

## Podstawy energetyki cieplnej, część 2



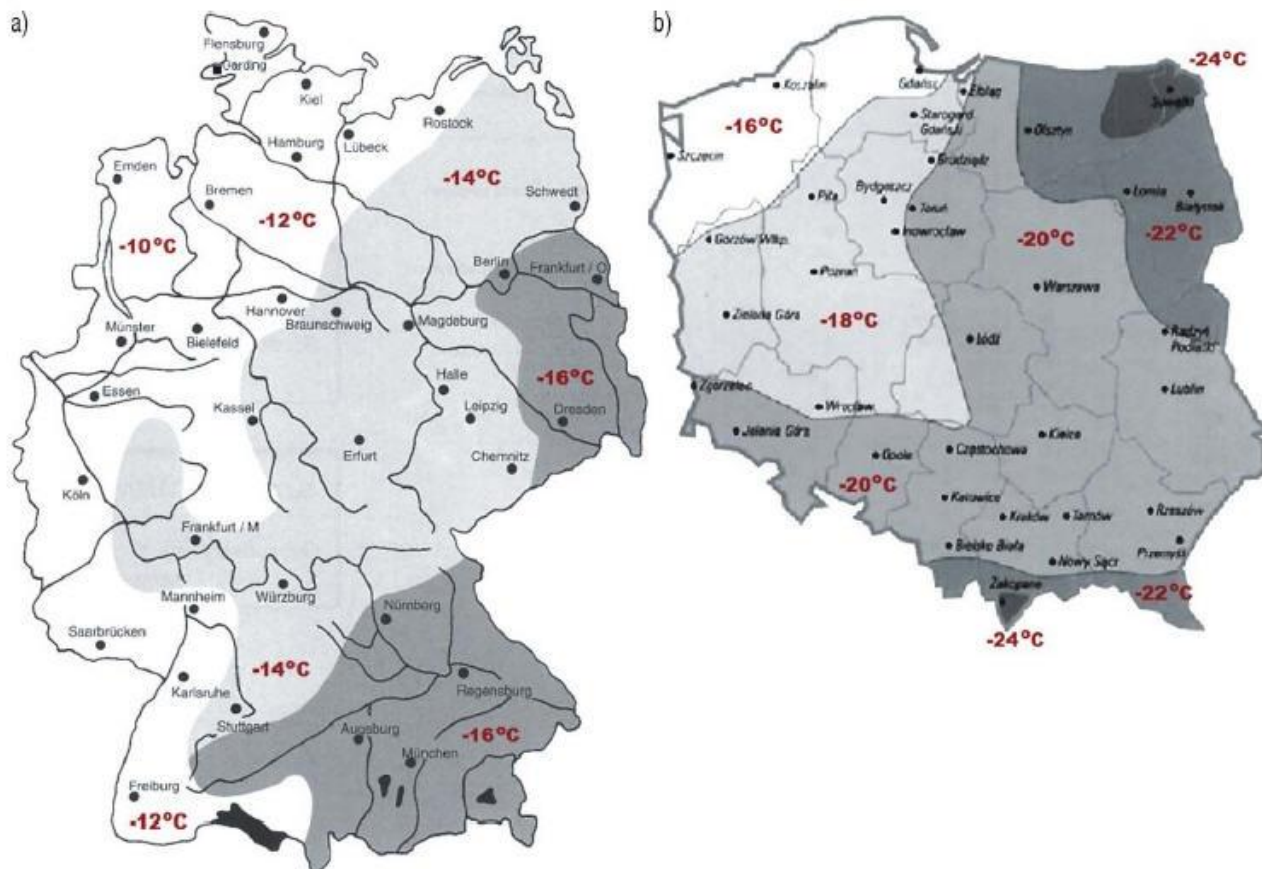
- Temperatura
- Ciśnienie
- Energia cieplna
- Moc cieplna
- Ciepło topnienia i parowania
- Przykładowe zadania obliczeniowe

# Temperatura

**Temperatura określa stan termiczny substancji i jest miarą zdolności do wymiany ciepła.**



## Temperatury obliczeniowe – strefy klimatyczne



Temperatury obliczeniowe powietrza zewnętrznego dla okresu zimowego:  
a) wg niemieckiej normy DIN 4710; b) wg polskiej normy PN-82/B-02403

## Temperatura odczuwalna

Wiatr: 0 km/h



Temp. zewn.  
10 st C



Temp.  
odczuwana  
10 st C

Wiatr: 30 km/h



Temp. zewn.  
10 st C



Temp.  
odczuwana  
1 st C

Wiatr: 50 km/h



Temp. zewn.  
10 st C



Temp.  
odczuwana  
-2 st C

# Temperatura

---

## Temperatura w ciągu roku

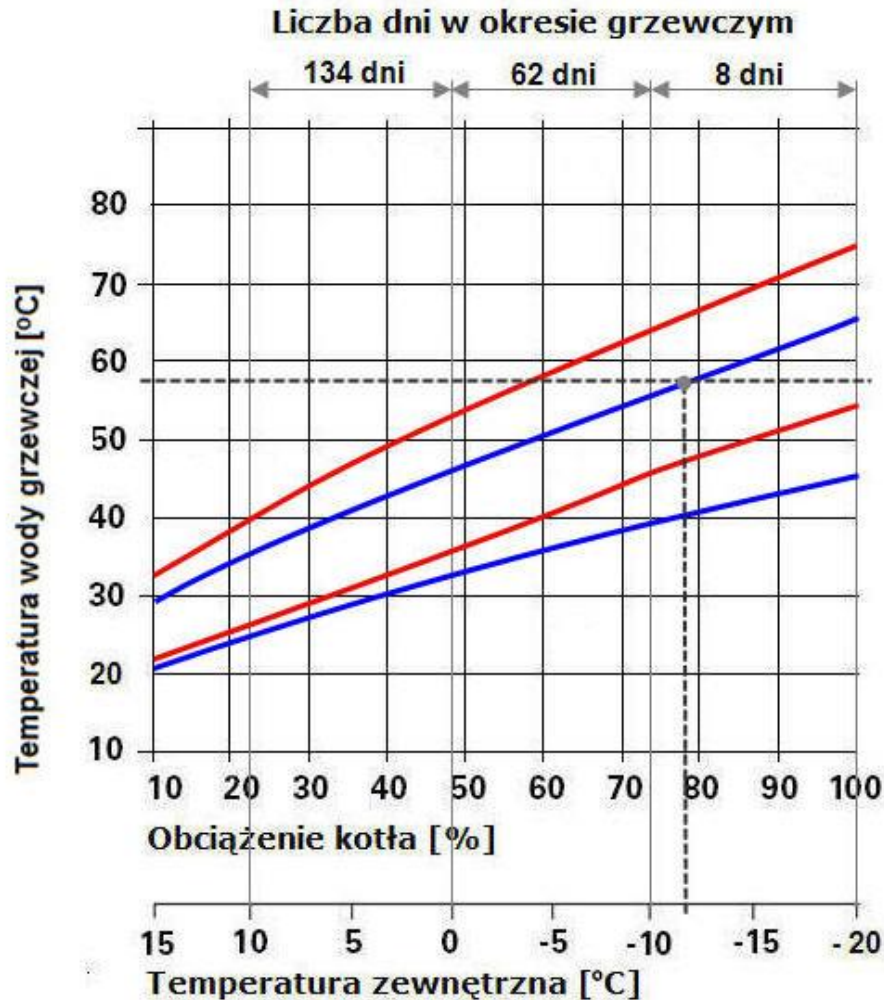
W Warszawie (III strefa klimatyczna), w okresie od 1951 – 2000 roku, średnio w roku występowały:

- 69 dni o temperaturze w zakresie od 10 do 15°C
- 134 dni z temperaturami od 0 do 10°C (od sierpnia do czerwca)
- 62 dni o temperaturze od -10 do 0°C (od października do kwietnia)
- 8 dni o temperaturze poniżej -10°C (od listopada do marca)

Źródło: „Warunki odczucia cieplnego określone na podstawie temperatury średniej dobowej (na przykładzie Warszawy)” z Zakładu Klimatologii Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, Urszula Kossowska-Cezak. Borgis - Balneologia Polska 1-2/2005, s. 49-55

# Temperatura

## Temperatura w ciągu roku; c.d.

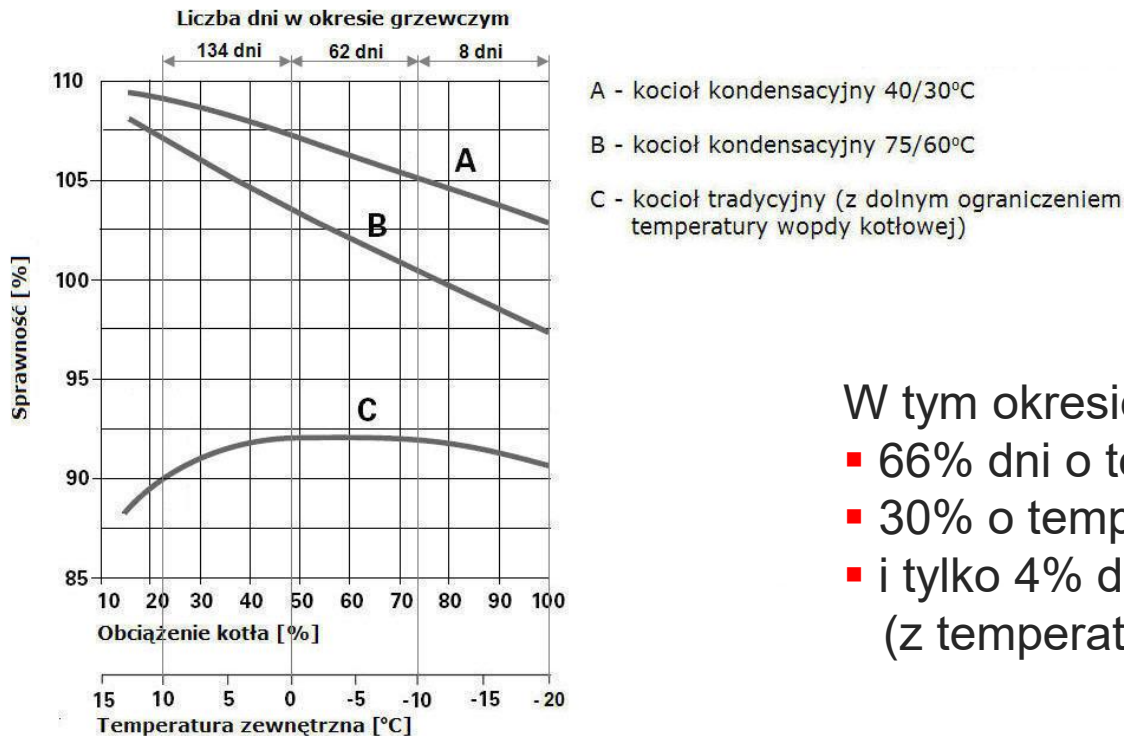


Rys. Wykres temperatury wody na zasilaniu i powrocie instalacji grzewczych zaprojektowanych na 75/65 i 55/45°C, w zależności od temperatury zewnętrznej.

# Temperatura

## Temperatura w ciągu roku; c.d.

Uwzględniając tylko dni zimne i bardzo zimne (poniżej  $10^{\circ}\text{C}$ ), średni sezon grzewczy w Warszawie trwa **204 dni**.

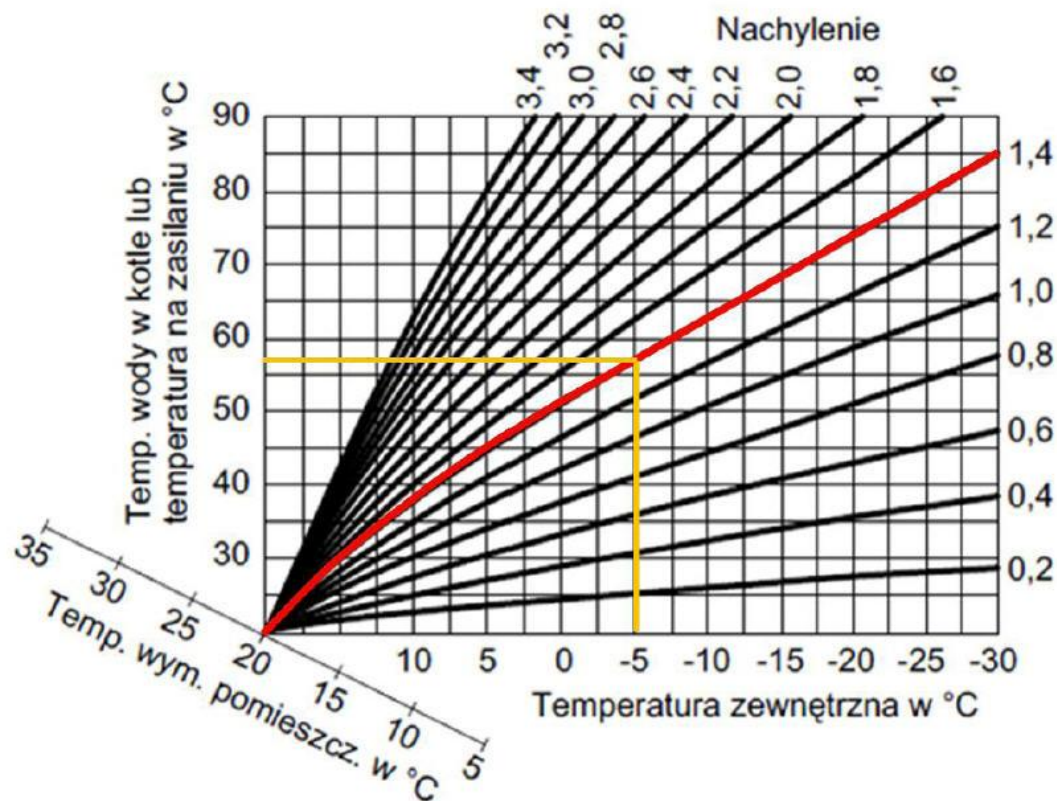


W tym okresie występuje:

- 66% dni o temperaturach dodatnich
- 30% o temperaturze od  $-10$  do  $0^{\circ}\text{C}$
- i tylko 4% dni bardzo i skrajnie zimnych (z temperaturami poniżej  $-10^{\circ}\text{C}$ )

Rys. Sprawność kotłów gazowych w zależności od obciążenia

## „Regulacja pogodowa” – krzywe grzania



Rys Krzywa grzewcza 1,4

# Temperatura

Temperatura absolutna (bezwzględna) – oznacza się symbolem **T** i mierzy w kelwinach [**K**];

punktem odniesienia jest zero absolutne: **0 K** (zero bezwzględne), które nie jest możliwe do osiągnięcia nawet w przestrzeni kosmicznej.

Temperatura względna – oznacza się symbolem **t** i mierzona jest w stopniach Celsjusza [**°C**];

punktem odniesienia jest **0°C**, które odpowiada temperaturze zamarzania czystej chemicznie wody, może przyjmować wartości dodatnie („+”) lub ujemne („-”).



