

Podstawy energetyki cieplnej



- **Podstawowe parametry**
- **Energia cieplna**
- **Moc cieplna**
- **Sprawność**
- **Ciepło topnienia i parowania**
- **Wymiana ciepła**
- **Przykładowe zadania obliczeniowe**

Podstawowe parametry

Jednostki podstawowych wielkości :

Wielkość fizyczna	Nazwa jednostki	Symbol jednostki
długość	metr	m
masa	kilogram	kg
czas	sekunda	s
natężenie prądu elektrycznego	amper	A
temperatura bezwzględna	kelwin	K
światłość	kandela	cd
Ilość materii	mol	

1 minuta = 60 sekund

1 godzina = 60 minut

1 doba = 1 dzień = 24 godziny

1 tydzień = 7 dni

1 miesiąc = od 28 do 31 dni

1 rok = 365 lub 366 dni

Podstawowe parametry

Przeliczniki jednostek:

przedrostek	oznaczenie	wartość	nazwa liczby	przykład
eksa	E	$10^{18} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$	trylion	
peta	P	$10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$	biliard	
tera	T	$10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$	bilion	
giga	G	$10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$	miliard	1 Gpc = 1000000000 pc
mega	M	$10^6 = 1\ 000\ 000$	milion	1 MJ = 1000000 J
kilo	k	$10^3 = 1\ 000$	tysiąc	1 kg = 1000 g
hekto	h	$10^2 = 100$	sto	1 ha = 100 a
deko	da	$10^1 = 10$	dziesięć	1 dag = 10 g
jednostka	—	$10^0 = 1$	jeden	
decy	d	$10^{-1} = 0,1$	jedna dziesiąta	1 dm = 0,1 m
centy	c	$10^{-2} = 0,01$	jedna setna	1 cm = 0,01 m
mili	m	$10^{-3} = 0,001$	jedna tysięczna	1 mm = 0,001 m
mikro	μ	$10^{-6} = 0,000001$	jedna milionowa	1 μm = 0,000001 m
nano	n	$10^{-9} = 0,000000001$	jedna miliardowa	1 nm = 0,000000001 m
piko	P	$10^{-12} = 0,000000000001$	jedna bilionowa	
femto	F	$10^{-15} = 0,000000000000001$	jedna biliardowa	
atto	a	$10^{-18} = 0,000000000000000001$	jedna trylionowa	

<http://matematyka.strefa.pl>

Podstawowe parametry

Przykłady przeliczania jednostek:

10 000 W

$$10\ 000\ \text{W} / 1\ 000 = 10\ \text{kW}$$

$$10\ 000\ \text{W} / 1\ 000\ 000 = 0,01\ \text{MW}$$

25 km/h = ... m/s

$$1\ \text{km} = 1\ 000\ \text{m}$$

$$1\ \text{h} = 3\ 600\ \text{s}$$

$$25\ \text{km/h} \times (1\ 000\ \text{m} / 1\ \text{km}) \times 1\ \text{h} / 3\ 600\ \text{s} = 6,94\ \text{m/s}$$

25 m/s = ... km/h

$$25\ \text{m/s} \times (1\ \text{km} / 1\ 000\ \text{m}) \times (3\ 600\ \text{s} / 1\ \text{h}) = 90\ \text{km/h}$$

$$\text{Turbiny wiatrowe: } 4 - 25\ \text{m/s} \times (3\ 600\ \text{s} / 1\ 000\ \text{m}) = 14 - 90\ \text{km/h}$$

Podstawowe parametry

Ciśnienie :

Równoważniki stosowanych jednostek ciśnienia

Jednostka wyjściowa	Paskal Pa = N/m ²	Bar bar	mm H ₂ O mm H ₂ O	Atmosfera techniczna at	Atmosfera fizyczna atm	Tor Tr
1 Pa = 1 N/m ²	1	10 ⁻⁵	0,102	1,02·10 ⁻⁵	9,869·10 ⁻⁶	7,501·10 ⁻³
1 bar = 10 ⁵ Pa	10 ⁵	1	10 197,2	1,0197	0,9869	750,06
1 mm H ₂ O *	9,807	9,807·10 ⁻⁵	1	10 ⁻⁴	9,678·10 ⁻⁵	7,356·10 ⁻²
1 at = 1 kG/cm ²	98 066,6	0,9807	10 ⁴	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 ⁻³	13,595	1,359·10 ⁻³	1,316·10 ⁻³	1
* 1 mm H ₂ O odpowiada 1 kG/m ² , ** 1 atm odpowiada 760 mm Hg, *** 1 Tr odpowiada 1 mm Hg						

Przykłady:

