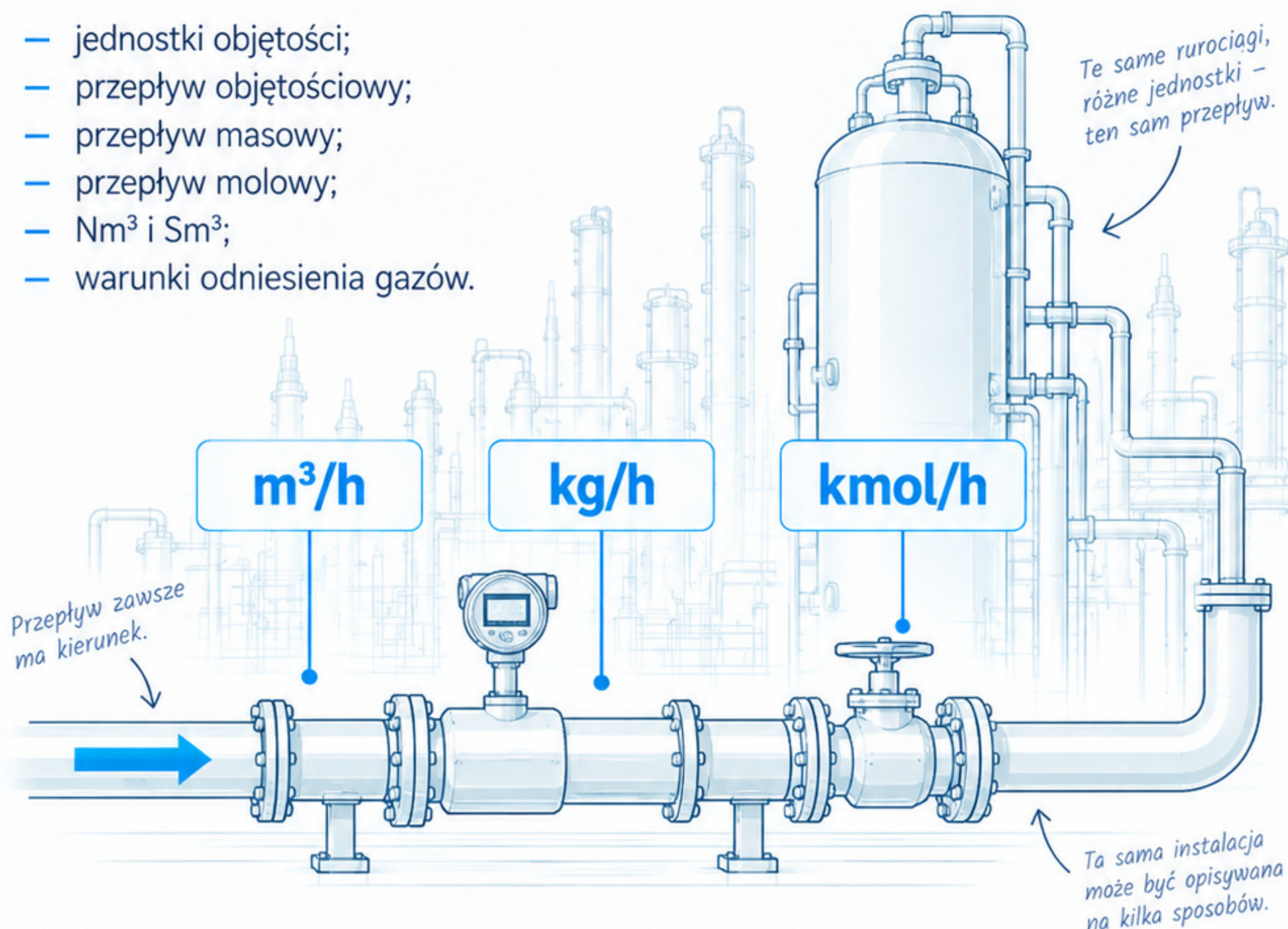
MODUŁ 05

Objętość i przepływy procesowe

Ułatwić przeliczanie jednostek objętości oraz przepływu objętościowego, masowego i molowego, które pojawiają się w niemal każdym bilansie procesowym.

Przepływ to ilość materiału przechodzącego przez układ w czasie.
Najpierw ustal, czy chodzi o objętość, masę czy liczbę moli.

- jednostki objętości;
- przepływ objętościowy;
- przepływ masowy;
- przepływ molowy;
- Nm^3 i Sm^3 ;
- warunki odniesienia gazów.



Ta sama instalacja może mieć kilka poprawnych opisów przepływu — zależnie od tego, jaką wielkość mierzysz.