# Temperatura

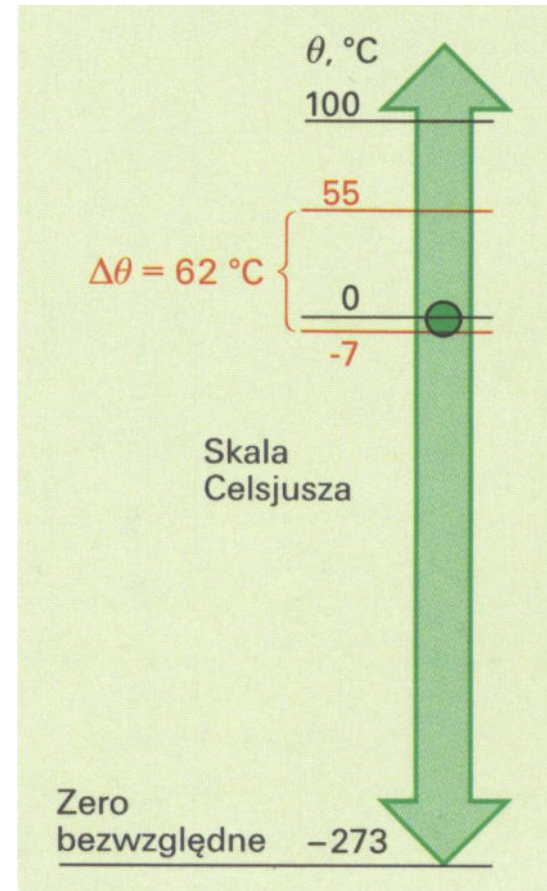
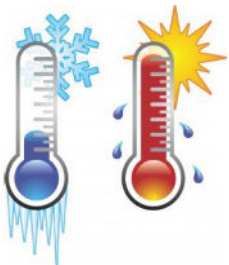
## Temperatura – skala Celsjusza

Oznaczenie:  $t$

Jednostka:  $^{\circ}\text{C}$

**$0^{\circ}\text{C}$**  – odpowiada temperaturze  
krzepnięcia wody lub temperaturze  
topnienia lodu

**$100^{\circ}\text{C}$**  – odpowiada temperaturze  
wrzenia wody lub temperaturze  
kondensacji pary wodnej przy ciśnieniu  
1013 mbar.



Rys. Skala temperatury Celsjusza.

# Temperatura

## Temperatura – skala Kelvina

Oznaczenie: **T**

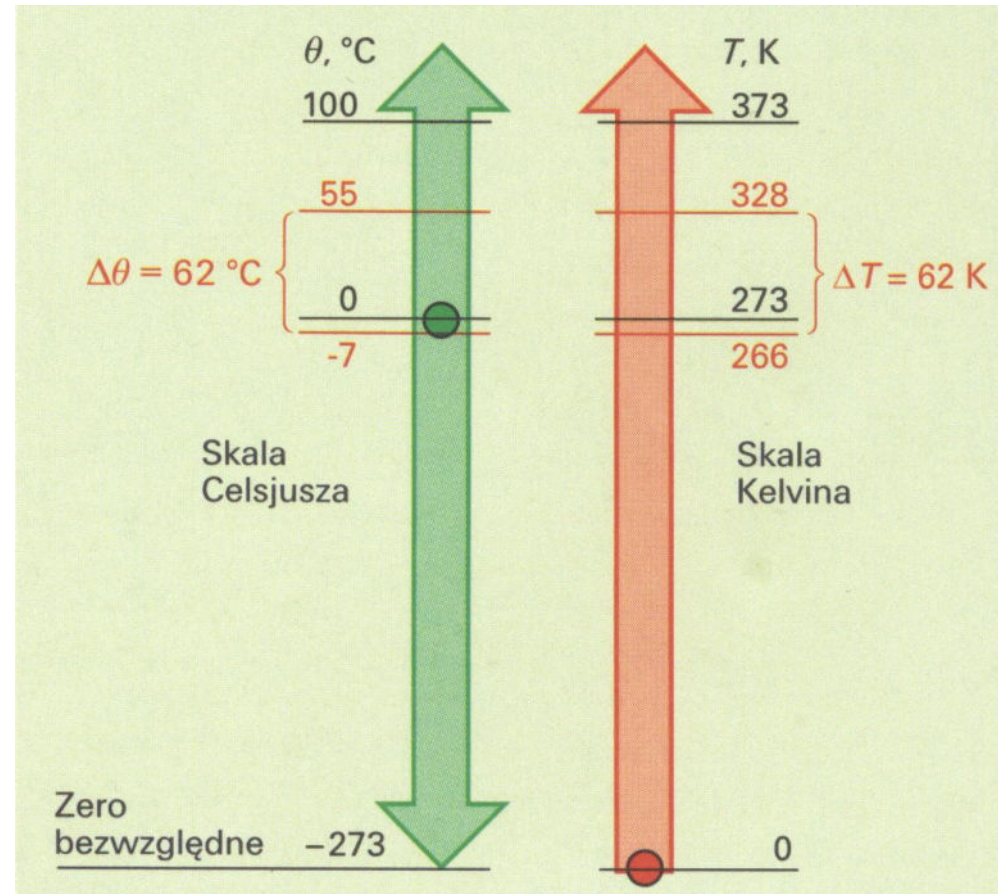
Jednostka: **K**

Skala Kelvina nazywana jest również **bezwzględną skalą temperatury**, ponieważ wychodzi z temperatury zera bezwzględnego (0 K) - nie ma ujemnych temperatur.

$$T = t + 273,15 \text{ [K]}$$

$$\Delta T = \Delta t = t_2 - t_1$$

Różnica temperatury: **1 K = 1°C**

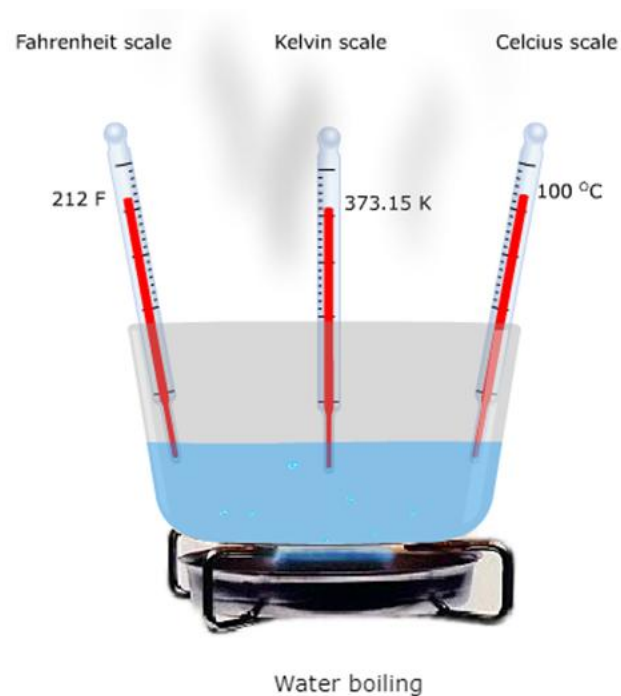


Rys. Skale temperatury.

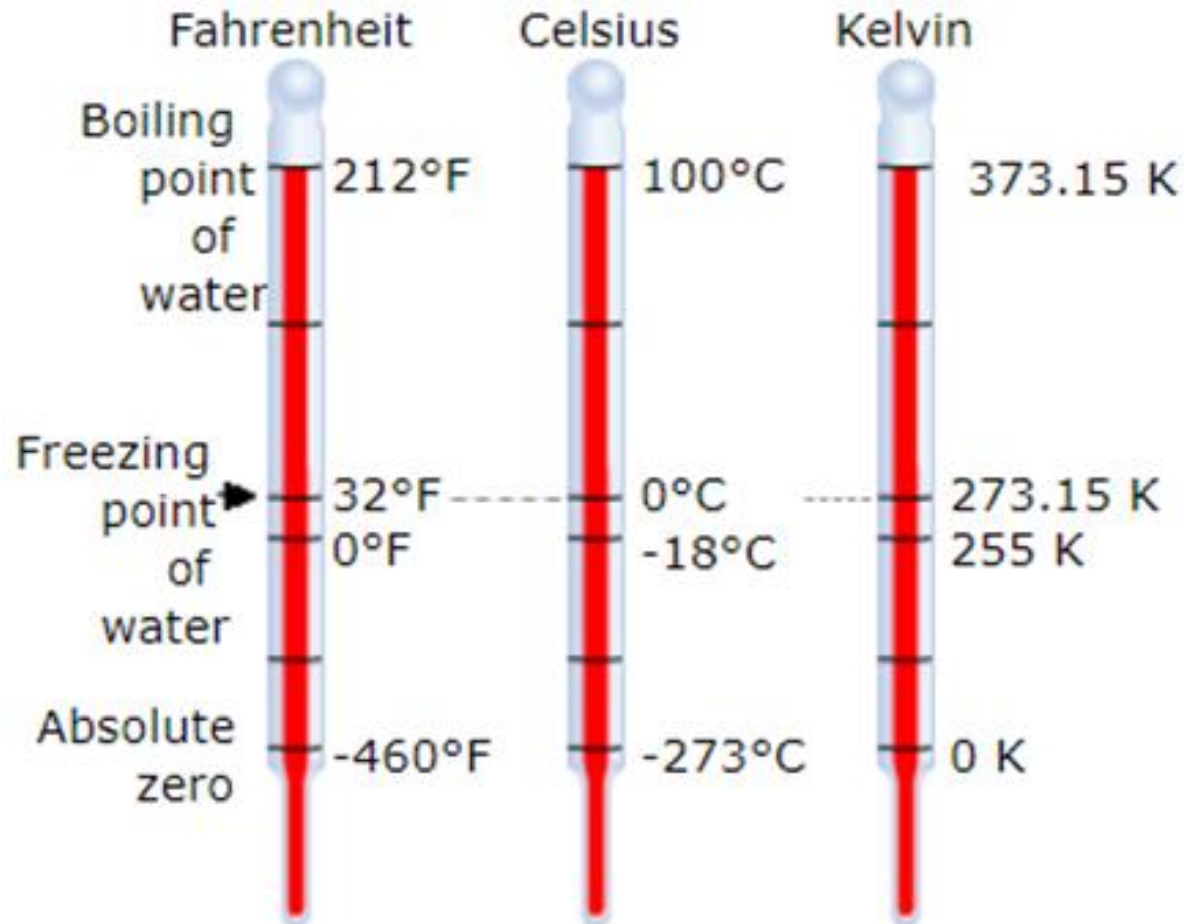
Skala temperatury **Fahrenheit**-a, powszechnie stosowana w USA:

$$F = (1,8 * t) + 32 [^{\circ}\text{F}]$$

$$t = (F - 32) / 1,8 [^{\circ}\text{C}]$$



Skala temperatury **Fahrenheit-a**, :



# Temperatura

## Ćwiczenie.

Oczytaj temperaturę  
na termometrze: .....

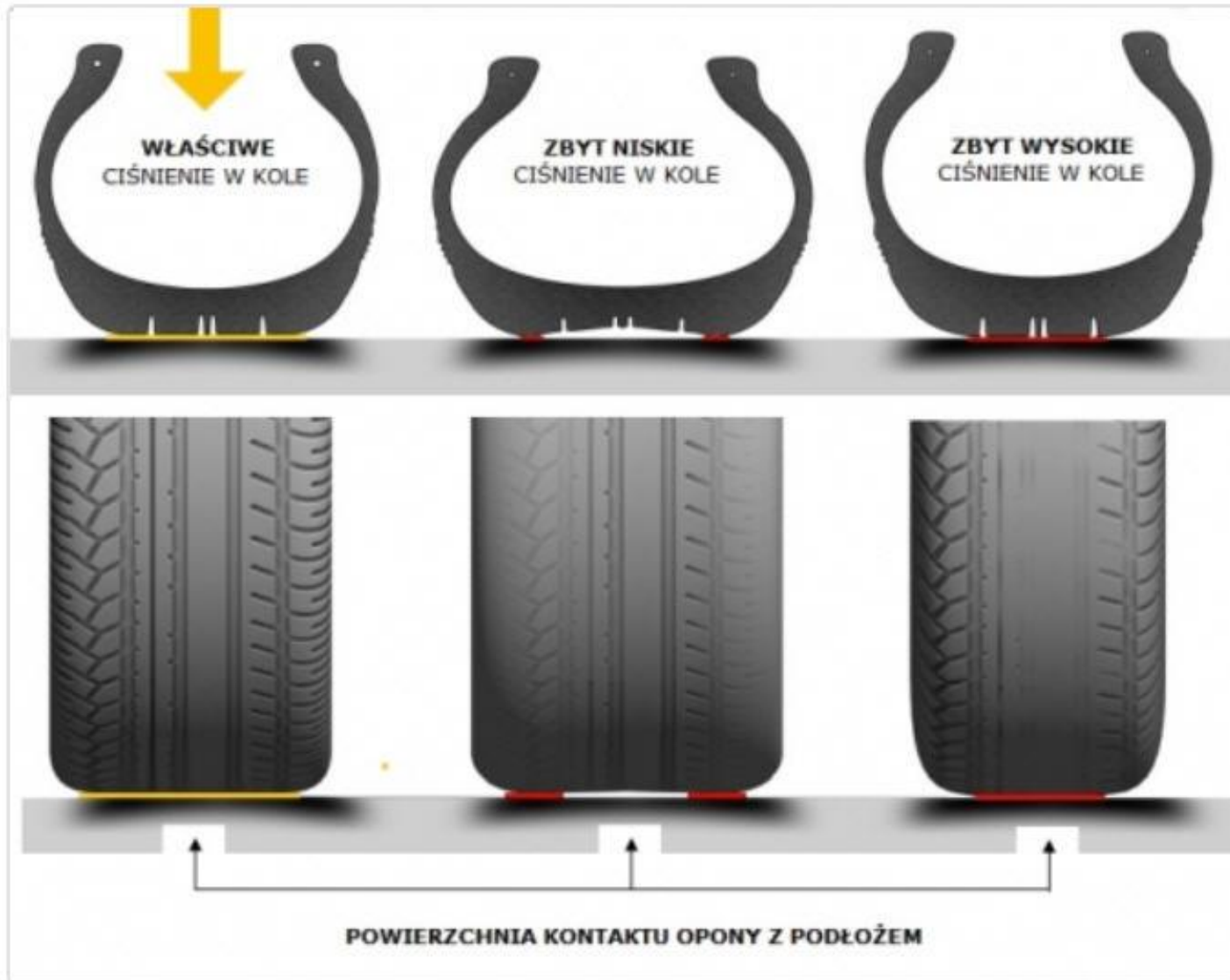


# Temperatura

## Ćwiczenie.

Temperatura wynosi: **25 °C**





Oznaczenie: **p**

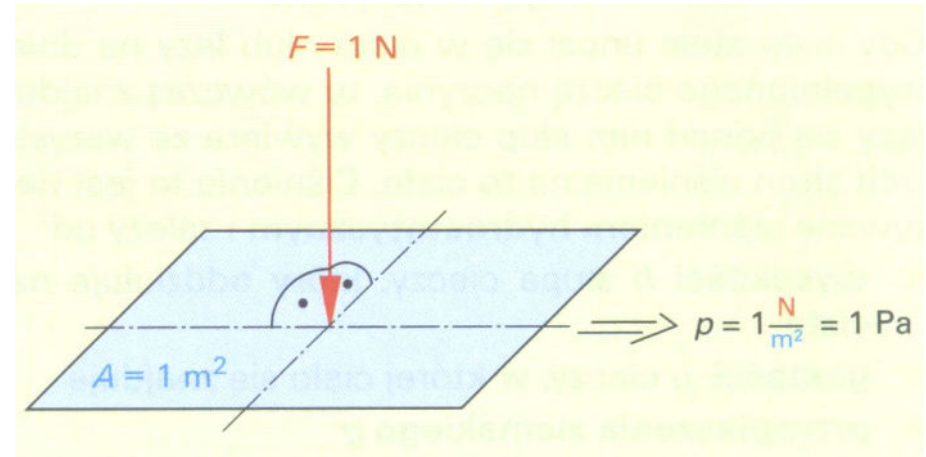
Jednostka: **Pa** (MPa, bar, mbar...)

$$p = \frac{F}{A} \quad \left[ \frac{N}{m^2} = Pa \right]$$

gdzie:

$F$  – siła [N]

$A$  – pole powierzchni [m<sup>2</sup>]



Rys. Ciśnienie.