1 bar = 100 000 Pa = 0,1 MPa lub 1 MPa = 10 bar

1 bar = 1 000 mbar

1 hPa = 100 Pa

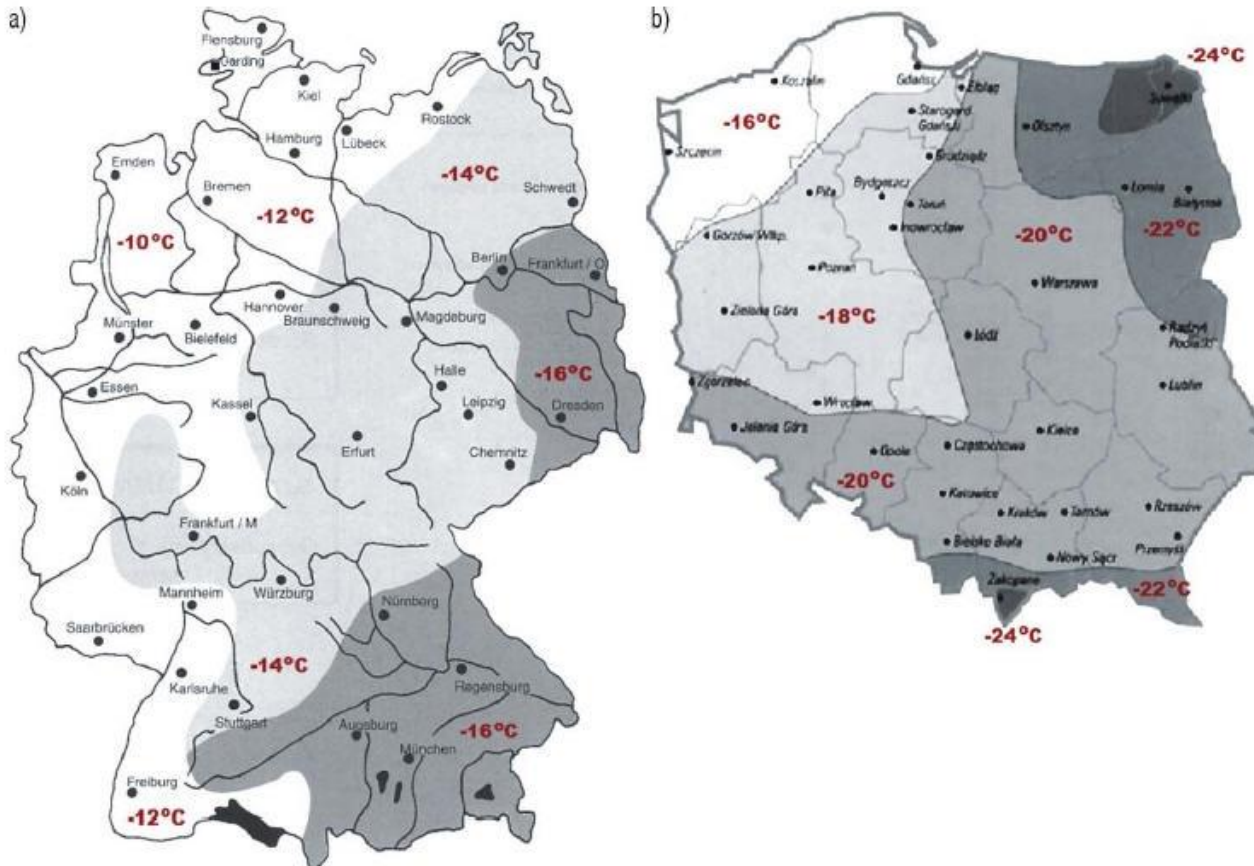
Podstawowe parametry

Temperatura

Temperatura jest miarą stanu cieplnego danego ciała, wyrażana w stopniach **Celsjusza** [$^{\circ}\text{C}$] lub w **Kelvinach** [K]



Temperatura – strefy klimatyczne



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

Podstawowe parametry

Temperatura odczuwalna

Wiatr: 0 km/h



Temp. zewn.
10 st C



Temp.
odczuwalna
10 st C

Wiatr: 30 km/h



Temp. zewn.
10 st C



Temp.
odczuwalna
1 st C

Wiatr: 50 km/h



Temp. zewn.
10 st C



Temp.
odczuwalna
-2 st C

Podstawowe parametry

Temperatura w ciągu roku

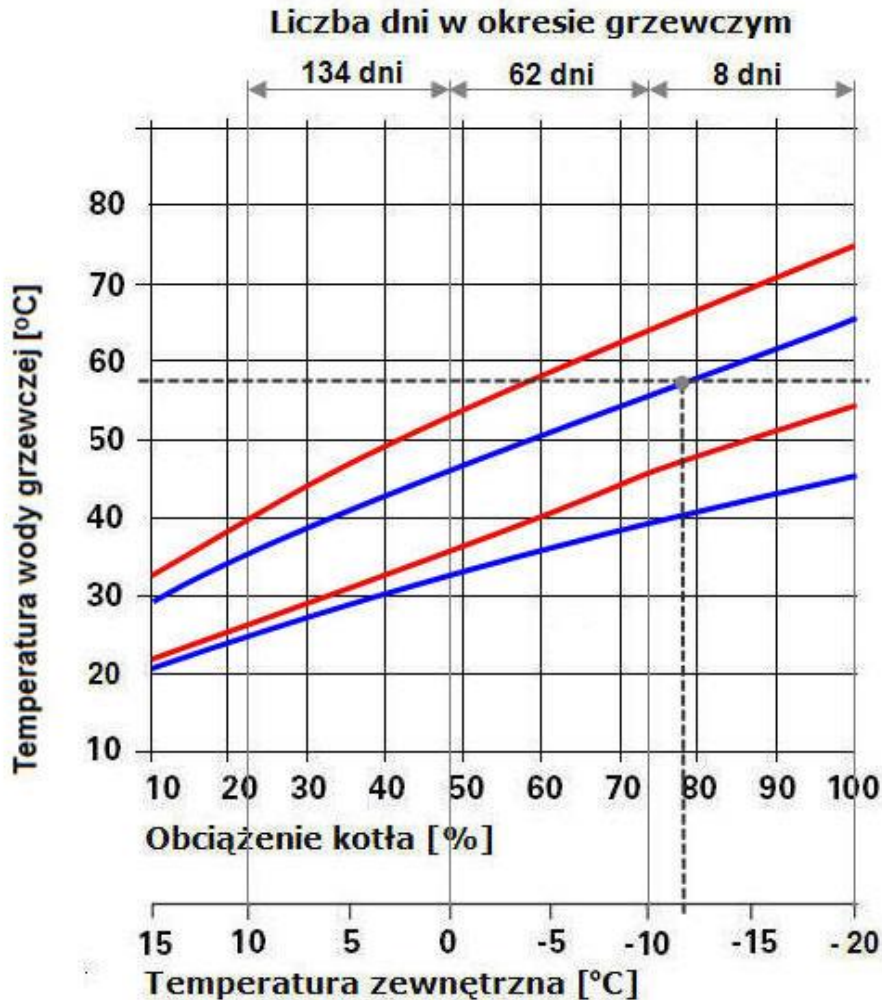
W Warszawie (III strefa klimatyczna), w okresie od 1951 – 2000 roku, średnio w roku występowały:

- 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

Podstawowe parametry

Temperatura w ciągu roku; c.d.

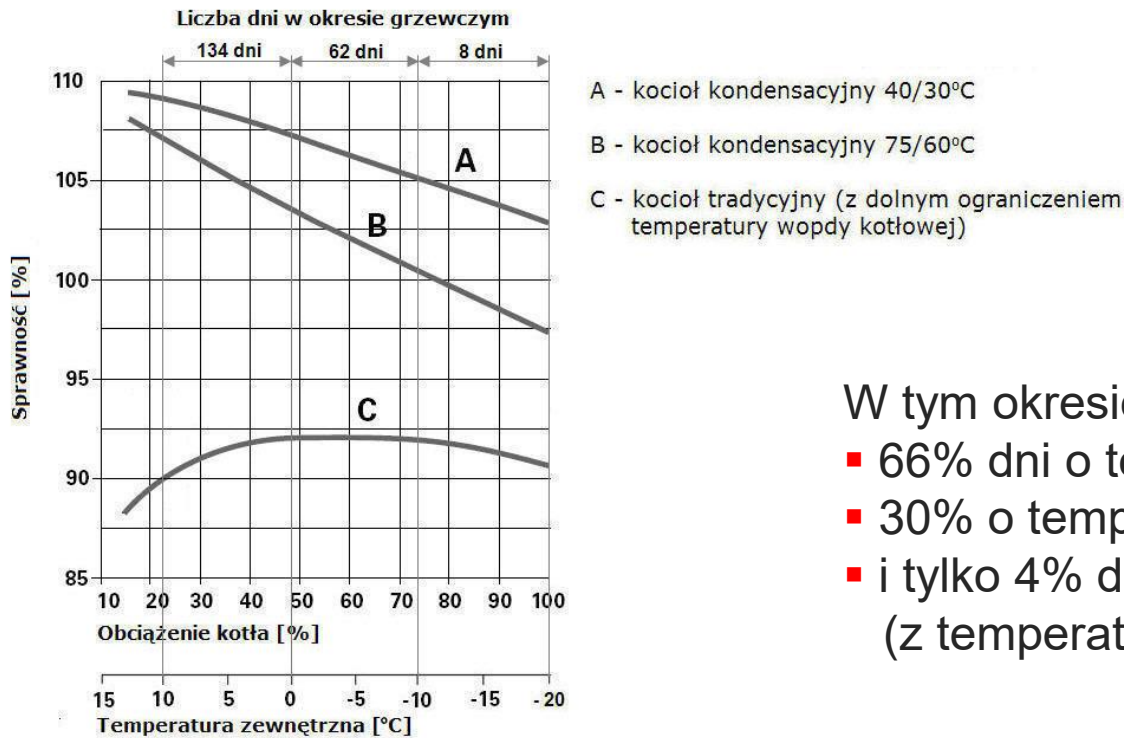


Rys. Wykres temperatury wody na zasilaniu i powrocie instalacji grzewczych zaprojektowanych na 75/65 i 55/45°C, w zależności od temperatury zewnętrznej.

Podstawowe parametry

Temperatura w ciągu roku; c.d.

Uwzględniając tylko dni zimne i bardzo zimne (poniżej 10°C), średni sezon grzewczy w Warszawie trwa **204 dni**.



W tym okresie występuje:

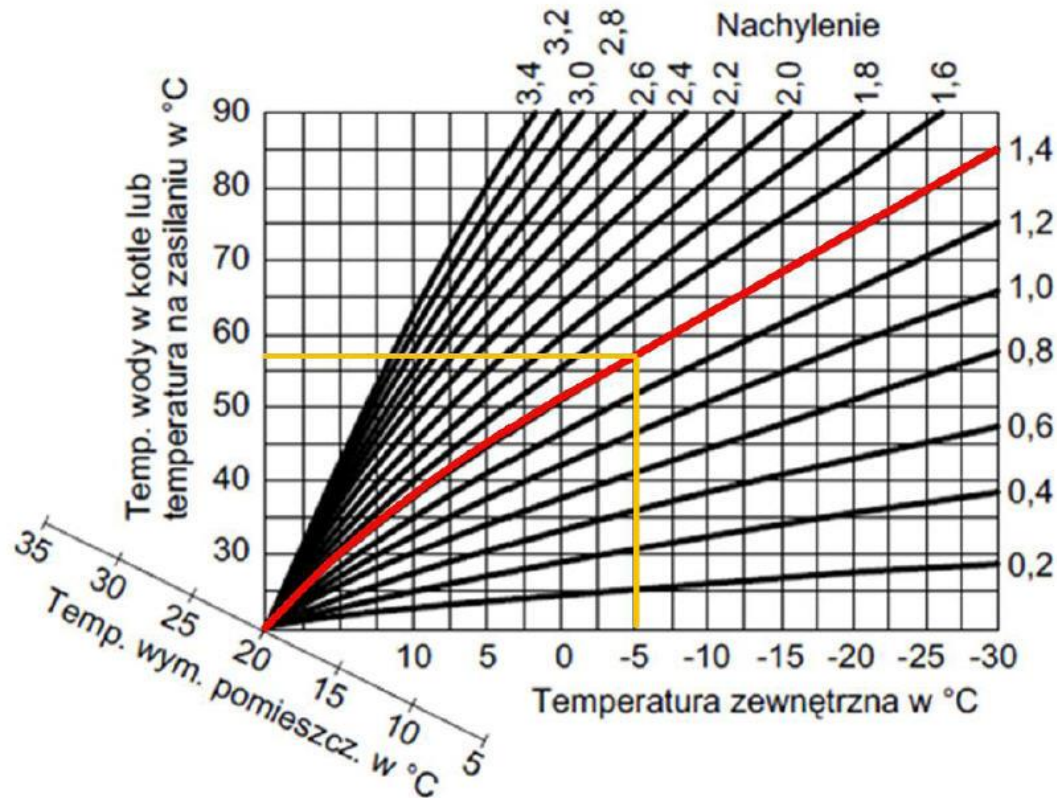
- 66% dni o temperaturach dodatnich
- 30% o temperaturze od -10 do 0°C
- i tylko 4% dni bardzo i skrajnie zimnych (z temperaturami poniżej -10°C)

Rys. Sprawność kotłów gazowych w zależności od obciążenia

Podstawowe parametry

Temperatura w ciągu roku; **c.d.**

Regulacja pogodowa – krzywe grzania



Rys Krzywa grzewcza 1,4

Podstawowe parametry

Temperatura

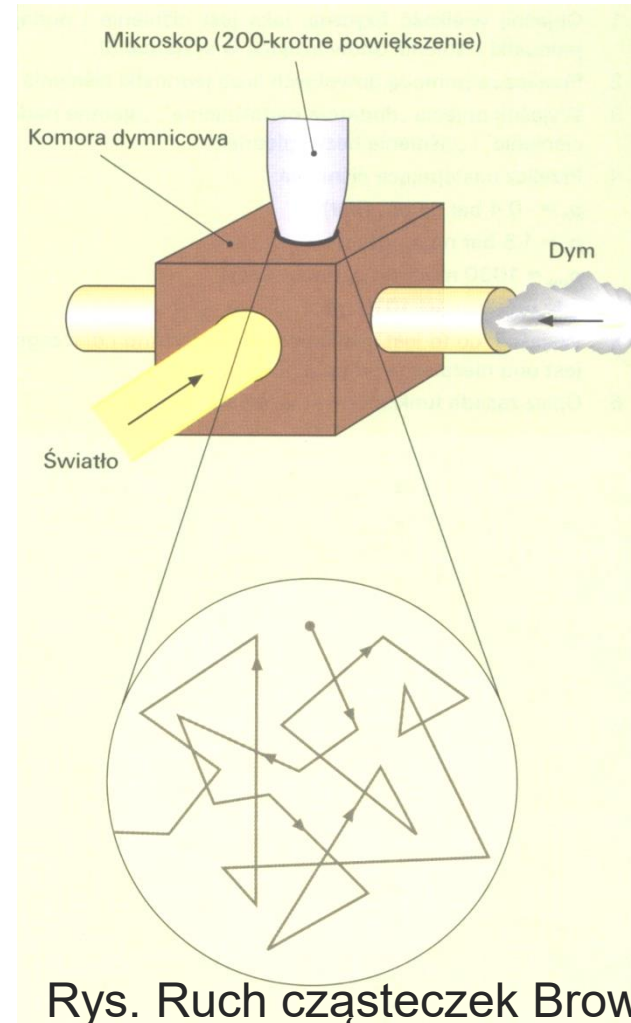
Wysokość temperatury zależy od energii ruchu cząsteczek (cząsteczek Browna), lub atomów poszczególnego ciała stałego lub substancji.

Zero bezwzględne (zero absolutne):

$$0 \text{ K} = -273,15^{\circ}\text{C}$$



Zdj. Przykładowe termometry.



Rys. Ruch cząsteczek Browna w cząstce dymu.

Podstawowe parametry

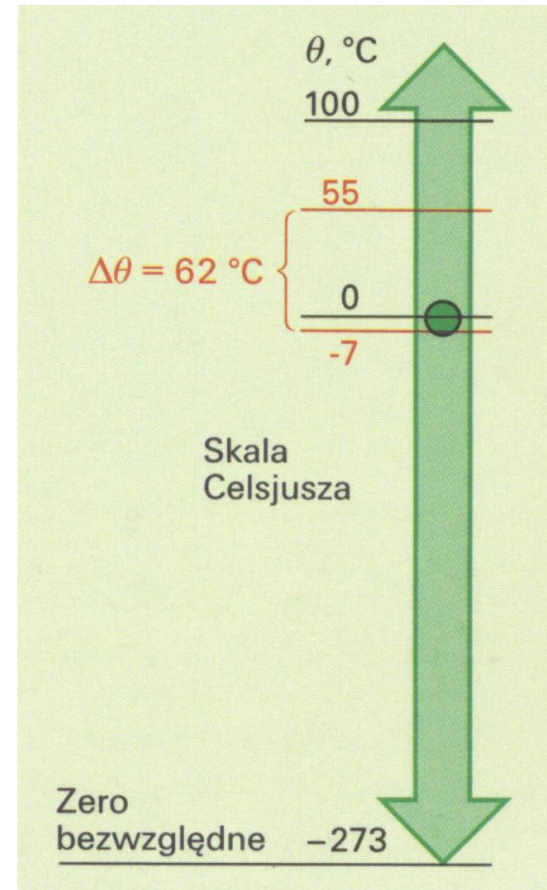
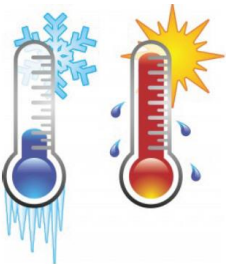
Temperatura – skala Celsjusza