Objętość – m^3 , L, mL, ft^3 i gal

Najważniejsze przeliczenia objętości stosowane w laboratoriach, instalacjach i dokumentacji technicznej.

Podstawowe przeliczenia w układzie SI

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$$

$$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3$$

$$1 \text{ L} = 1000 \text{ mL}$$

$$1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$$

Najczęściej używane równoważności

Jednostka	Równoważność
1 m^3	1000 L
1 L	0,001 m^3
1 L	1000 mL
1 mL	1 cm^3
1 ft^3	$\approx 0,0283168 \text{ m}^3$
1 m^3	$\approx 35,3147 \text{ ft}^3$

Te przeliczenia są najczęściej wykorzystywane w praktyce inżynierskiej.

JEDNOSTKI ŁĄCZĄ TEORIĘ Z PRAKTYKĄ

Galony

US gallon (galon amerykański)

$$1 \text{ gal}_{\text{US}} \approx 3,78541 \text{ L}$$

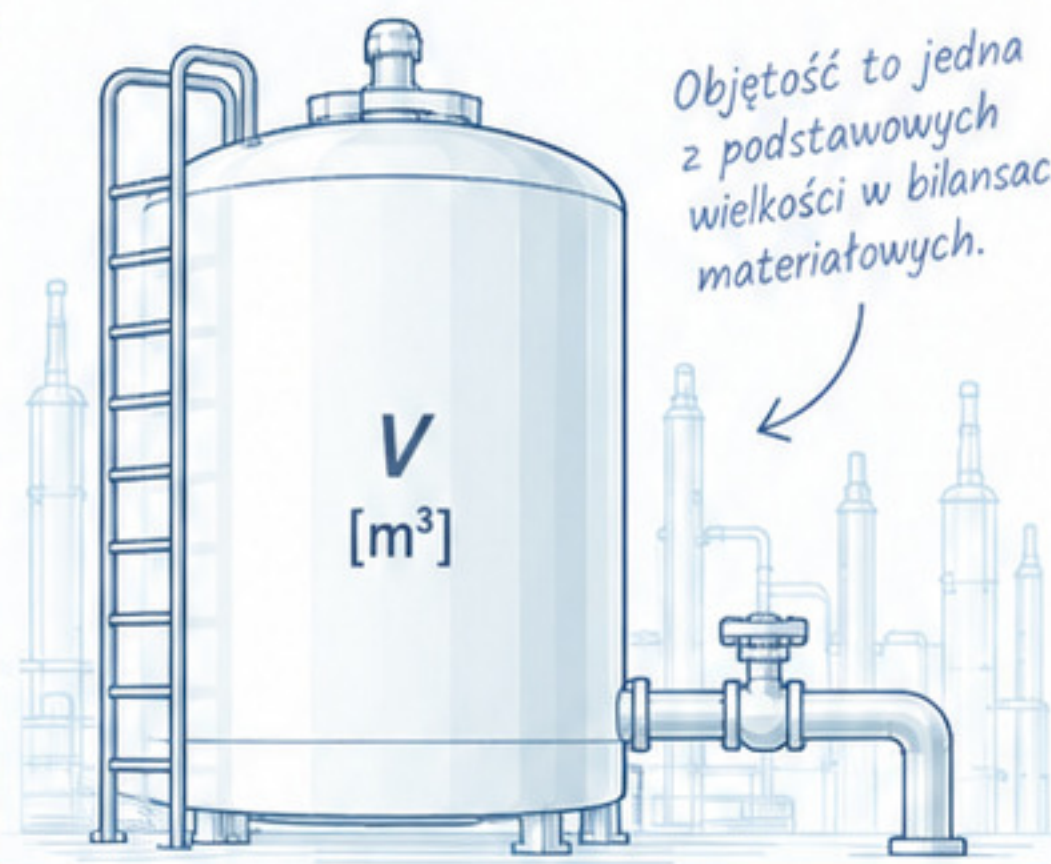
Imperial gallon (galon brytyjski)

$$1 \text{ gal}_{\text{Imp}} \approx 4,54609 \text{ L}$$



„gal” bez określenia systemu jest niejednoznaczne.

Zawsze należy podawać, czy chodzi o galon amerykański (US), czy brytyjski (Imperial).



Objętość to jedna z podstawowych wielkości w bilansach materiałowych.

Przykłady obliczeniowe

$$2,5 \text{ m}^3 \rightarrow \text{L}$$

$$2,5 \times 1000 =$$

$$2500 \text{ L}$$

$$500 \text{ L} \rightarrow \text{m}^3$$

$$500 \div 1000 =$$

$$0,5 \text{ m}^3$$

$$100 \text{ ft}^3 \rightarrow \text{m}^3$$

$$100 \times 0,0283168 \approx$$

$$2,832 \text{ m}^3$$

Schemat do zapamiętania



Każdy kolejny krok to $\times 1000$.