Gdy na powierzchnię  $A$  wynoszącą  $1\text{ m}^2$  działa siła  $F$  o wartości  $1\text{ N}$ , wówczas powstaje ciśnienie  **$1\text{ N/m}^2 = 1\text{ Pa}$  (paksal)**

Oznaczenie: **p**

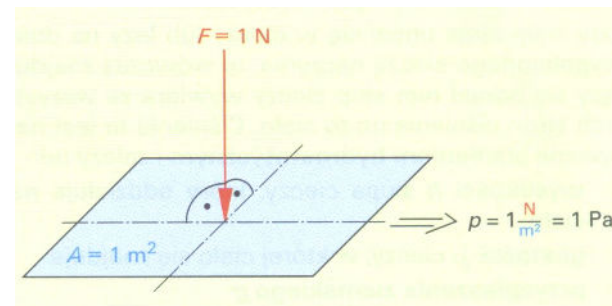
Jednostka: **Pa** (MPa, bar, mbar...)

$$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$\text{lub: } 1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 1\,000 \text{ mbar}$$

$$1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$$



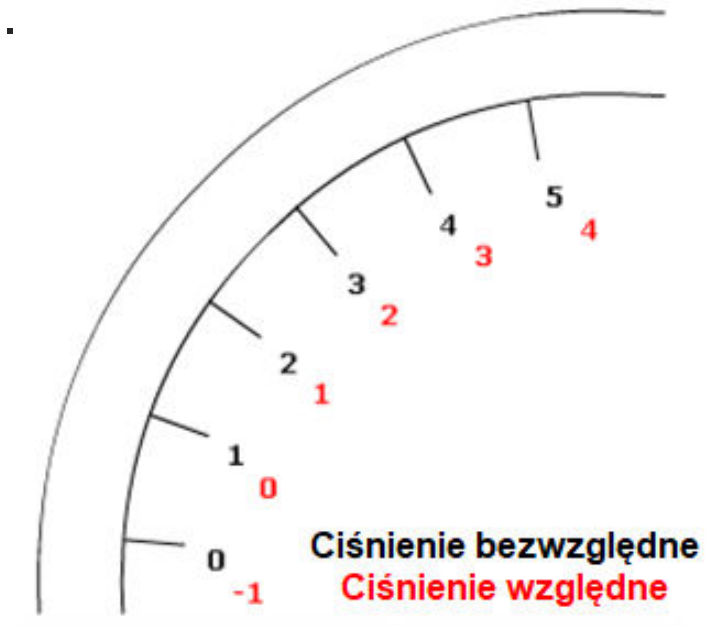
przedrostek	oznaczenie	wartość	nazwa liczby
mega	M	$10^6 = 1\,000\,000$	milion
kilo	k	$10^3 = 1\,000$	tysiąc
hekto	h	$10^2 = 100$	sto
deko	da	$10^1 = 10$	dziesięć
<b>jednostka</b>	—	$10^0 = 1$	<b>jeden</b>
decy	d	$10^{-1} = 0,1$	jedna dziesiąta
centy	c	$10^{-2} = 0,01$	jedna setna
mili	m	$10^{-3} = 0,001$	jedna tysięczna

# Ciśnienie

**Ciśnienie względne (nadciśnienie)** – mierzone jest w odniesieniu do ciśnienia atmosferycznego, dla którego przyjmuje wartość równą 0 [bar].

Może przyjmować wartości dodatnie („+” - **nadciśnienie**) lub ujemne („-” - **podciśnienie**).

**Ciśnienie bezwzględne** – mierzone od poziomu próżni, dla której wynosi: 0 [bar].  
W skali bezwzględnej, ciśnienie przyjmuje wartości wyłącznie: „+”.

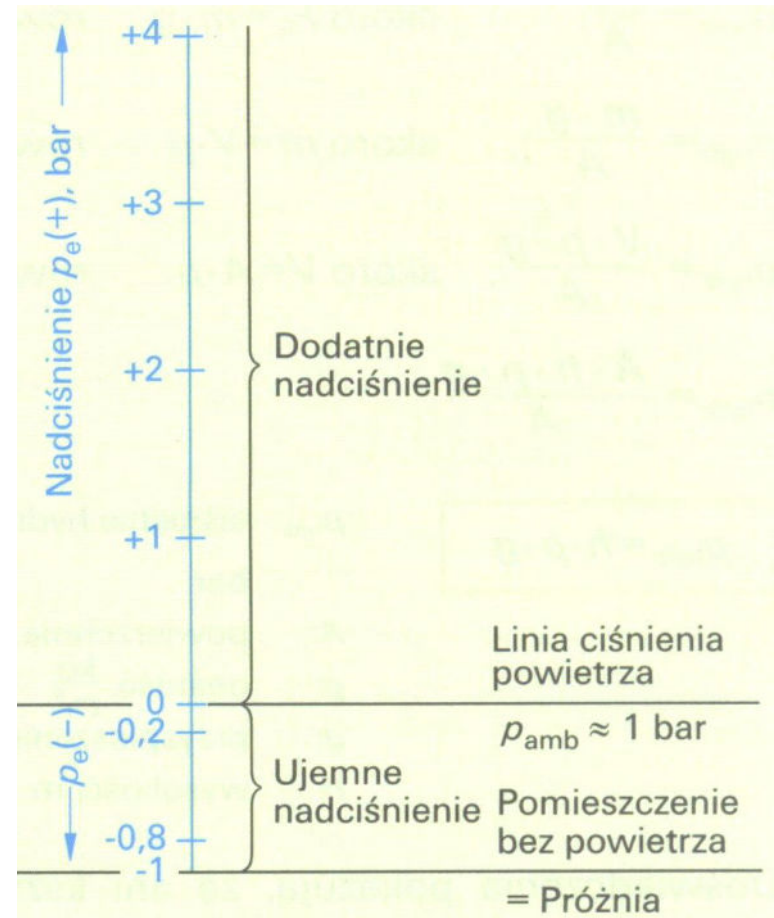


# Ciśnienie

W technice ciśnienie podawane jest najczęściej jako **nadciśnienie  $p_e$**  w stosunku do **ciśnienia normalnego (otoczenia)  $p_{amb} = 1013,25$  mbar** (ok. 1 bar, ok. 1000 hPa), które zależy od wysokości nad poziomem morza.



**Manometr** – wskazuje nadciśnienie:  $p_e$ .



Rys. Zakres ciśnienia względnego.

# Ciśnienie

**Ciśnienie bezwzględne  $p_{abs}$**   
 jest sumą ciśnienia  
 normalnego  $p_{amb}$  (otoczenia  
 lub odniesienia)  
 i nadciśnienia  $p_e$ .

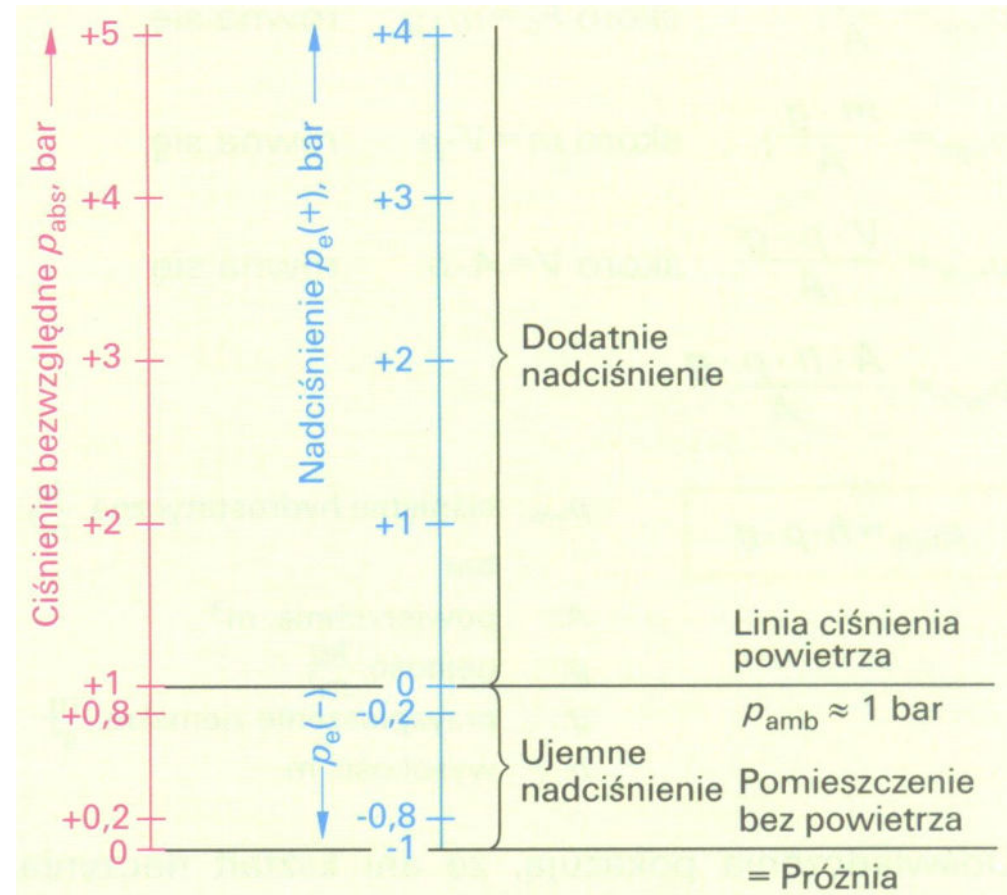
$$p_{abs} = p_{amb} + p_e \quad [\text{Pa}, \text{bar}]$$

$$p_e = p_{abs} - p_{amb} \quad [\text{Pa}, \text{bar}]$$

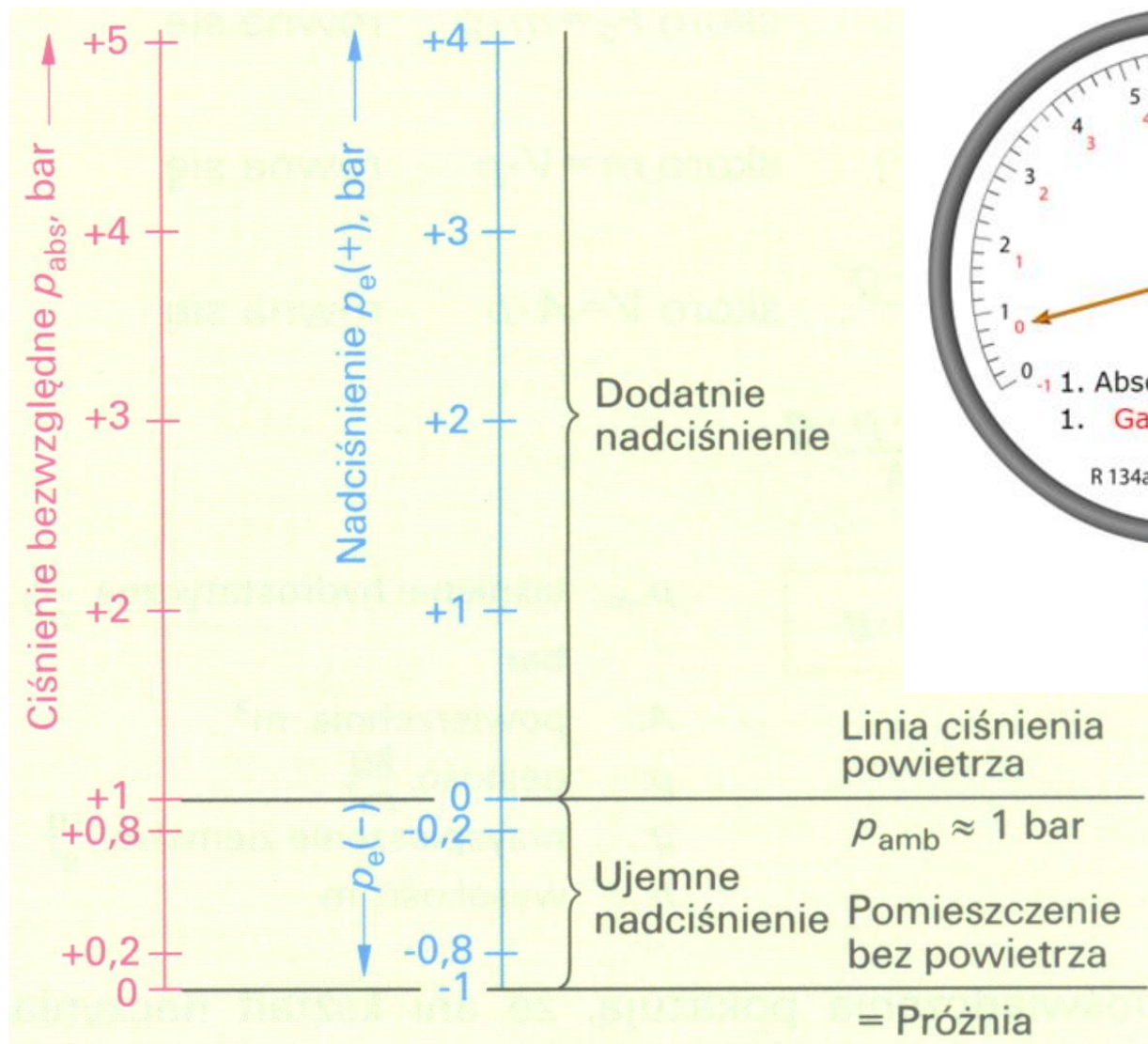
$p_{abs}$  - ciśnienie bezwzględne

$p_{amb}$  – ciśnienie otoczenia

$p_e$  – nadciśnienie



Rys. Zakresy ciśnień.