Oznaczenie: t

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

0°C – odpowiada temperaturze krzepnięcia wody lub temperaturze topnienia lodu

100°C – odpowiada temperaturze wrzenia wody lub temperaturze kondensacji pary wodnej przy ciśnieniu 1013 mbar.



Rys. Skala temperatury Celsjusza.

Podstawowe parametry

Temperatura – skala Kelvina

Oznaczenie: **T**

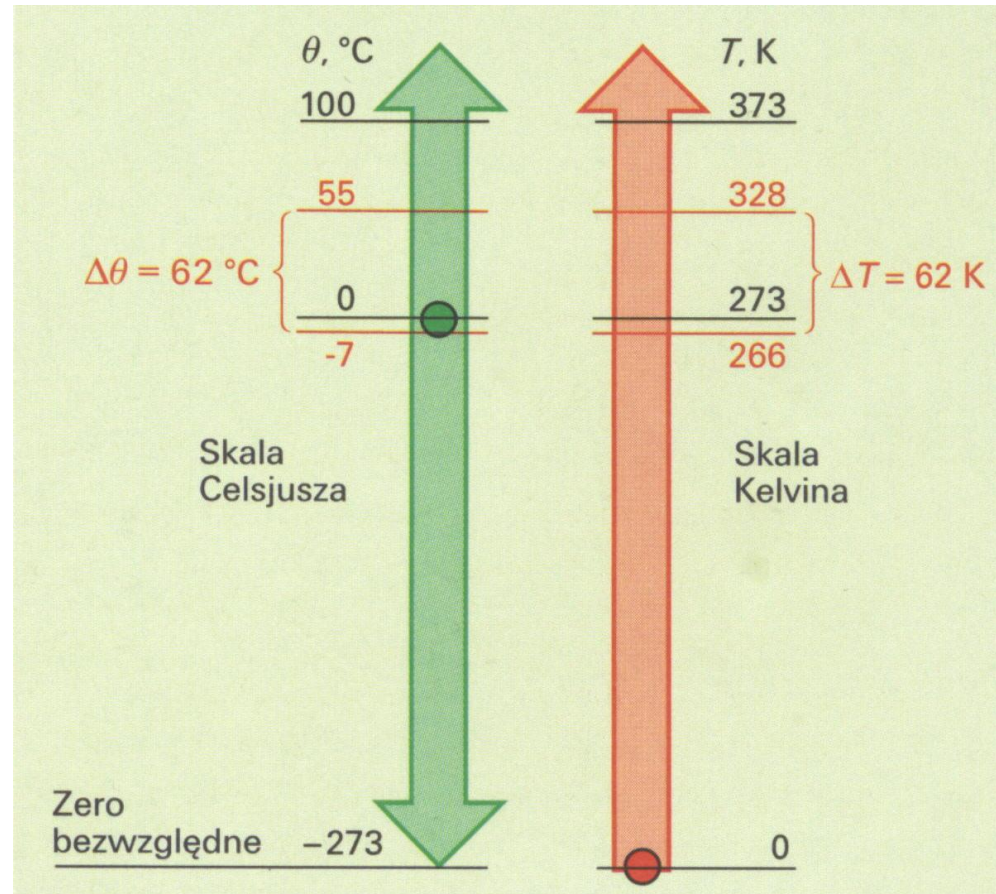
Jednostka: **K**

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

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