Objętość gazu bez informacji o temperaturze i ciśnieniu może być niewystarczająca do porównania dwóch strumieni.

Dla gazów objętość zależy od temperatury i ciśnienia (np. warunki normalne, warunki robocze), dlatego zawsze należy podawać te parametry.

Ta sama objętość gazu w różnych warunkach P i T oznacza różną ilość substancji.

Przepływ objętościowy — m^3/s , m^3/h i L/min

Przepływ objętościowy mówi, jaka objętość płynu przechodzi przez układ w określonym czasie.

$$\dot{V} = V / t$$

objętość / czas

Najważniejsze relacje

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L} \cdot 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ m}^3/\text{h} \approx 16,667 \text{ L}/\text{min} \cdot 1 \text{ L}/\text{min} = 0,06 \text{ m}^3/\text{h}$$

Typowe jednostki

m^3/s , m^3/h , L/s , L/min , L/h

Z	Na	Mnożnik
m^3/h	L/min	$\times 16,667$
L/min	m^3/h	$\times 0,06$
m^3/s	m^3/h	$\times 3600$
m^3/h	m^3/s	$\div 3600$
L/s	m^3/h	$\times 3,6$
m^3/h	L/s	$\div 3,6$

Przykłady przeliczeń

$12 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow \text{L}/\text{min}$

$$12 \times 16,667 \approx \textbf{200 L}/\text{min}$$

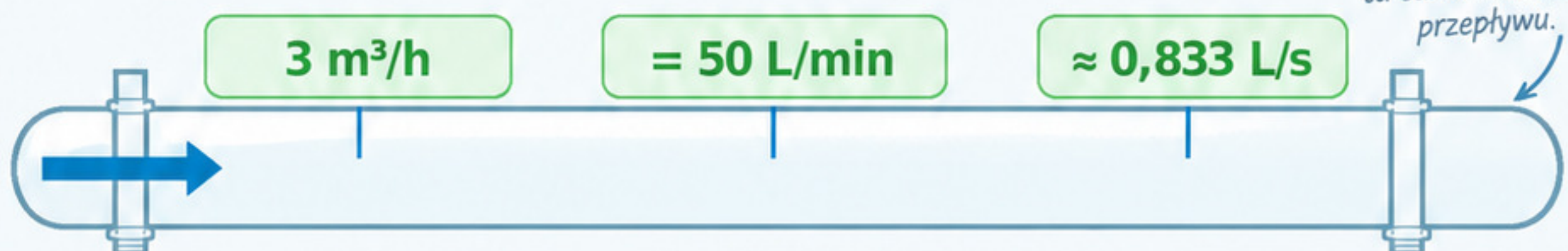
$50 \text{ L}/\text{min} \rightarrow \text{m}^3/\text{h}$

$$50 \times 0,06 = \textbf{3 m}^3/\text{h}$$

$0,02 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow \text{m}^3/\text{h}$

$$0,02 \times 3600 = \textbf{72 m}^3/\text{h}$$

Rurociąg — ta sama wartość, różne jednostki przepływu



Uwaga

Nie przeliczaj samej jednostki objętości i nie zapominaj o jednostce czasu. Wartość w m^3 nie jest tym samym co wartość w m^3/h .

Przepływ masowy — kg/s, kg/h i t/h

Przepływ masowy mówi, jaka masa płynu przechodzi przez układ w określonym czasie.

$$\dot{m} = m / t$$

masa / czas

Najważniejsze informacje

- typowe jednostki: kg/s, kg/min, kg/h i t/h
- 1 kg/s = 3600 kg/h
- 1 t/h = 1000 kg/h

Z	Na	Działanie
kg/s	kg/h	× 3600
kg/h	kg/s	÷ 3600
kg/min	kg/h	× 60
kg/h	kg/min	÷ 60
t/h	kg/h	× 1000
kg/h	t/h	÷ 1000

2,5 kg/s → kg/h

$$2,5 \times 3600 =$$

$$9000 \text{ kg/h} \\ = 9 \text{ t/h}$$

18 t/h → kg/s

$$18\,000 \div 3600 =$$

$$5 \text{ kg/s}$$

Związek z przepływem objętościowym i gęstością

$$\dot{m} = \rho \dot{V}$$

$\dot{m}$ — przepływ masowy [kg/s, kg/h, t/h]

ρ — gęstość [kg/m³]

$\dot{V}$ — przepływ objętościowy [m³/s, m³/h]