Ćwiczenie. Odczytaj ciśnienie w bar-ach (skala na czerwonym tle), na manometrze tarczowym:



**Odpowiedź:** ciśnienie wynosi ok. 43 bar.



**psi** – inna jednostka ciśnienia, wyrażana w funtach na cal kwadratowy.

**Wakuometr** (próżniomierz, manometr próżniowy) jest to przyrząd służący do mierzenia podciśnienia.



**Manowakuometr** - służy do mierzenia nadciśnienia i podciśnienia.

**Manometr** – pomiar nadciśnienia.



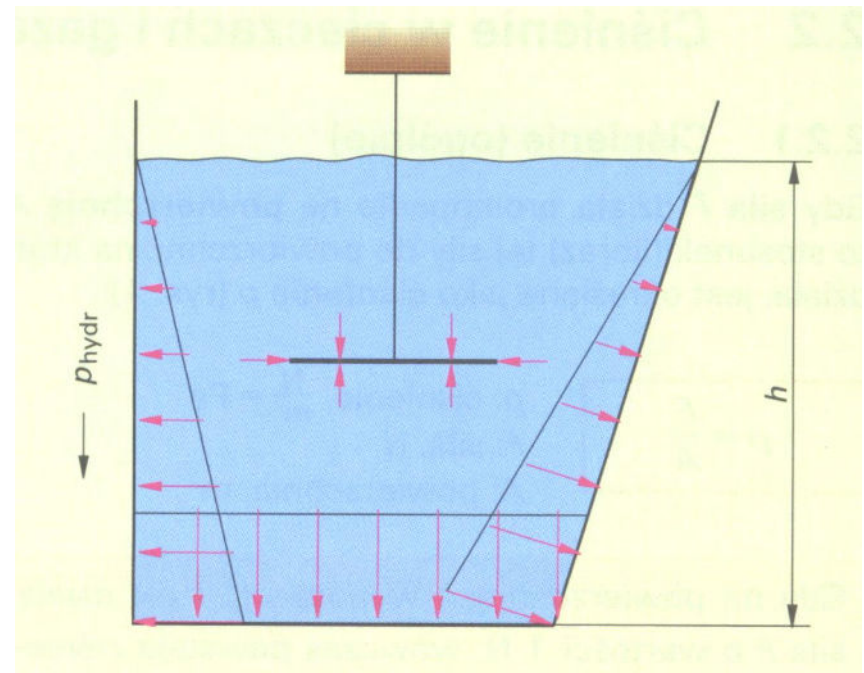
## Ciśnienie w cieczech

**Ciśnienie hydrostatyczne**  $p_{hydr}$  – jest to ciśnienie jakie wywiera na ciało zanurzone w wodzie znajdujący się nad nim słup cieczy.

Zależy od:

- wysokości słupa cieczy  $h$  [m], który oddziałuje na ciało
- gęstości cieczy  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>], w której ciało się znajduje
- przyspieszenia ziemskiego  $g$  [m/s<sup>2</sup>]

$$P_{hydr} = \rho * g * h \quad [\text{Pa}]$$



Rys. Ciśnienie hydrostatyczne.

# Ciśnienie

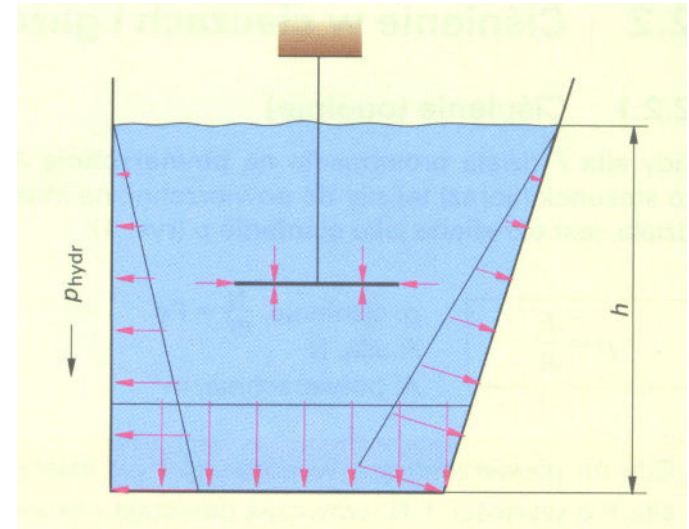
## Ciśnienie w cieczech

### Ciśnienie hydrostatyczne; c.d.

$$p_{\text{hydr}} = \rho * g * h \quad [\text{Pa}]$$

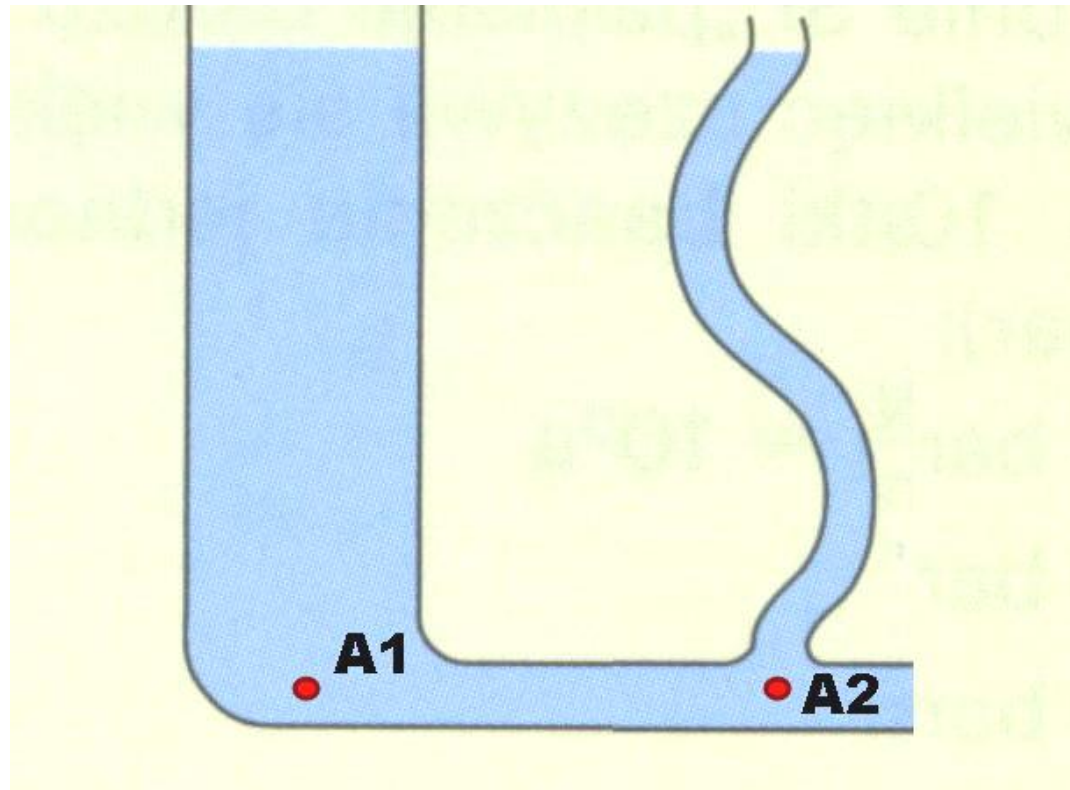
$$\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \text{m}}{\text{m}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa}$$

$$1 \text{ N} = \frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{s}^2}$$



## Ciśnienie w cieczech

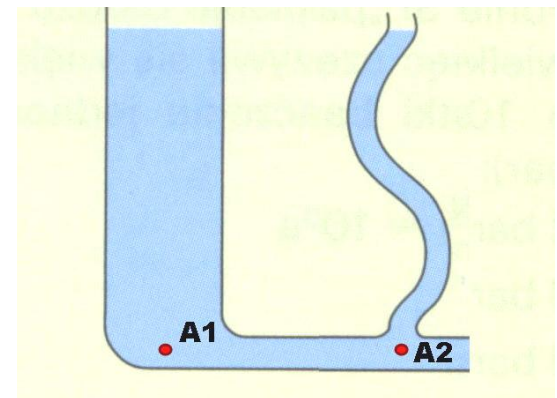
Gdzie panuje większe ciśnienie, w punkcie A1 czy A2 ?



## Ciśnienie w cieczech

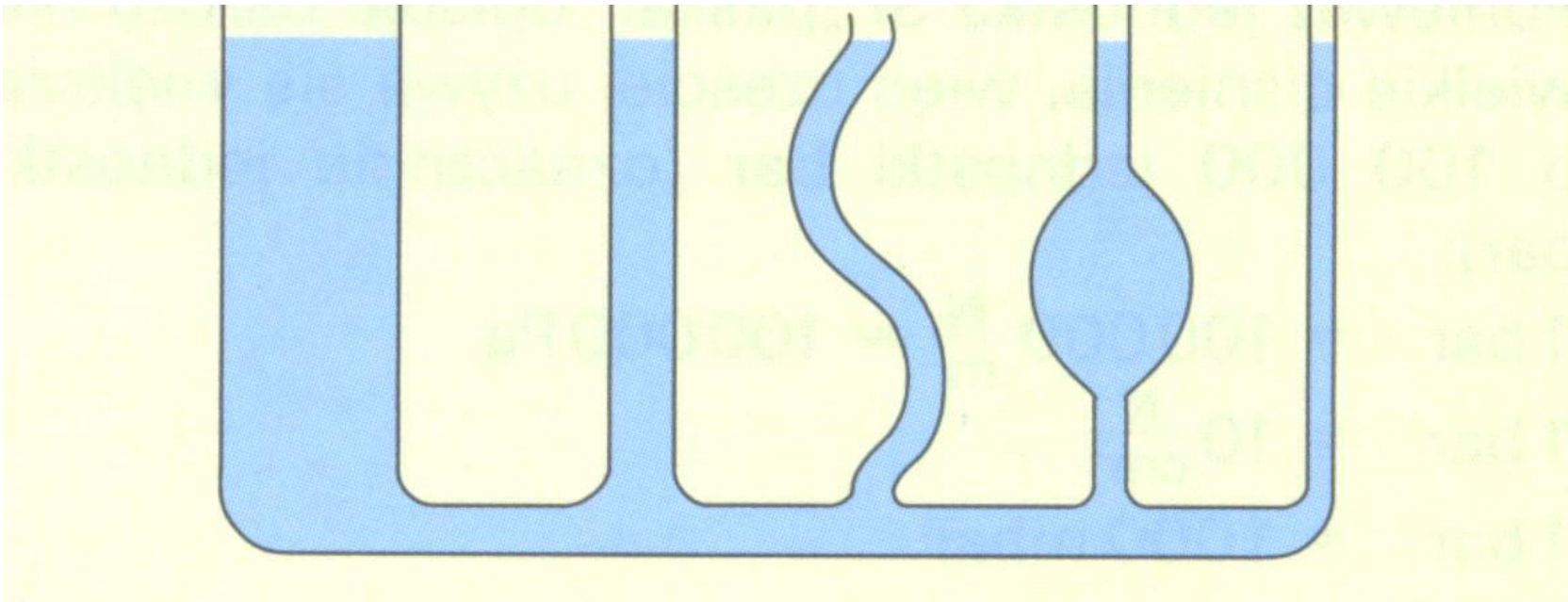
Gdzie panuje większe ciśnienie, w punkcie A1 czy A2 ?

Odpowiedź: Jest jednakowe, bo wysokość słupa wody nad punktem A1 jest taka sama jak nad punktem A2.



## Ciśnienie w cieczech

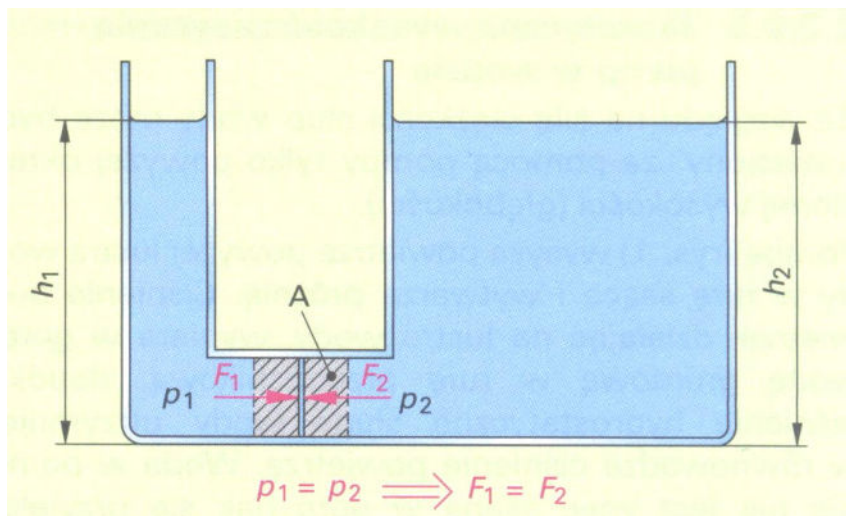
Kształt naczynia, jego przekrój poprzeczny czy ilość cieczy, nie mają wpływu na wartość ciśnienia. Jest to tzw. **paradoks hydrostatyczny**.



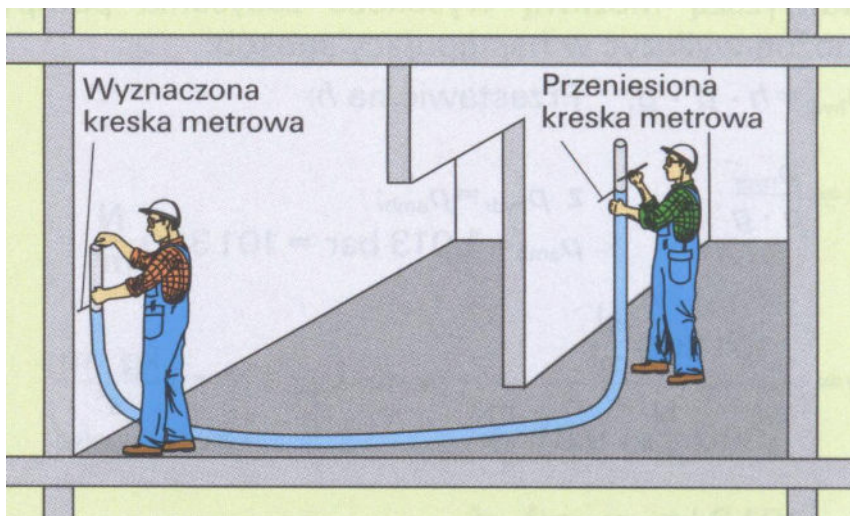
Rys. Paradoks hydrostatyczny - jednakowe ciśnienie w nieruchomych cieczech, niezależnie od przekroju poprzecznego i kształtu rury.