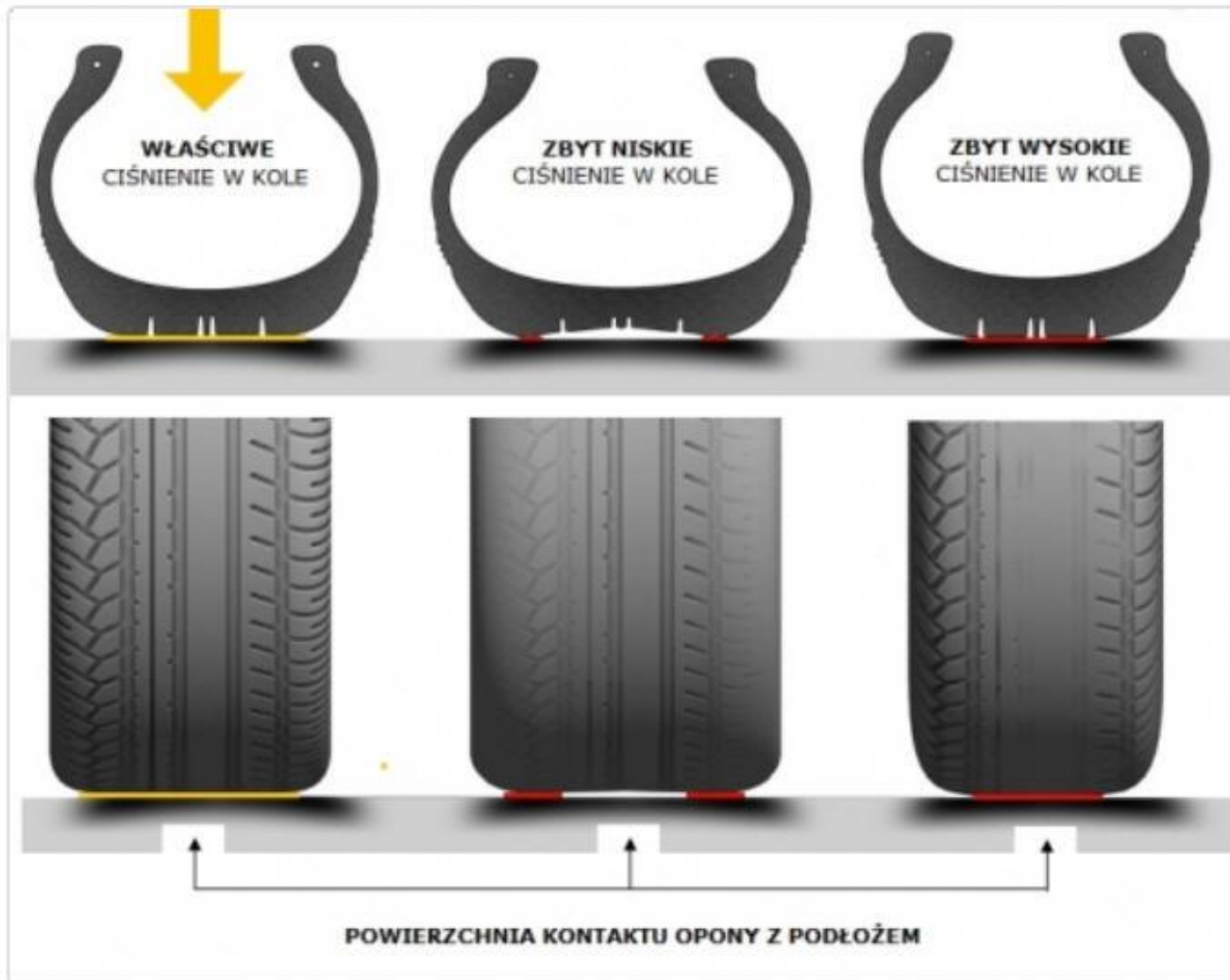
$$dT = dt = t_2 - t_1$$

Różnica temperatury: **1 K = 1°C**



Rys. Skale temperatury.

Ciśnienie



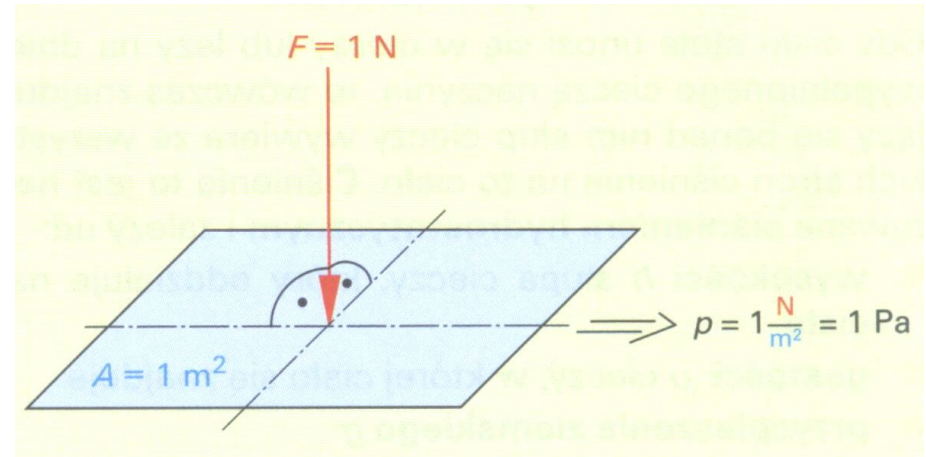
Podstawowe parametry

Ciśnienie; c.d.

Oznaczenie: **p**

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

$$p = F / A \quad [\text{N/m}^2 = \text{Pa}]$$



Rys. Ciśnienie.

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

$1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa} = 0,1 \text{ MPa}$ lub $1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar}$