Przykład praktyczny

$$\rho = 800 \text{ kg/m}^3$$

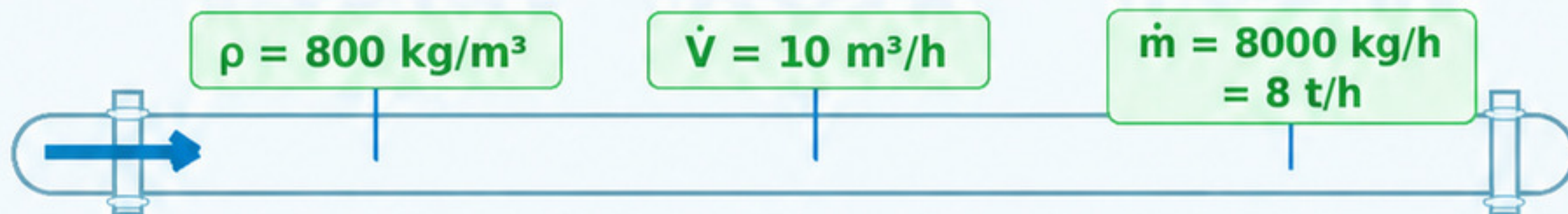
$$\dot{V} = 10 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{m} = 800 \times 10 = 8000 \text{ kg/h} = 8 \text{ t/h}$$

Kontrola jednostek

$$\text{kg/m}^3 \times \cancel{\text{m}^3/\text{h}} = \text{kg/h}$$

Ten sam przepływ objętościowy, określona gęstość, wynik — przepływ masowy



Uwaga

Jeżeli gęstość zmienia się wraz z temperaturą lub składem, ta sama wartość przepływu objętościowego może odpowiadać innemu przepływowi masowemu.

Przepływ molowy — mol/s, mol/h i kmol/h

Przepływ molowy mówi, ile mola substancji przechodzi przez układ w określonym czasie.

$$\dot{n} = n / t$$

ilość substancji / czas

Typowe jednostki

mol/s, mol/h, kmol/h, kmol/s

Z	Na	Działanie
mol/s	mol/h	$\times 3600$
mol/h	mol/s	$\div 3600$
mol/h	kmol/h	$\div 1000$
kmol/h	mol/h	$\times 1000$
kmol/s	kmol/h	$\times 3600$

Związek z przepływem masowym

$$\dot{n} = \frac{\dot{m}}{M}$$

$$\dot{m} = \dot{n}M$$

$\dot{n}$ — przepływ molowy (mol/s, mol/h, kmol/h)

$\dot{m}$ — przepływ masowy (kg/s, kg/h, ...)

M — masa molowa (kg/kmol, g/mol, ...)

Przykład 1 — przeliczenie na molowy

Dane:

$$\dot{m} = 180,15 \text{ kg/h}$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = 18,015 \text{ kg/kmol}$$

Obliczenia:

$$\dot{n} = 180,15 / 18,015 = \mathbf{10 \text{ kmol/h}}$$

Przykład 2 — zmiana jednostek

$$2 \text{ mol/s} \rightarrow \text{kmol/h}$$

$$2 \times 3600 = 7200 \text{ mol/h} =$$

$$\mathbf{7,2 \text{ kmol/h}}$$

Schemat przeliczeń z wykorzystaniem masy molowej

kg/h



$\div M$



kmol/h

z przepływu masowego na molowy

kmol/h



$\times M$



kg/h

z przepływu molowego na masowy



Ważna wskazówka

Jeśli masa molowa jest wyrażona w kg/kmol, to przepływ masowy powinien być zgodny z kg, aby wynik otrzymać w kmol.



Uwaga

Nie mieszaj g/mol z kg/kmol bez świadomego sprawdzenia zgodności jednostek, nawet jeśli ich wartości liczbowe są często identyczne.

Nm³ i Sm³ — objętość gazu wymaga warunków odniesienia

Objętość gazu zależy od temperatury i ciśnienia. Dlatego przy porównywaniu strumieni gazowych często przelicza się ich objętość do określonych warunków odniesienia.

Nm³ ani Sm³ nie są wystarczające bez definicji warunków odniesienia.

Symbole Nm³ i Sm³ mogą oznaczać „normalne” lub „standardowe” metry sześciennne, ale dokładne warunki odniesienia mogą zależeć od branży, normy, firmy lub dokumentacji.

Prawo gazu doskonałego

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Po przekształceniu:

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

Temperatura musi być podana w kelwinach.

Przed konwersją zapytaj

- 1 Jaka jest temperatura odniesienia?
- 2 Jakie jest ciśnienie odniesienia?
- 3 Czy ciśnienie jest absolutne?
- 4 Czy gaz traktujemy jako idealny?
- 5 Czy dokumentacja podaje własną definicję „N” lub „S”?