## Ciśnienie w naczyniach połączonych

W naczyniach i rurach połączonych poziom cieczy znajduje się na równej wysokości. Zasada ta jest używana np. w poziomnicy węzowej.



Rys. Rury połączone

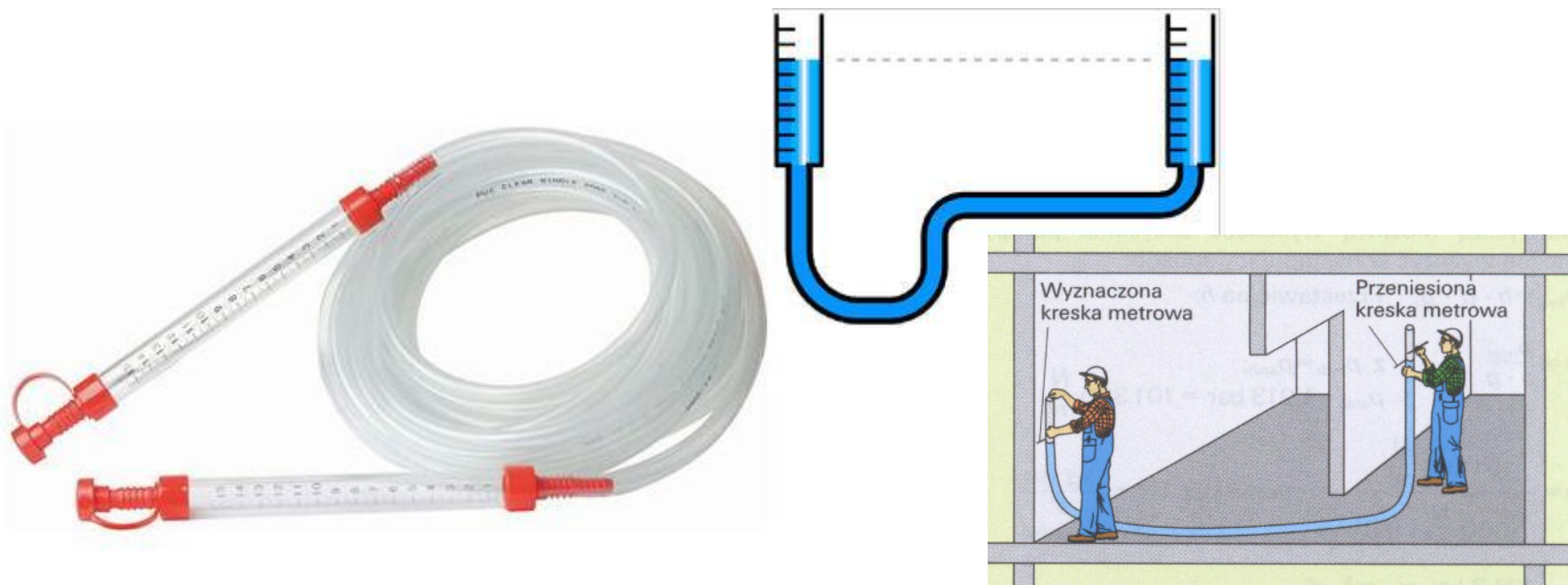


Rys. Poziomnica węzowa

## Poziomnica węzowa - wodna

Pot. szlauchwaga/szlaufwaga (z niem. *Schlauchwaage*) - składa się ona z dwóch pionowych rurek szklanych, bądź z tworzywa sztucznego, z podziałką, połączonych giętkim przewodem.

Doskonale nadaje się do wypoziomowania oddalonych od siebie dwóch punktów.

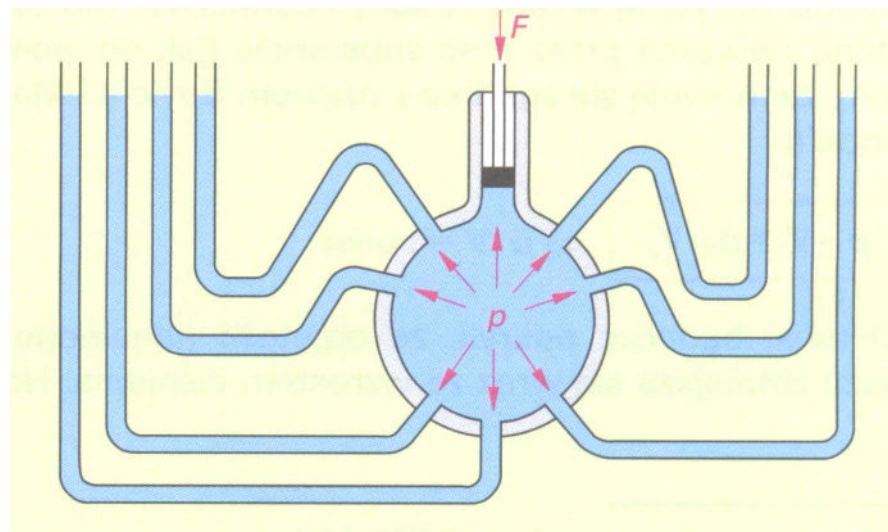


## Rozprzestrzenianie się ciśnienia

Ciecze i gazy przyjmują zawsze kształt naczynia, w którym są zamknięte.

W cieczech i gazach ciśnienie rozprzestrzenia się równomiernie we wszystkie strony.

**Ciecze** nie dają się w sposób znaczący ścisnąć i są uważane za **nieściśliwe** – nieznaczna zmiana objętości cieczechy na skutek działania ciśnienia. Z tego względu konieczne jest stosowanie w instalacjach centralnego ogrzewania i wody użytkowej przeponowych naczyń wzbiorniczych.



Rys. Rozprzestrzenianie się ciśnienia w cieczech (i gazach).

## Przeliczniki ciśnienia:

Równoważniki stosowanych jednostek ciśnienia

Jednostka wyjściowa	Paskal Pa = N/m <sup>2</sup>	Bar bar	mm H <sub>2</sub> O mm H <sub>2</sub> O	Atmosfera techniczna at	Atmosfera fizyczna atm	Tor Tr
1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>	1	10 <sup>-5</sup>	0,102	1,02·10 <sup>-5</sup>	9,869·10 <sup>-6</sup>	7,501·10 <sup>-3</sup>
1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa	10 <sup>5</sup>	1	10 197,2	1,0197	0,9869	750,06
1 mm H <sub>2</sub> O *	9,807	9,807·10 <sup>-5</sup>	1	10 <sup>-4</sup>	9,678·10 <sup>-5</sup>	7,356·10 <sup>-2</sup>
1 at = 1 kG/cm <sup>2</sup>	98 066,6	0,9807	10 <sup>4</sup>	1	0,9678	735,56
1 atm **	101 325	1,01325	10 332,27	1,0332	1	760
1 Tr ***	133,322	1,333·10 <sup>-3</sup>	13,595	1,359·10 <sup>-3</sup>	1,316·10 <sup>-3</sup>	1
* 1 mm H <sub>2</sub> O odpowiada 1 kG/m <sup>2</sup> , ** 1 atm odpowiada 760 mm Hg, *** 1 Tr odpowiada 1 mm Hg						

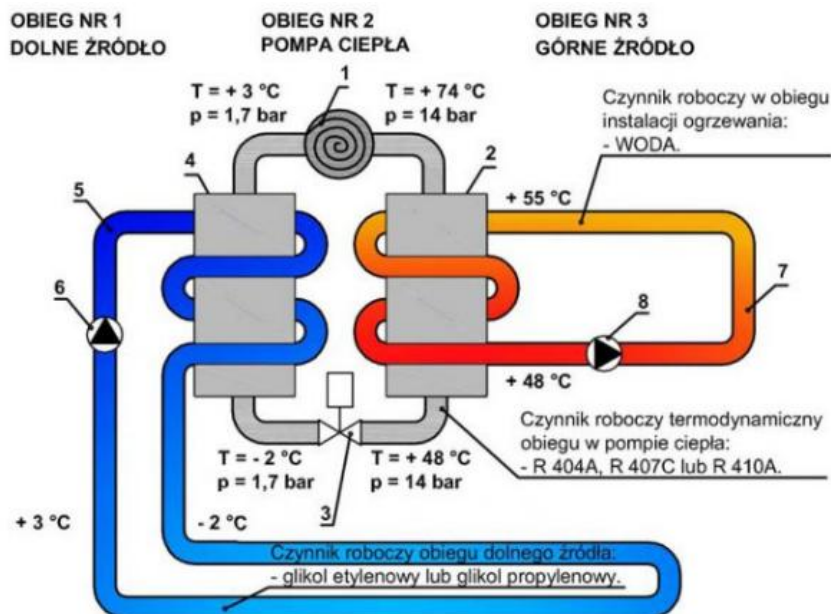
## Przeliczniki ciśnienia:

	psi	atms	kg/cm2	in Hg	mm Hg	cm Hg	mbar	bar	Pa	kPa	MPa
psi	1	0.06805	0.07031	2.036	51.72	5.172	68.95	0.06895	6895	6.895	0.006895
atms	14.7	1	1.033	29.92	760	76	1013	1.013	101325	101.3	0.1013
kg/cm2	14.22	0.9678	1	28.96	735.6	73.56	980.7	0.9807	98066	98.07	0.098066
in Hg	0.49115	0.03342	0.03453	1	25.4	2.54	33.86	0.03386	3386	3.386	0.003386
mm Hg	0.01934	0.001316	0.00136	0.03937	1	0.1	1.33	0.001333	133.3	0.1333	0.000133
cm Hg	0.1934	0.01316	0.0136	0.3937	10	1	13.33	0.01333	1333	1.333	0.001333
mbar	0.0145	0.000987	0.00102	0.02953	0.7501	0.07501	1	0.001	100	0.1	0.0001
bar	14.5	0.9869	1.02	29.53	750.1	75.01	1000	1	100000	100	0.1
Pa	0.000145	0.00000987	0.0000102	0.000295	0.007499	0.00075	0.01	0.00001	1	0.001	0.000001
kPa	0.145	0.009869	0.0102	0.2953	7.501	0.7501	10	0.01	1000	1	0.001
MPa	145	9.869	10.2	295.3	7500	750	10000	10	1000000	1000	1

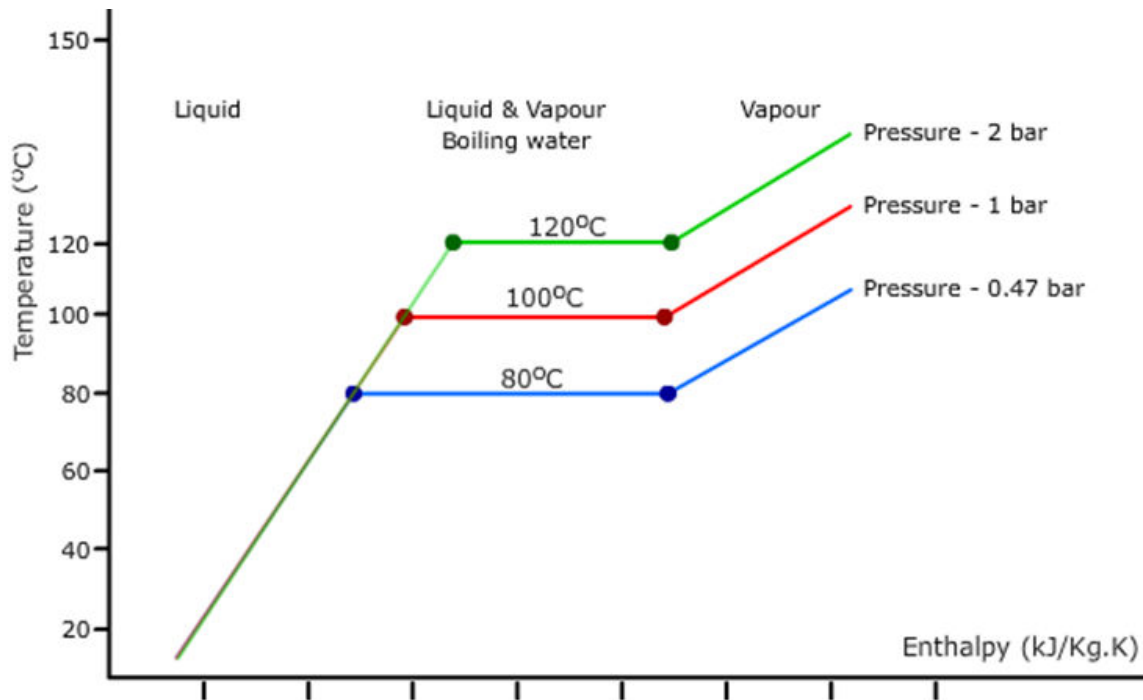
## Zapamiętaj:

**Sprężanie gazu** -> **wzrasta ciśnienie gazu** oraz wzrasta jego temperatura, np. pompa rowerowa, sprężarka pompy ciepła.

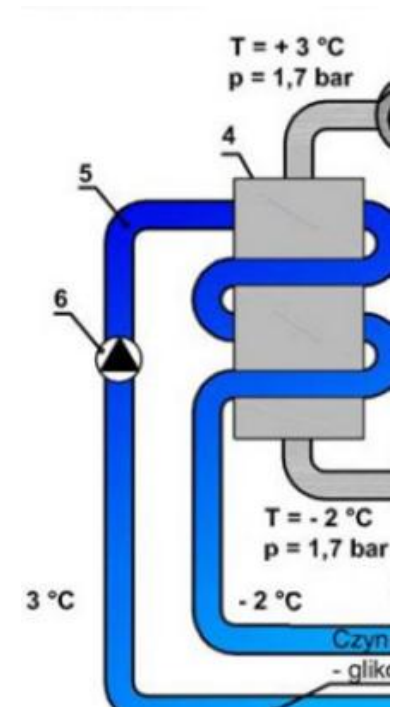
**Rozprężanie gazu** -> podczas rozprężania **obniża się ciśnienie** i obniża się temperatura gazu, np. zawór rozprężny pompy ciepła.