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

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

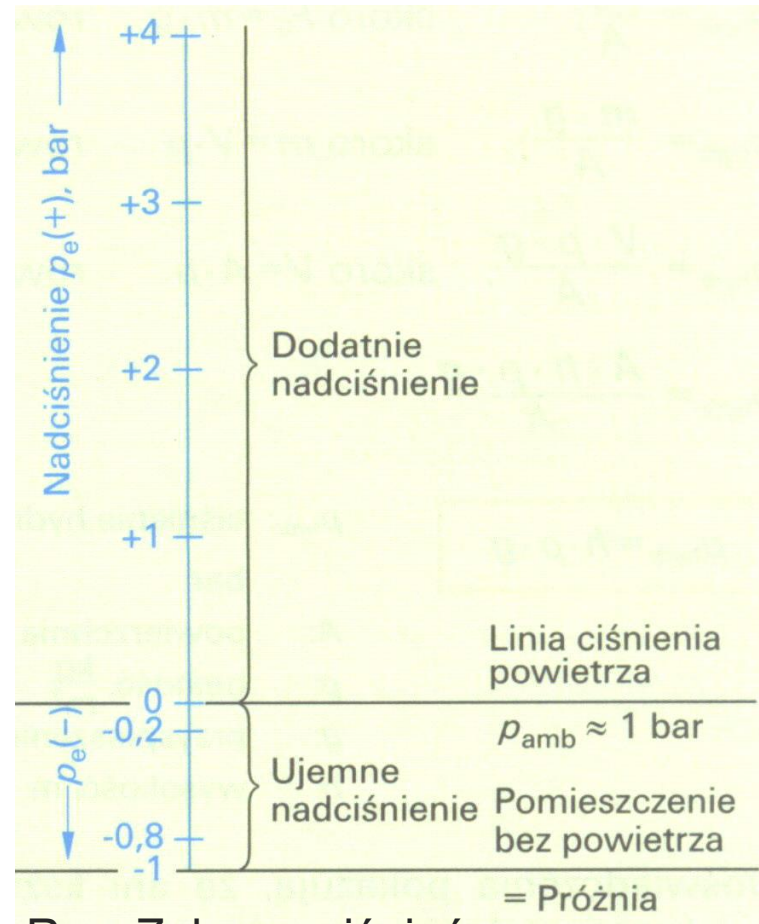
Podstawowe parametry

Ciśnienie; c.d.

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 p_e .



Rys. Zakresy ciśnień.

Podstawowe parametry

Ciśnienie; c.d.

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

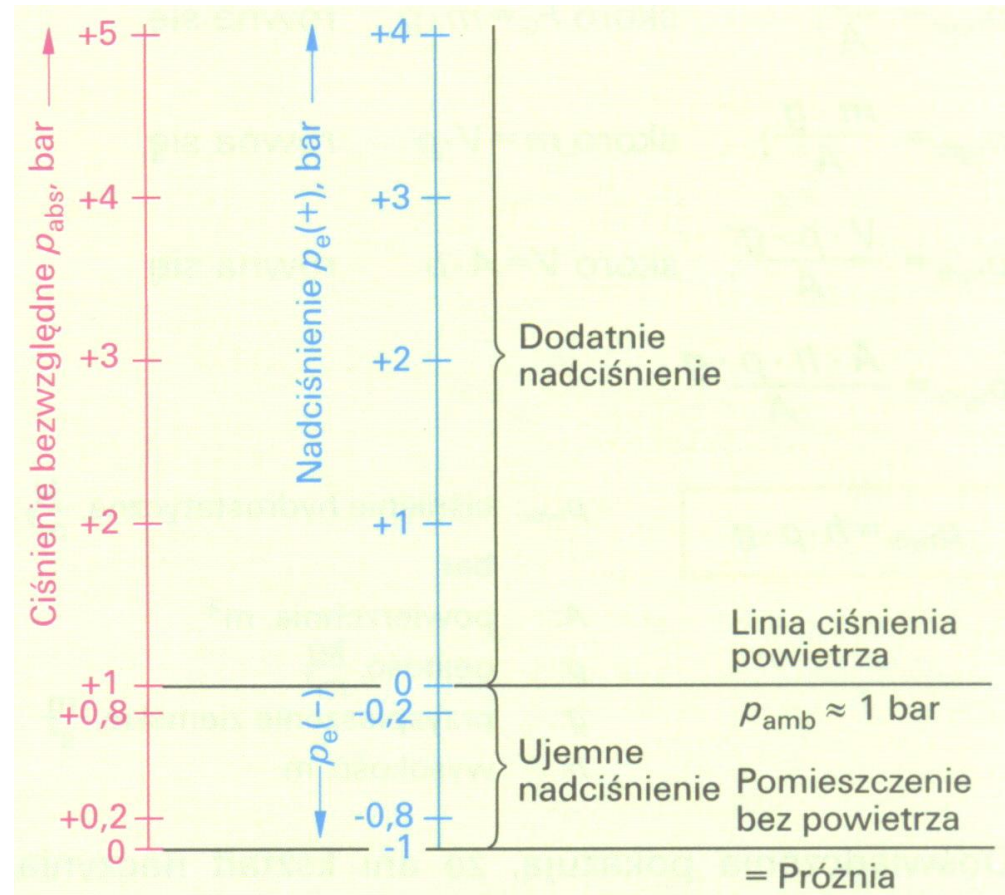
$$p_{abs} = p_{amb} + p_e \quad [\text{Pa}, \text{bar}]$$

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

p_{abs} - ciśnienie bezwzględne

p_{amb} – ciśnienie otoczenia

p_e – nadciśnienie



Rys. Zakresy ciśnień.