Przykład — wpływ temperatury na objętość gazu

Jeżeli gaz zmienia warunki z $T_1 = 273,15$ K na $T_2 = 298,15$ K przy tym samym ciśnieniu, to jego objętość wzrośnie proporcjonalnie do temperatury bezwzględnej.

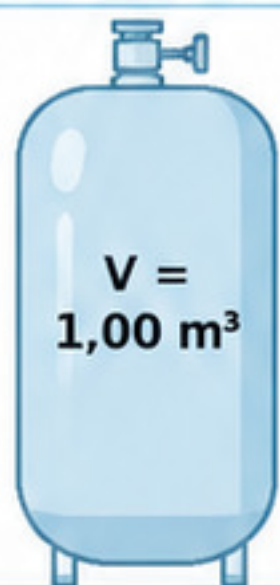
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{298,15}{273,15} \approx 1,0915$$



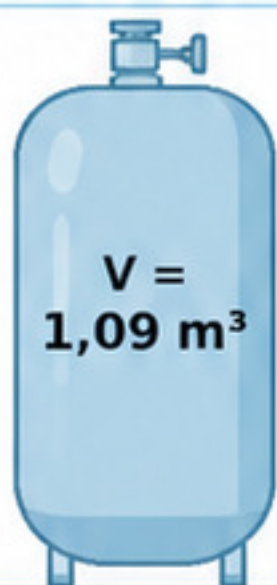
około 9,15% więcej

Ten sam gaz — różne warunki, różna objętość

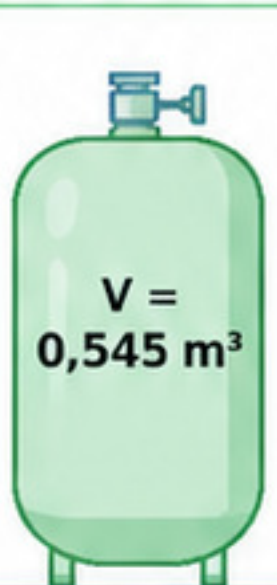
$T = 273,15$ K
 $p = 1,00$ bar(a)



$T = 298,15$ K
 $p = 1,00$ bar(a)



$T = 298,15$ K
 $p = 2,00$ bar(a)



Uwaga

Nie twórz jednej uniwersalnej relacji typu „1 Nm³ = x Sm³” bez zdefiniowania obu stanów odniesienia.

MODUŁ 06

Energia, moc i szybka tabela końcowa

Zebrać najważniejsze przeliczenia energii i mocy oraz zakończyć materiał jedną stroną, do której użytkownik będzie wracał podczas codziennych obliczeń.

Energia mówi, ile pracy lub ciepła przekazano. Moc mówi, jak szybko ta energia jest przekazywana.

- J, kJ, MJ, Wh, kWh i kcal
- moc: W, kW, MW i hp
- energia właściwa i entalpia
- stała gazowa R w różnych jednostkach
- mega-tabela najczęściej używanych przeliczeń
- kontrola błędów przed zatwierdzeniem wyniku

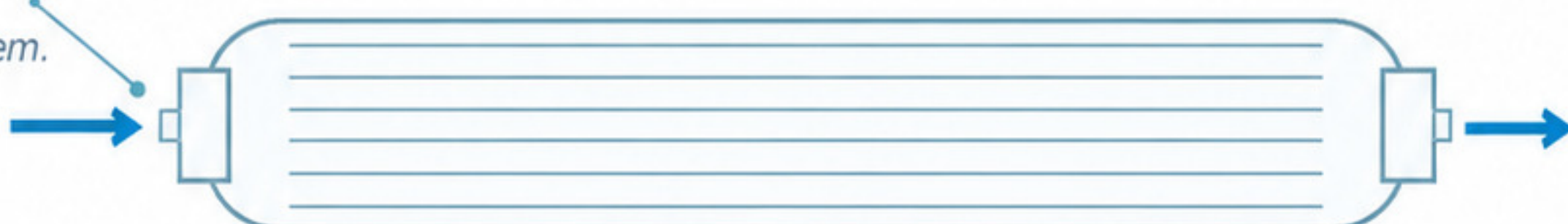
$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

energia → **czas** → **moc**

$$J \div s = W$$

Jednostki energii i mocy często występują razem.



Energia – J, kJ, MJ, Wh, kWh i kcal

Szybkie przeliczanie najczęściej używanych jednostek energii w bilansach cieplnych i energetycznych.