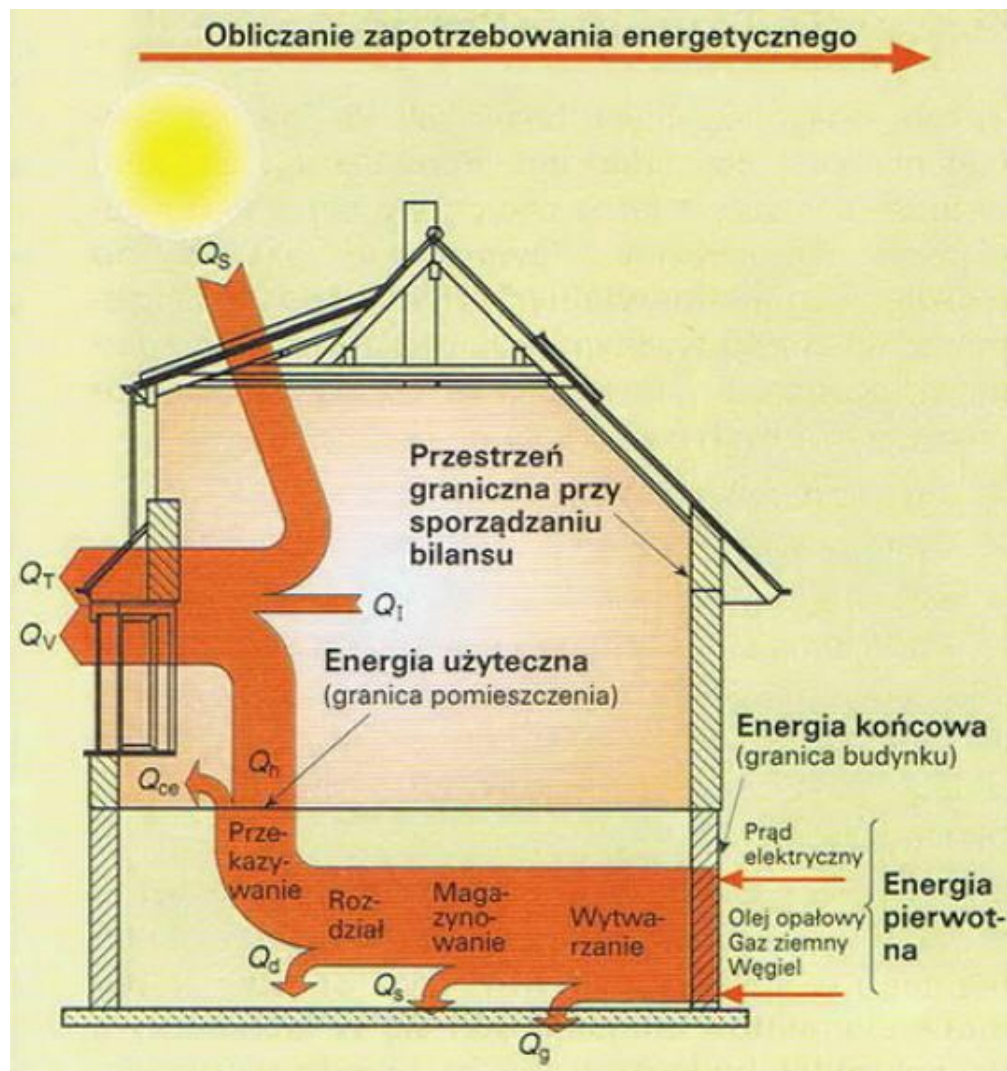
**Zapamiętaj:**  
**Im niższe ciśnienie, tym niższa temperatura wrzenia danej substancji.**



Rys. Temperatura wrzenia/kondensacji wody w zależności od ciśnienia.



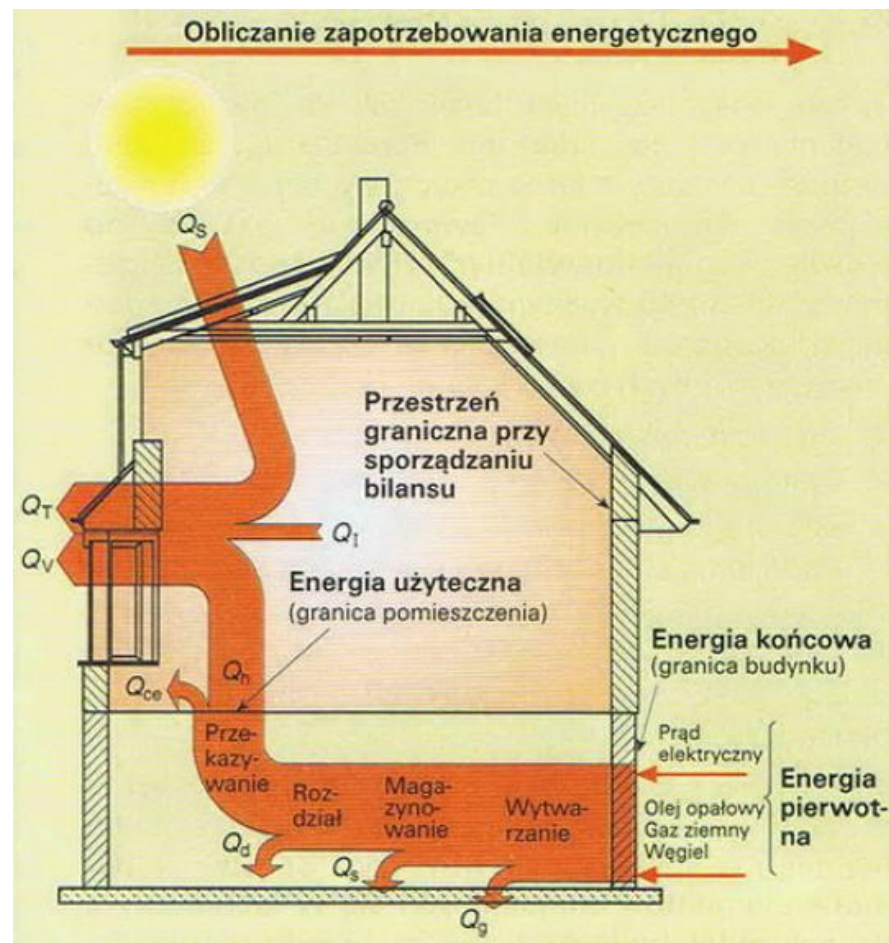
Energia **końcowa** ...  
Energia **pierwotna** ...  
Energia **użyteczna** ...



Rys. Zapotrzebowanie energetyczne budynku – bilans energetyczny.

## Energia użyteczna

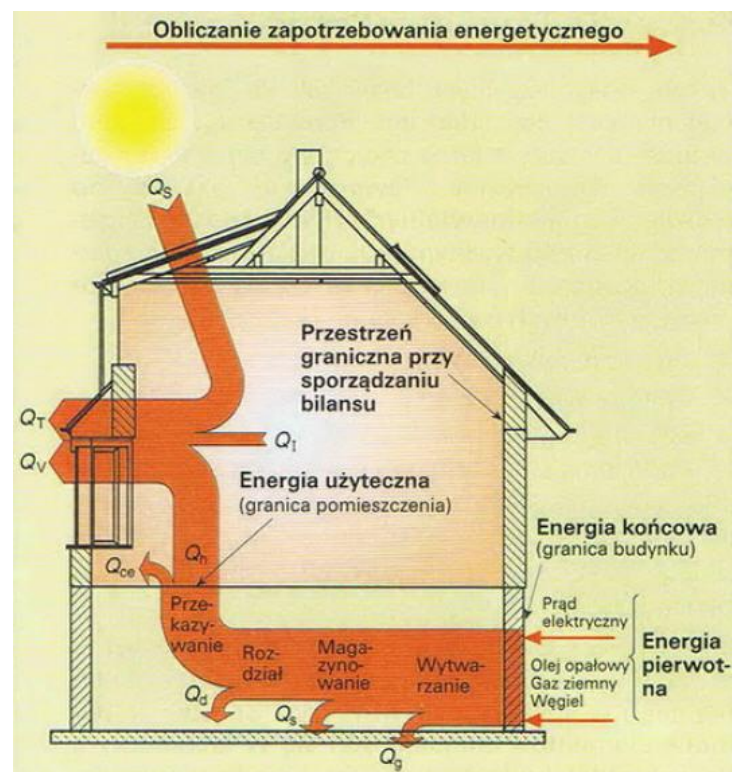
Jest to ilość energii jaką potrzebuje budynek do zapewnienia w nim wymaganej temperatury.



## Energia końcowa

Ilość energii bilansowana na granicy budynku, która powinna zostać dostarczona do budynku aby z uwzględnieniem wszystkich strat zapewnić utrzymanie obliczeniowej temperatury wewnętrznej i zapewnienie ciepłej wody użytkowej.

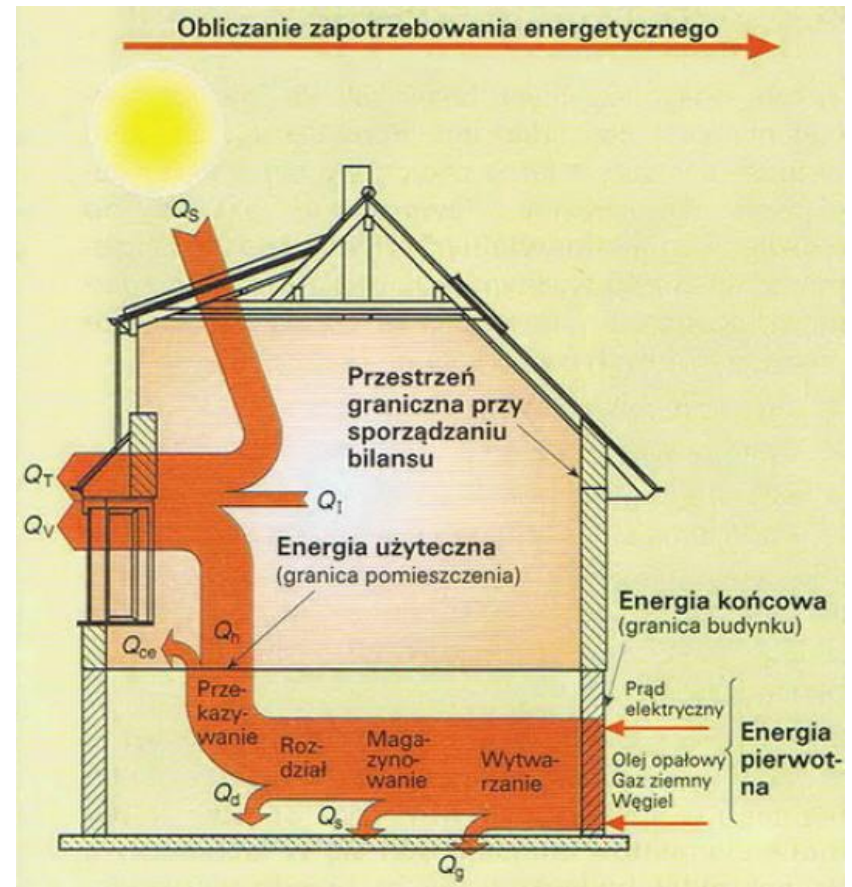
Ogólnie rzecz ujmując to **energia, za którą użytkownik musi zapłacić.**



# Energia cieplna

## Energia pierwotna

Obok energii końcowej uwzględnia dodatkowe nakłady nieodnawialnej energii pierwotnej potrzebnej na dostarczenie do granicy budynku wykorzystywanego nośnika energii (np. gazu, oleju, en. elektrycznej).



## Energia ciepła

---

**Zapotrzebowania na ciepło budynku** powinny zostać **policzone dokładnie** – programem komputerowym.

**Przykładowe współczynniki** dla wstępnych obliczeń - szacunkowych

**Zapotrzebowanie na ciepło budynku :**

- domy budowane obecnie: 80 – 120 kWh/m<sup>2</sup>rok
- domy energooszczędne: 30 – 70 kWh/m<sup>2</sup>rok
- domy pasywne: 10 – 15 kWh/m<sup>2</sup>rok
  
- starszy dom – ocieplony: 140 – 160 kWh/m<sup>2</sup>rok
- starszy dom – bez ocieplenia: 170 – 200 kWh/m<sup>2</sup>rok

**Moc grzewcza na c.o. :**

- domy budowane obecnie: 40 – 60 W/m<sup>2</sup>
- domy energooszczędne: 25 – 40 W/m<sup>2</sup>
- domy pasywne: ok. 15 W/m<sup>2</sup>
  
- starszy dom – ocieplony: 60 – 80 W/m<sup>2</sup>
- starszy dom – bez ocieplenia: 120 – 160 W/m<sup>2</sup>

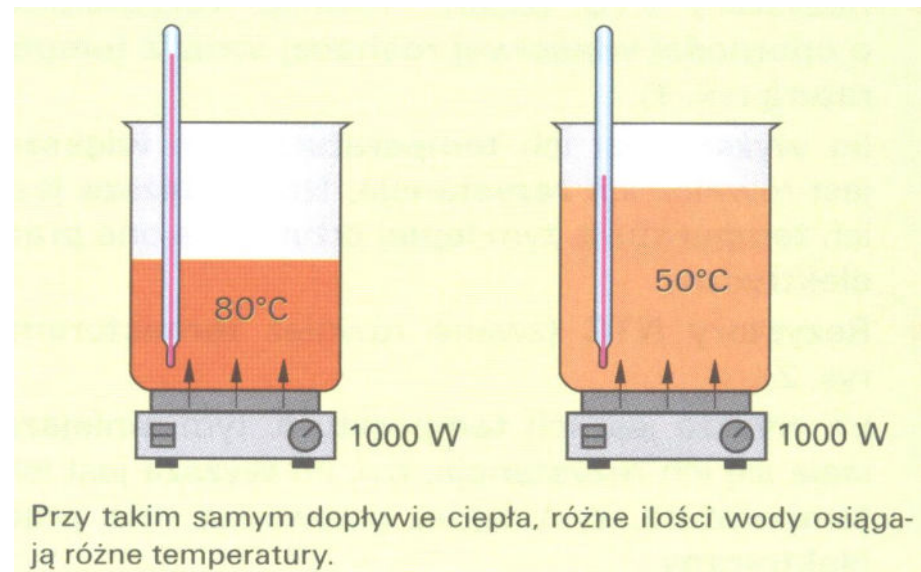
## Energia cieplna

Aby zwiększyć temperaturę określonej ilości wody, należy doprowadzić energię cieplną.

**Energia cieplna zawarta w określonej substancji lub ciele nie może być utożsamiana z temperaturą tej substancji lub ciała.**

Energia występuje w różnych formach, jako:

- energia elektryczna
- energia jądrowa
- energia mechaniczna
- energia cieplna
- energia promieniowania
- energia chemiczna



Rys. Dopływ ciepła

# Energia cieplna

## Ciepło właściwe (pojemność cieplna)

Jest ilością ciepła, które należy dostarczyć do jednostki masy substancji (1 kg), żeby zwiększyć jej temperaturę o 1 K.

Odwrotnie przy chłodzeniu...

Jest ilością ciepła jaką uzyskamy (odbierzemy) od jednostki masy substancji, przy obniżeniu jej temperatury o 1 K.

Oznaczane literą **c**, a jednostką jest: **J/(kg\*K)**

Substancja	Ciepło właściwe	
	J kg · K	Wh kg · K
Aluminium	900	0,25
Stop miedzi i cyny	380	0,106
Żeliwo	544	0,15
Miedź	390	0,108
Stop miedzi i cynku	390	0,108
Stal	460	0,128
Stal nierdzewna	500	0,139
Cynk	395	0,11
Polietylen (PE-X)	2310	0,642
Poli-1-buten (PB)	1500	0,417
Polipropylen (PP)	2000	0,555
Poli(chlorek winylu) (PVC)	980	0,272
Olej opałowy EL	2070	0,575
Woda	4190	1,163
Lód	2050	0,57
Para wodna	1900	0,528
Powietrze	1224	0,34

# Energia cieplna

## Ciepło właściwe

Ciepło właściwe (pojemność cieplna) substancji nie jest stała, lecz zmienia się w zależności od **ciśnienia** i **temperatury**.