Jednostka SI

J

(dżul)

Najważniejsze zależności

$$1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$$

$$1 \text{ MJ} = 1000 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ kcal} = 4184 \text{ J}$$

$$1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ kJ}$$

Z	Na	Wartość
1 kJ	J	1000
1 MJ	kJ	1000
1 Wh	kJ	3,6
1 kWh	MJ	3,6
1 kcal	kJ	4,184
1 kWh	kJ	3600

2500 kJ → MJ

$$2500 \div 1000 =$$

2,5 MJ

10 kWh → MJ

$$10 \times 3,6 =$$

36 MJ

500 kcal → kJ

$$500 \times 4,184 =$$

2092 kJ

Najczęściej używane przeliczenia

J



kJ



MJ

$$\div 1000$$

(lub $\times 1000$)

$$\div 1000$$

(lub $\times 1000$)

kWh



MJ

$$\times 3,6$$

(lub $\div 3,6$)



Uwaga

kWh jest jednostką energii, nie mocy.

Moc — W, kW, MW i hp

Moc mówi, jak szybko przekazywana jest energia w czasie.

$$P = E / t$$

moc = energia / czas

Jednostka SI

$$W = J/s$$

P — moc (W)
E — energia (J)
t — czas (s)

Podstawowe zależności

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

$$1 \text{ MW} = 1000 \text{ kW}$$

$$1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$$

Jednostka	Równoważność
1 kW	1000 W
1 MW	1000 kW
1 MW	1 000 000 W

Koń mechaniczny (horsepower)

W dokumentacji technicznej można spotkać jednostkę hp. Istnieją różne definicje konia mechanicznego.

$$1 \text{ hp} \approx 745,7 \text{ W}$$

$$1 \text{ PS} \approx 735,5 \text{ W}$$



hp i PS nie są dokładnie tą samą jednostką.

Przykład 1

$$75 \text{ kW} \rightarrow \text{W}$$

$$75 \times 1000 =$$

$$75\,000 \text{ W}$$

Przykład 2

$$2,5 \text{ MW} \rightarrow \text{kW}$$

$$2,5 \times 1000 =$$

$$2500 \text{ kW}$$

Przykład 3 — związek energii, mocy i czasu

Urządzenie o mocy 10 kW pracujące przez 2 h przekazuje:

$$E = P \cdot t = 10 \times 2 = 20 \text{ kWh},$$

czyli 72 MJ (1 kWh = 3,6 MJ).

$$E = 20 \text{ kWh} \\ = 72 \text{ MJ}$$

$$\text{Moc} \times \text{czas} = \text{energia.}$$

Energia właściwa i entalpia – kJ/kg i kJ/kmol

Energia właściwa opisuje ilość energii przypadającą na określoną ilość materiału.

Najczęściej używane jednostki (na jednostkę masy)

J/kg, kJ/kg, MJ/kg

Najczęściej używane jednostki (na jednostkę ilości substancji)

J/mol, kJ/mol, kJ/kmol, MJ/kmol

Ważne zależności

1 kJ/kg = 1000 J/kg

1 MJ/kg = 1000 kJ/kg

Wzór przeliczenia między podstawami

$$h_{\text{mol}} = h_m M$$

h_{mol} — energia na jednostkę ilości substancji (np. kJ/kmol)

h_m — energia na jednostkę masy (np. kJ/kg)

M — masa molowa (np. kg/kmol)