Substancja	Ciepło właściwe	
	$\frac{J}{kg \cdot K}$	$\frac{Wh}{kg \cdot K}$
Aluminium	900	0,25
Stop miedzi i cyny	380	0,106
Żeliwo	544	0,15
Miedź	390	0,108
Stop miedzi i cynku	390	0,108
Stal	460	0,128
Stal nierdzewna	500	0,139
Cynk	395	0,11
Polietylen (PE-X)	2 310	0,642
Poli-1-buten (PB)	1500	0,417
Polipropylen (PP)	2000	0,555
Poli(chlorek winylu) (PVC)	980	0,272
Olej opałowy EL	2070	0,575
Woda	4190	1,163
Lód	2050	0,57
Para wodna	1900	0,528
Powietrze	1224	0,34

Rys. Ciepło właściwe różnych substancji

## Energia cieplna

---

**Ilość ciepła** (energia cieplna), jaka jest potrzebna żeby podgrzać określoną substancję, zależy od jej ciepła właściwego, masy i od wzrostu temperatury.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad [J]$$

gdzie:

$Q$  – ilość ciepła (energia cieplna) [J]

$m$  – masa substancji [kg]

$c$  – ciepło właściwe [J/(kgK)]

$\Delta T$  – różnica temperatury [K]

## Moc cieplna

**Moc cieplna** (strumień cieplny), jest to ilość energii cieplnej dostarczonej w jednostce czasu (w danej „chwili”).

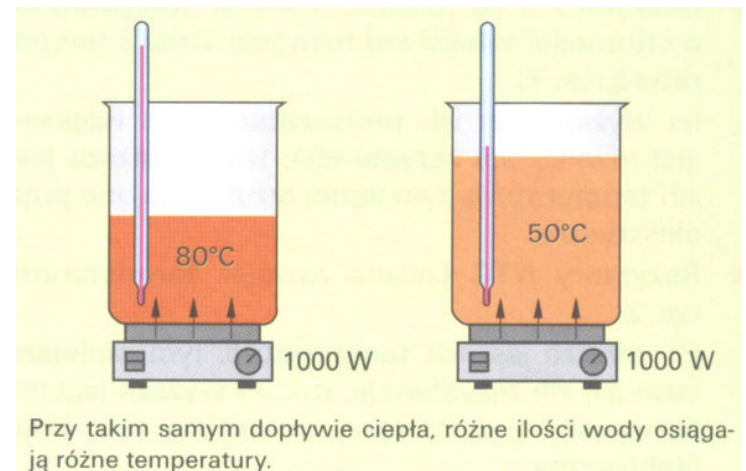
$$N = \frac{Q}{\tau} \quad \left[ \frac{J}{s} \right] = [W]$$

$N$  – moc cieplna (strumień cieplny, wydajność cieplna) [W]

$Q$  – ilość ciepła (energia cieplna) [J]

$\tau$  – czas [s]

Aby ogrzać większą ilość wody do temperatury 80°C, w tym samym czasie co mniejszą, płyta grzewcza musi dostarczyć większą ilość ciepła  $Q$ , tzn. jest potrzebna płyta grzewcza o większej mocy cieplnej niż 1000 W (o większej wydajności cieplnej)



# Moc cieplna

Tam, gdzie mamy doczynienia z przepływem substancji:

$$N = \frac{Q}{\tau} \quad [W]$$

$$N = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\tau} \quad [W]$$

ponieważ:  $\frac{m}{\tau} = \dot{m} \left[ \frac{kg}{s} \right]$  -> litera „*m* z kropką” - masowe natężenie przepływu lub strumień masy (kg/s)

możemy zapisać:

$$N = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T \quad [W]$$

# Moc cieplna

Sprawdzenie jednostek:

$$N = \frac{Q}{\tau} \quad [W]$$

$$N = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\tau} \quad [W]$$

$$\frac{\text{kg} \cdot \frac{J}{\text{kg} \cdot K} \cdot K}{s} = \frac{J}{s} = W$$

czyli:  $1W = \frac{1J}{1s} \Rightarrow$  inaczej:  $1J = 1W \cdot s = 1Ws$

$$1J = 1Ws$$

## Moc cieplna

$$1 J = 1 Ws$$

$$4190 \left[ \frac{J}{kgK} \right]$$

$$4190 \left[ \frac{Ws}{kgK} \right]$$

$$4190 \left[ \frac{Ws}{kgK} \cdot \frac{1h}{3600s} \right] = \frac{4190}{3600} = 1,163 \left[ \frac{Wh}{kgK} \right]$$

Do obliczeń najczęściej przyjmujemy  
ciepo właściwe:

wody: **4,19** [kJ/kgK] lub **1,163** [Wh/kgK]

powietrza: 1,2 [kJ/kgK]

Substancja	Ciepło właściwe	
	$\frac{J}{kg \cdot K}$	$\frac{Wh}{kg \cdot K}$
<u>Woda</u>	<u>4190</u>	<u>1,163</u>
Lód	2050	0,57
Para wodna	1900	0,528
<u>Powietrze</u>	<u>1224</u>	0,34

## Moc cieplna

**Przykład: Ile wyniesie natężenie przepływu wody w rurociągu na zasilaniu i powrocie z instalacji grzewczej.**

**Temperatura wody zasilającej ogrzewanie wynosi 70°C, na powrocie do kotła 55°C (z instalacji); moc grzewcza kotła 10 kW.**

$$N = 10 \text{ [kW]} = 10\,000 \text{ [W]}$$

$$\Delta T = 70 - 55 = 15 \text{ [}^\circ\text{C]} = 15 \text{ [K]}$$

$$\dot{m} = ? \text{ [kg/h]}$$

$$N = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T$$

$$\dot{m} = \frac{N}{c \cdot \Delta T}$$

$$c = 1,163 \text{ [Wh/kgK]}$$

# Moc cieplna

## Przykład, c.d.:

Ile wyniesie natężenie przepływu wody w rurociągu na zasilaniu i powrocie z instalacji grzewczej. Temperatura wody zasilającej ogrzewanie wynosi 70°C, na powrocie do kotła 55°C (z instalacji); moc grzewcza kotła 10 kW.

$\dot{m} = ?$  [kg/h]

$$\dot{m} = \frac{N}{c \cdot \Delta T}$$

$$\dot{m} = \frac{10\,000}{1,163 \cdot 15}$$

$$\dot{m} = 573,2 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

# Moc cieplna

## Przykład, c.d.:

Ile wyniesie natężenie przepływu wody w rurociągu na zasilaniu i powrocie z instalacji grzewczej. Temperatura wody zasilającej ogrzewanie wynosi 70°C, na powrocie do kotła 55°C (z instalacji); moc grzewcza kotła 10 kW.

$\dot{m} = ?$  [kg/h]

Sprawdzenie:

$$\dot{m} = \frac{10\,000\text{ W}}{1,163\text{ Wh/kgK} \cdot 15\text{K}} = 573,2 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

$$\frac{\cancel{\text{W}}}{\frac{\cancel{\text{W}} \cdot \text{h}}{\text{kg} \cdot \cancel{\text{K}}} \cdot \cancel{\text{K}}} = \frac{1}{\frac{\text{h}}{\text{kg}}} = \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

## Moc cieplna

**Przykład: Z jaką mocą grzewczą pracuje kocioł (w danej chwili), jeśli woda zasilająca ogrzewanie ma temperaturę 55°C, powracająca z instalacji: 50°C, a natężenie przepływu wynosi 0,28 kg/s.**

$$\Delta T = 55 - 50 = 5 \text{ [}^\circ\text{C]} = 5 \text{ [K]}$$

$$\dot{m} = 0,28 \text{ [kg/s]}$$

$$N = ? \text{ [W]}$$

$$N = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T$$

$$c = 1,163 \text{ [Wh/kgK]}$$

$$N = 0,28 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \cdot 1,163 \left[ \frac{\text{Wh}}{\text{kgK}} \right] \cdot 5 \text{ [K]}$$

nie pasują „s” i „h” – konieczne przeliczenie: *sekundy* => *godziny*:

$$N = 0,28 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \cdot \frac{3\,600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \cdot 1,163 \left[ \frac{\text{Wh}}{\text{kgK}} \right] \cdot 5 \text{ [K]}$$

# Moc cieplna

**Przykład; c.d.:** Z jaką mocą grzewczą pracuje kocioł (w danej chwili), jeśli woda zasilająca ogrzewanie ma temperaturę 55°C, powracająca z instalacji: 50°C, a natężenie przepływu wynosi 0,28 kg/s.

$$\Delta T = 55 - 50 = 5 \text{ [}^\circ\text{C]} = 5 \text{ [K]}$$

$$\dot{m} = 0,28 \text{ [kg/s]}$$

$$N = ? \text{ [W]}$$

$$N = 0,28 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \cdot \frac{3\,600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \cdot 1,163 \left[ \frac{\text{Wh}}{\text{kgK}} \right] \cdot 5 \text{ [K]}$$

$$N = 5861,52 \text{ [W]}$$

$$N = 5,86 \text{ [kW]}$$

# Moc cieplna

## Przykład:

Ile czasu zajmie ogrzewanie wody od temperatury 10°C do 45°C i do 60°C, w zbiorniku o pojemności 100 litrów i 120 litrów, gdy moc grzewcza kotła wynosi 18 kW ?

$$N = 18 \text{ kW}$$

$$m = 100 \text{ kg} / 120 \text{ kg}$$

$$t_1 = 10^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 45^\circ / 60^\circ\text{C}$$

$$c = 1,163 \text{ Wh/kgK}$$

$$N = \frac{Q}{\tau} \quad [W]$$

$$N = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\tau}$$

$$\tau = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{N} \quad [h]$$

$$\left[ \frac{\text{kg} \cdot \frac{\text{Wh}}{\text{kgK}} \cdot \text{K}}{W} = h \right]$$

# Moc cieplna

## Przykład, c.d.:

Ile czasu zajmie ogrzewanie wody od temperatury 10°C do 45°C i do 60°C, w zbiorniku o pojemności 100 litrów i 120 litrów, gdy moc grzewcza kotła wynosi 18 kW ?

$$N = 18 \text{ kW}$$

$$m = 100 \text{ kg} / 120 \text{ kg}$$

$$t_1 = 10^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 45^\circ / 60^\circ\text{C}$$

$$c = 1,163 \text{ Wh/kgK}$$

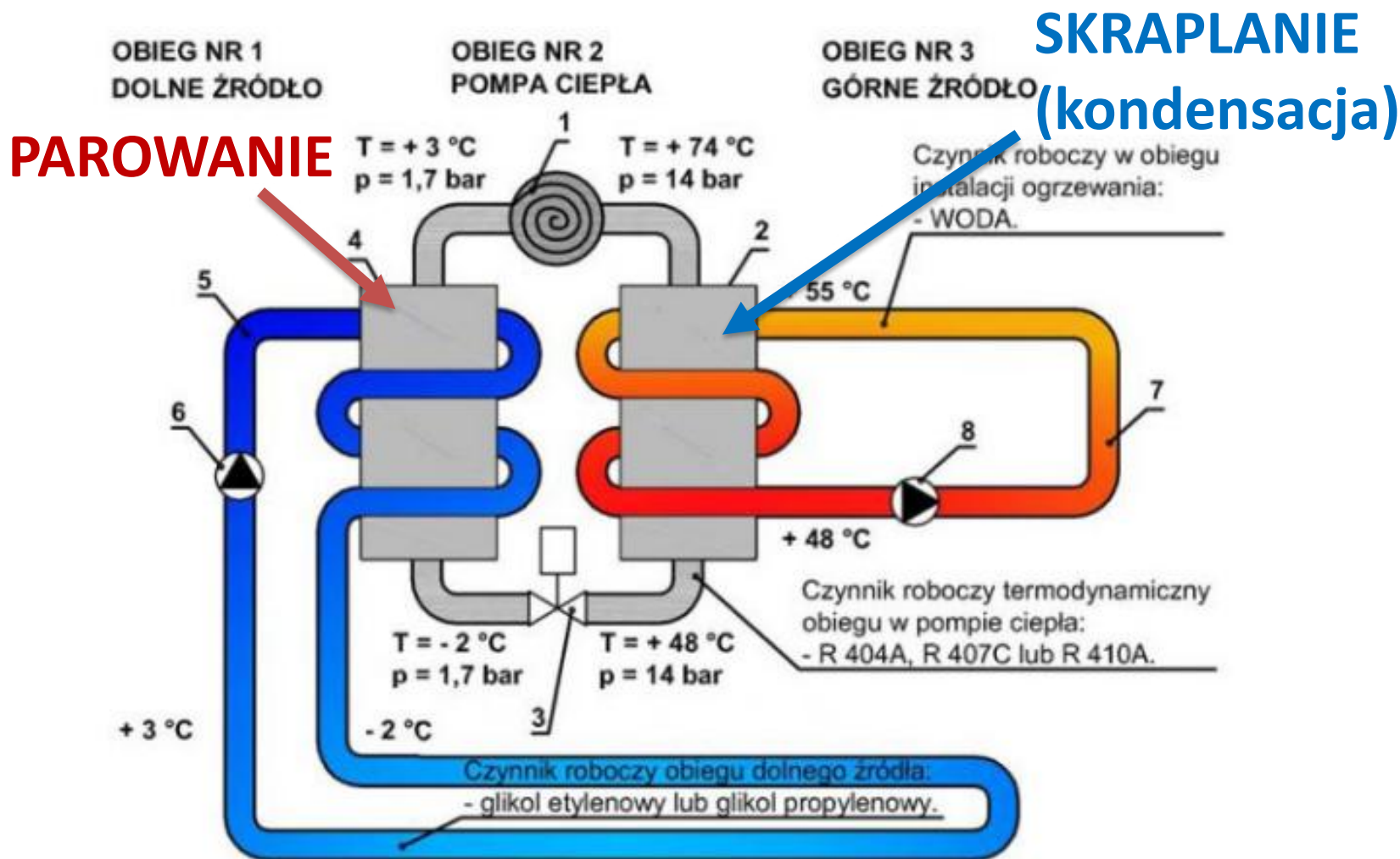
$$\tau_{100/45} = 100 \cdot 1,163 \cdot (45 - 10) / 18000 = 0,226 \text{ [h]} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 14 \text{ [min]}$$

$$\tau_{100/60} = 100 \cdot 1,163 \cdot (60 - 10) / 18000 = 0,323 \text{ [h]} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 19 \text{ [min]}$$

$$\tau_{120/45} = 120 \cdot 1,163 \cdot (45 - 10) / 18000 = 0,271 \text{ [h]} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 16 \text{ [min]}$$

$$\tau_{120/60} = 120 \cdot 1,163 \cdot (60 - 10) / 18000 = 0,388 \text{ [h]} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 23 \text{ [min]}$$