Przykład

$h = 100 \text{ kJ/kg}$

$M = 20 \text{ kg/kmol}$

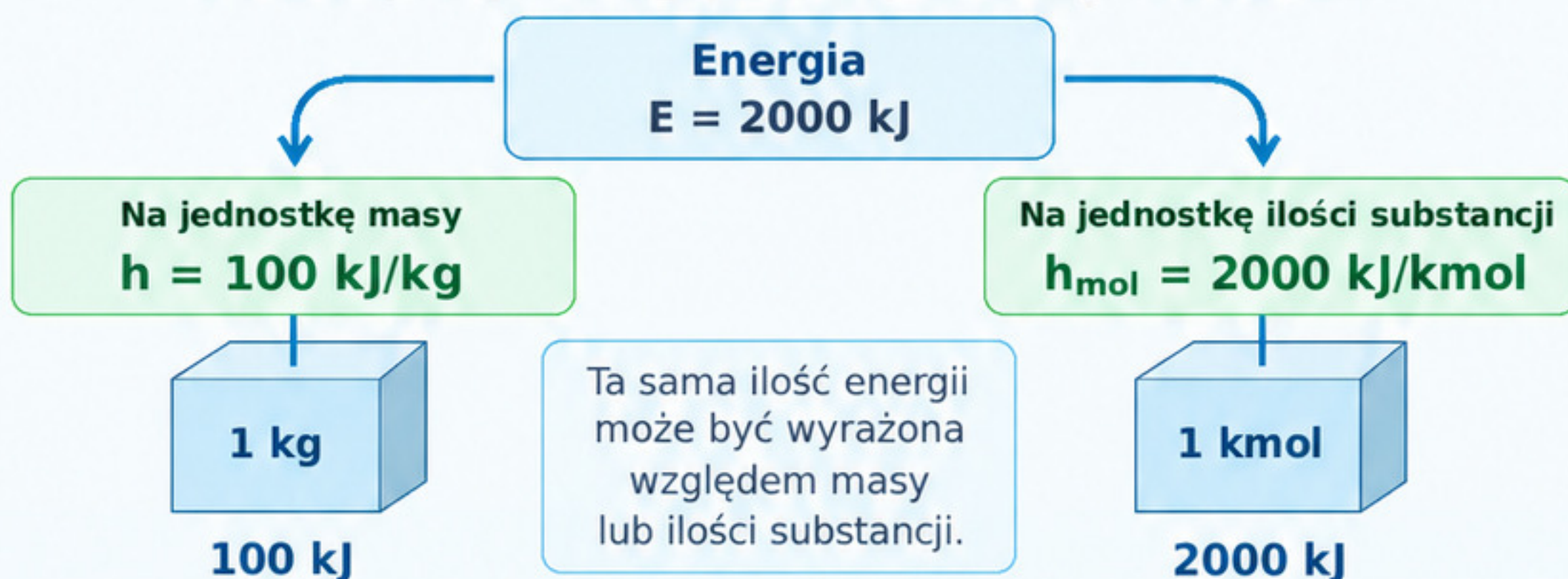
$h_{\text{mol}} = 100 \times 20 =$

2000 kJ/kmol

Interpretacja zapisu

Zapis	Znaczenie
kJ	całkowita energia
kJ/kg	energia na jednostkę masy
kJ/mol	energia na mol
kJ/kmol	energia na kilomol

Ta sama porcja energii, różne podstawy odniesienia



Szybka kontrola jednostek

$$\text{kJ/kg} \times \text{kg} = \text{kJ}$$

$$\text{kJ/kmol} \times \text{kmol} = \text{kJ}$$



Uwaga

$\text{kJ/kg} \neq \text{kJ}$

$\text{kJ/kmol} \neq \text{kJ/mol}$ bez odpowiedniego współczynnika konwersji.

Stała gazowa R – dobierz wartość do jednostek

Użycie właściwej wartości stałej gazowej R jest kluczowe dla poprawnych obliczeń z równania gazu idealnego.

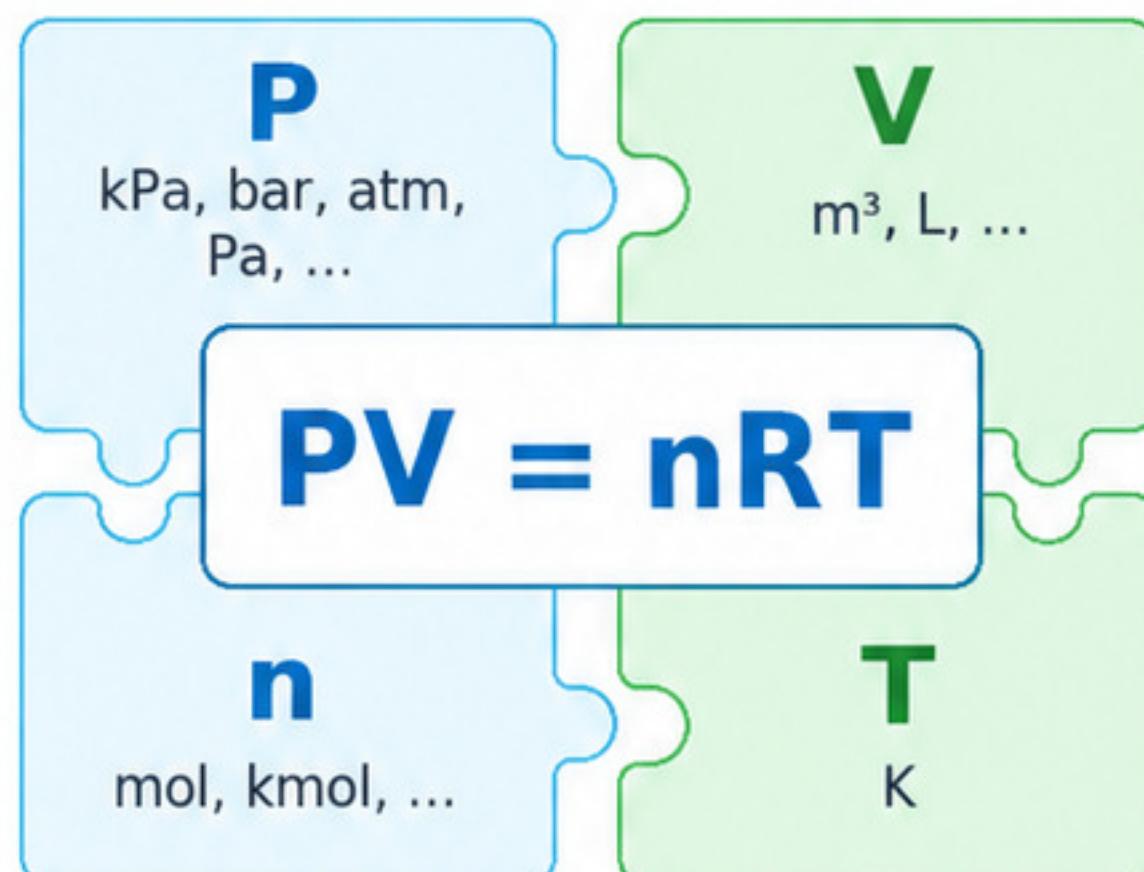
$$PV = nRT$$

ciśnienie objętość ilość substancji temperatura
jednostka jednostka jednostka jednostka

Nie wybieraj wartości R na pamięć.

Dobieraj ją do jednostek użytych dla ciśnienia, objętości, ilości substancji i temperatury.

Wartość R	Jednostka
8,3144626	J/(mol·K)
8,3144626	kJ/(kmol·K)
8,3144626	kPa·m³/(kmol·K)
0,0083144626	kPa·m³/(mol·K)
0,0831446	L·bar/(mol·K)
≈ 0,082057	L·atm/(mol·K)



Ta sama stała fizyczna

może mieć różne wartości liczbowe zależnie od zestawu jednostek.

Przykład 1

Jeśli używasz:

- P → kPa
- V → m³
- n → kmol
- T → K

to zastosuj:

$$R = 8,31446 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / (\text{kmol} \cdot \text{K})$$

Przykład 2

Jeśli używasz:

- P → atm
- V → L
- n → mol
- T → K

to zastosuj:

$$R = 0,082057 \text{ L} \cdot \text{atm} / (\text{mol} \cdot \text{K})$$

Sprawdzenie jednostek

Dla $PV = nRT$ lewa i prawa strona równania muszą mieć ten sam wymiar.



Uwaga

Nigdy nie używaj wartości R bez jej jednostki.



Uwaga

Temperatura w równaniu gazu idealnego musi być temperaturą bezwzględną, czyli wyrażoną w **K**.

SZYBKA TABELA PRZELICZEŃ

Najważniejsze wartości na jednej stronie



01 | CIŚNIENIE

1 bar	=	100 kPa
1 bar	=	0,1 MPa
1 atm	=	101,325 kPa
1 atm	=	1,01325 bar
1 atm	=	760 Torr
1 psi	≈	6,895 kPa



02 | TEMPERATURA

K	=	°C + 273,15
°C	=	K - 273,15
°F	=	1,8(°C) + 32
°C	=	(°F - 32) / 1,8
1 K (różnica)	=	1°C (różnica)



03 | MASA I OBJĘTOŚĆ

1 kg	=	1000 g
1 t	=	1000 kg
1 lb	≈	0,453592 kg
1 m ³	=	1000 L
1 L	=	1000 mL
1 mL	=	1 cm ³



04 | PRZEPŁYW

1 m ³ /h	≈	16,667 L/min
1 L/min	=	0,06 m ³ /h
1 kg/s	=	3600 kg/h
1 t/h	=	1000 kg/h



05 | LEPKOŚĆ I GĘSTOŚĆ

1 cP	=	1 mPa·s
1 Pa·s	=	1000 cP
1 cSt	=	1 mm ² /s
1 g/cm ³	=	1000 kg/m ³



06 | ENERGIA I MOC

1 kJ	=	1000 J
1 MJ	=	1000 kJ
1 kWh	=	3,6 MJ
1 kcal	=	4,184 kJ
1 kW	=	1000 W
1 MW	=	1000 kW



5 kontroli przed zatwierdzeniem wyniku

- ☐ Czy jednostki po obu stronach równania są zgodne?
- ☐ Czy prawidłowo uwzględniłem m² lub m³, zamiast przeliczać je jak jednostkę liniową?
- ☐ Czy temperatura wymagająca skali bezwzględnej jest podana w kelwinach?
- ☐ Czy ciśnienie jest absolutne czy względne?
- ☐ Czy dla gazu sprawdziłem temperaturę i ciśnienie odniesienia?



Najpierw jednostki. Potem liczby.

Poprawne jednostki są jednym z najszybszych sposobów wykrywania błędów w obliczeniach inżynierskich.