## Zasada działania pompy ciepła:

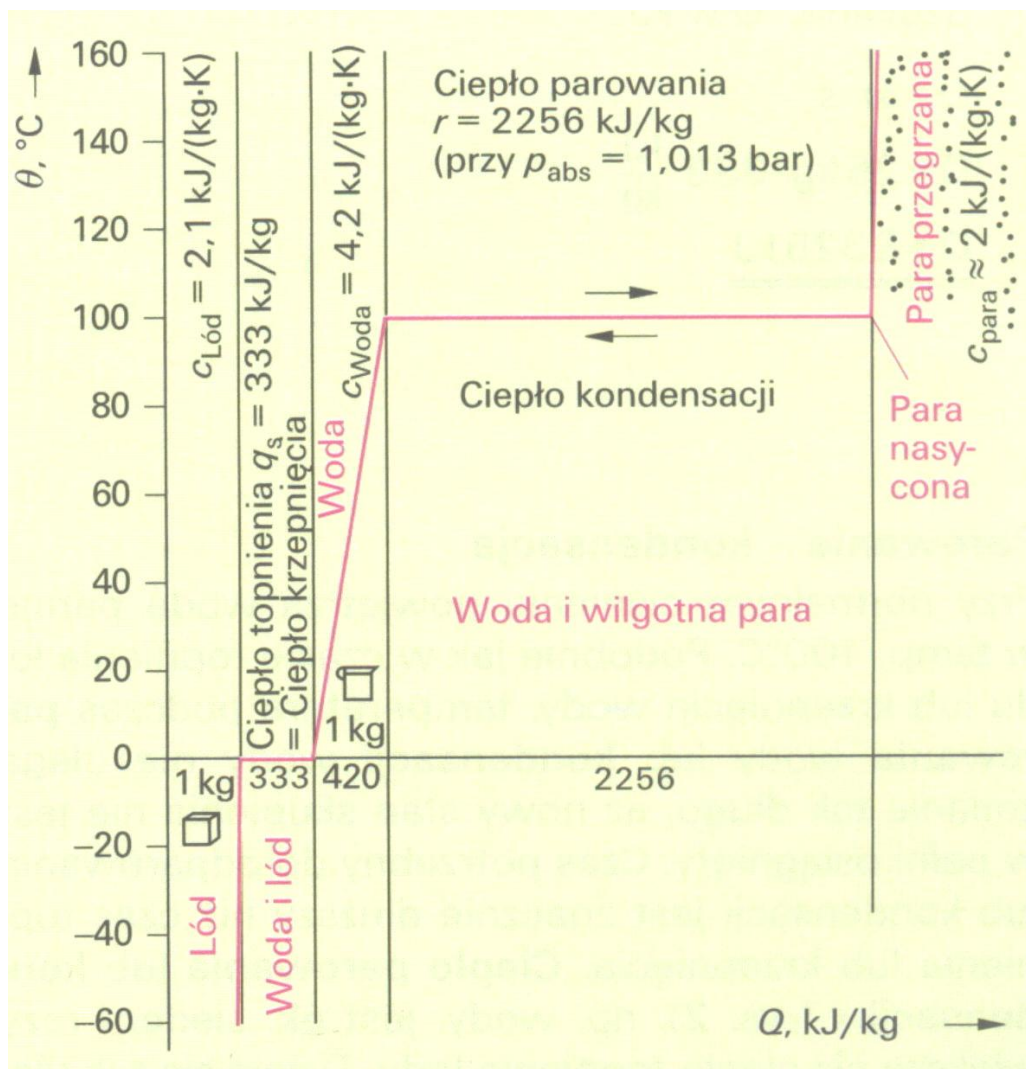


**Zmiana stanu skupienia następuje przy zawsze niezmienniej temperaturze.**

Doprowadzając energię:  
ciało stałe → ciecz → para

Uwolnienie ciepła:  
gaz → ciecz → stan stały

(kondensacja: gaz → ciecz )



Rys. Zmiany stanu skupienia wody

## Topnienie – krzepnięcie

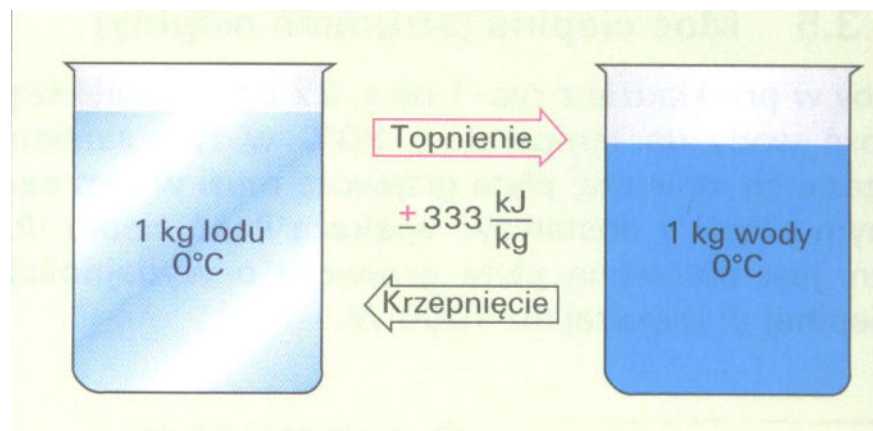
**Ciepło topnienia** lub **krzepnięcia** „ $s$ ”, jest to ilość ciepła jaka jest potrzebna, lub jaka jest uwalniana, gdy 1 kg substancji zmienia stan skupienia ze stałego na ciekły (topnienie) lub z ciekłego na stały (krzepnięcie).

$$Q = m \cdot s$$

$Q$  – ilość ciepła [kJ lub Wh]

$m$  – masa substancji [kg]

$s$  – ciepło topnienia [kJ/kg lub Wh/kg]



Rys. Ciepło topnienia i krzepnięcia

# Ciepło topnienia i parowania

## Parowanie – kondensacja

### Ciepło parowania lub kondensacji

„ $r$ ”, to ilość ciepła jaka jest potrzebna lub uwalniana, gdy 1 kg substancji przy stałym ciśnieniu zmienia stan skupienia z ciekłego na gazowy (parowanie) lub z gazowego na ciekły (kondensacja).

$$Q = m \cdot r$$

$Q$  – ilość ciepła [kJ lub Wh]

$m$  – masa [kg]

$r$  – ciepło parowania [kJ/kg lub Wh/kg]

Substancja	Temperatura topnienia $\theta$ °C	Ciepło topnienia $s$ $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	Temperatura wrzenia $\theta$ °C	Ciepło parowania $r$ $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Aluminium	659	323	2270	11723
Ołów	327	26,4	1692	921
Lód	0	333	-	-
Żeliwo szare	1200	96,3	-	-
Miedź	1083	188	2595	4647
Rtęć	-39	11,7	357	285
Tlen	-219	13,8	-183	214
Stal	1400	276	2500	6280
Azot	-210	25,5	-196	199
Woda	0	333	100	2256
Cynk	419	105	907	1800
Cyna	232	58,6	2430	2596
Powietrze	-213	-	-192	197

Rys. Ciepło topnienia i parowania różnych substancji

## Parowanie – kondensacja

Temperatura wrzenia i ciepło parowania wody są silnie **zależne od ciśnienia**.

**Pytanie: Czy na Mount Everest można ugotować jajko ?**

Ciśnienie $p_{abs}$ mbar	Temperatura wrzenia $\theta$ °C	Uwagi
393	75,4	Mount Everest
588	85,5	Mont Blanc
784	93,0	Zugspitze
1013	100	wysokość nad poziomem morza

## Parowanie – kondensacja

**Pytanie: Czy na Mount Everest można ugotować jajko ?**

„Ścinanie białka w jaku (denaturacja), zachodzi w temperaturze ok.  $63^{\circ}\text{C}$ , a żółtko jaka kurzego ścina się w temp. ok.  $5^{\circ}\text{C}$  wyższej od białka, czyli ok.  $68^{\circ}\text{C}$ ”.

### Odpowiedź:

Na Mount Everest ugotujemy jajko, bo temperatura wrzenia wody wynosi  $75,4^{\circ}\text{C}$ , czyli ...

Białko i żółtko zetną się.

Jajko ugotuje się.

Gdyby była niższa od  $68^{\circ}\text{C}$ , nie ugotujemy jajka.

Ciśnienie $p_{\text{abs}}$ mbar	Temperatura wrzenia $\theta$ $^{\circ}\text{C}$	Uwagi
393	75,4	Mount Everest
588	85,5	Mont Blanc
784	93,0	Zugspitze
1013	100	wysokość nad poziomem morza

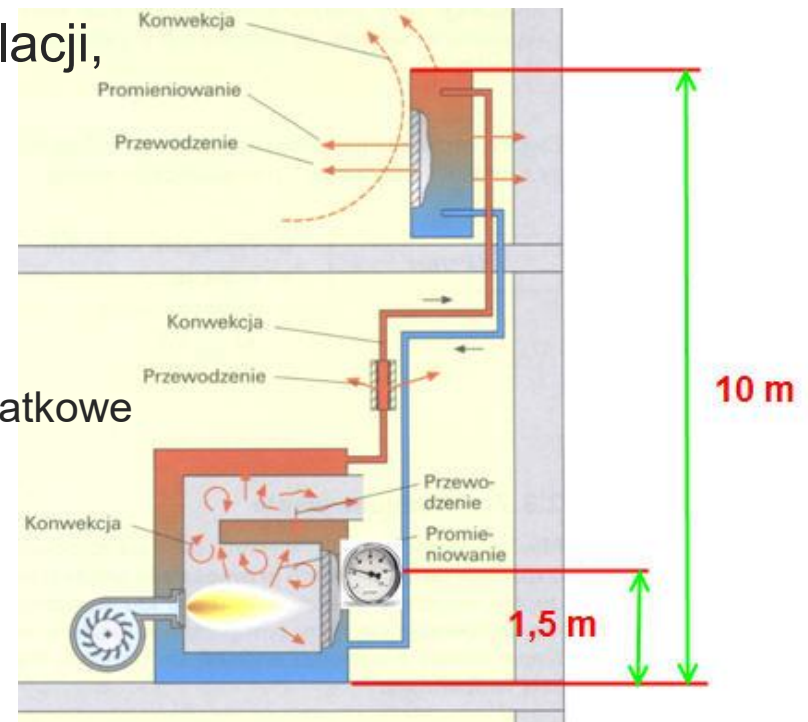
## Przykładowe zadania obliczeniowe

### Zadanie 1.

Manometr zamontowany 1,5 m nad najniższym punktem instalacji i wskazuje ciśnienie 1,8 bar. Wysokość instalacji wynosi 10 m. Ciśnienie otoczenia (normalne) wynosi 1005 hPa.

1. Oblicz ciśnienie hydrostatyczne na wysokości manometru, wynik podaj w Pa.
2. Oblicz dodatkowe nadciśnienie w instalacji, powyżej ciśnienia hydrostatycznego
3. Oblicz ciśnienie bezwzględne

Uwaga: Manometr wskazuje nadciśnienie w instalacji = ciśnienie hydrostatyczne + ciśnienie dodatkowe



## Przykładowe zadania obliczeniowe

---

### Zadanie 2.

Ile energii cieplnej jest potrzebne do ogrzania 200 litrów wody od temperatury  $10^{\circ}\text{C}$  do  $60^{\circ}\text{C}$  ?

### Zadanie 3.

W podgrzewaczu pojemnościowym znajduje się 300 litrów wody użytkowej. Pompa ciepła pracuje z mocą grzewczą 8 kW. Ile czasu zajmie jej ogrzanie wody w zbiorniku od  $10$  do  $45^{\circ}\text{C}$  ?

### Zadanie 4.

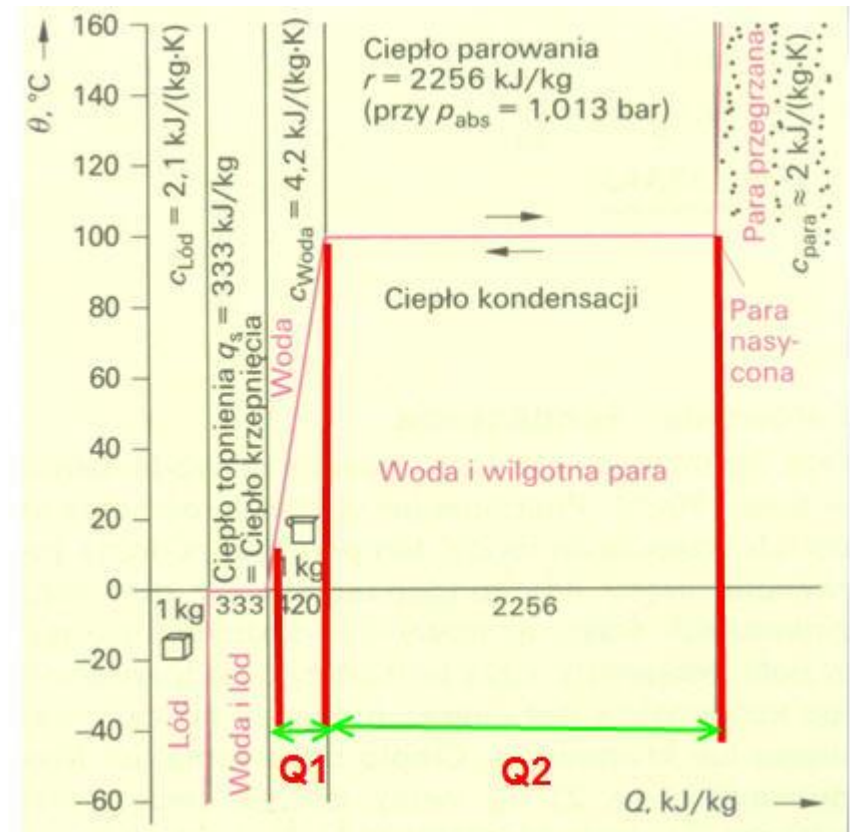
W zbiorniku znajduje się 50 kg lodu o temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$ . Jaka ilość ciepła w kJ jest potrzebna do całkowitego stopnienia tego lodu ?

## Przykładowe zadania obliczeniowe

### Zadanie 5.

Jaka ilość ciepła w kJ jest potrzebna do całkowitego odparowania 200 litrów wody o temperaturze 10°C ?

Ciśnienie normalne: 1013 mbar.



# Dziękuję za uwagę...

Wykład wprowadzający:

## Podstawy energetyki cieplnej, część 2

mgr inż. Krzysztof Gnyra

tel. 602 231 407

e-mail: [krzysztof@viessmann.edu.pl](mailto:krzysztof@viessmann.edu.pl)