Podstawowe parametry

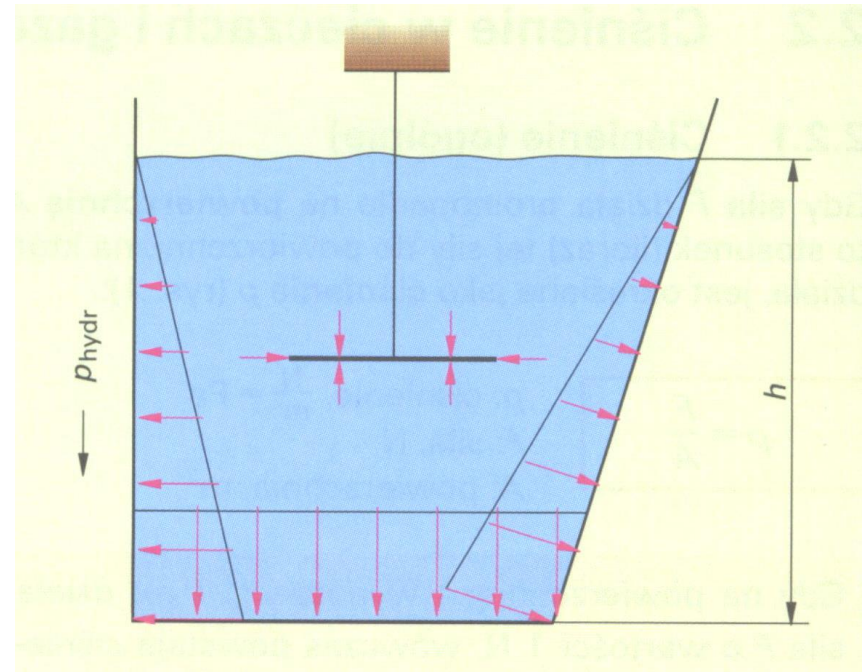
Ciśnienie w cieczech

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 ρ [kg/m³], w której ciało się znajduje
- przyspieszenia ziemskiego g [m/s²]

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



Rys. Ciśnienie hydrostatyczne.

Podstawowe parametry

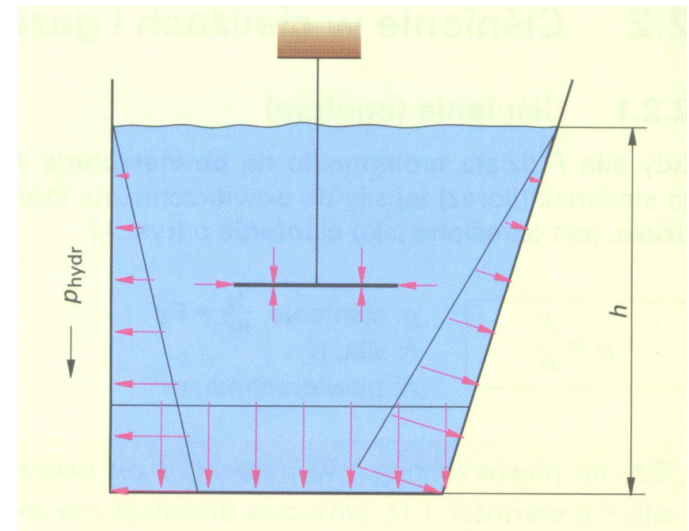
Ciśnienie w cieczech

Ciśnienie hydrostatyczne; c.d.

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

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

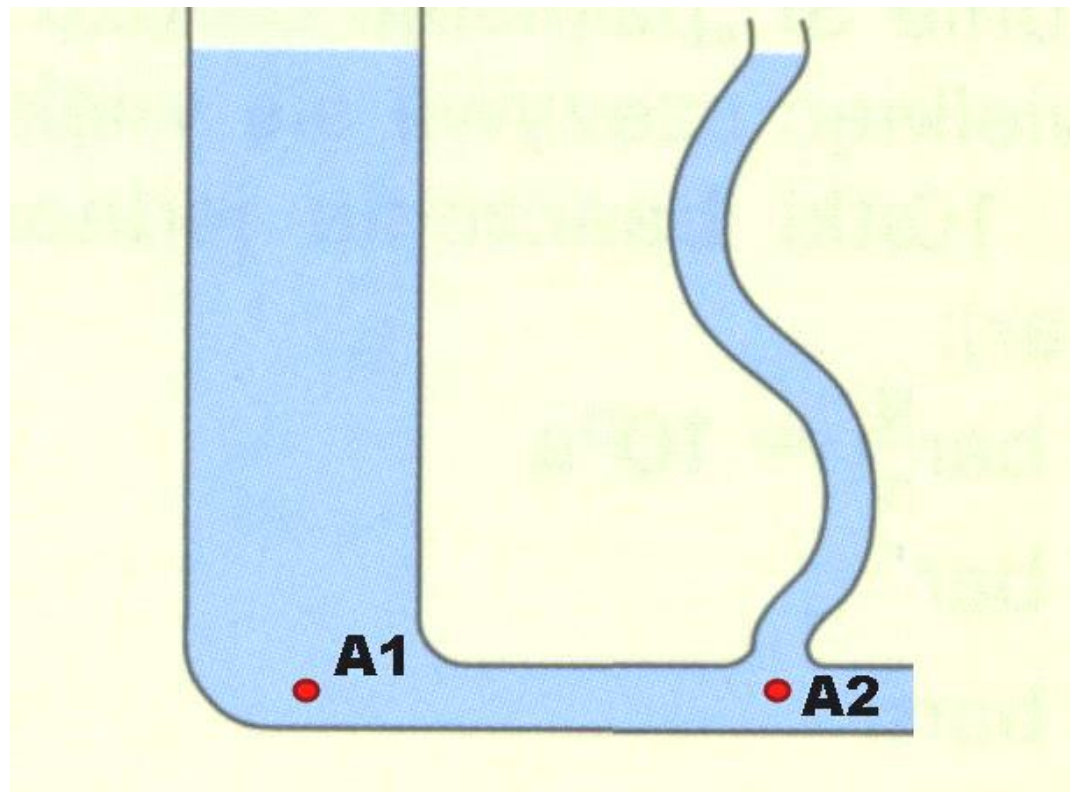
$$1 \text{ N} = \frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{s}^2}$$



Podstawowe parametry

Ciśnienie w cieczech

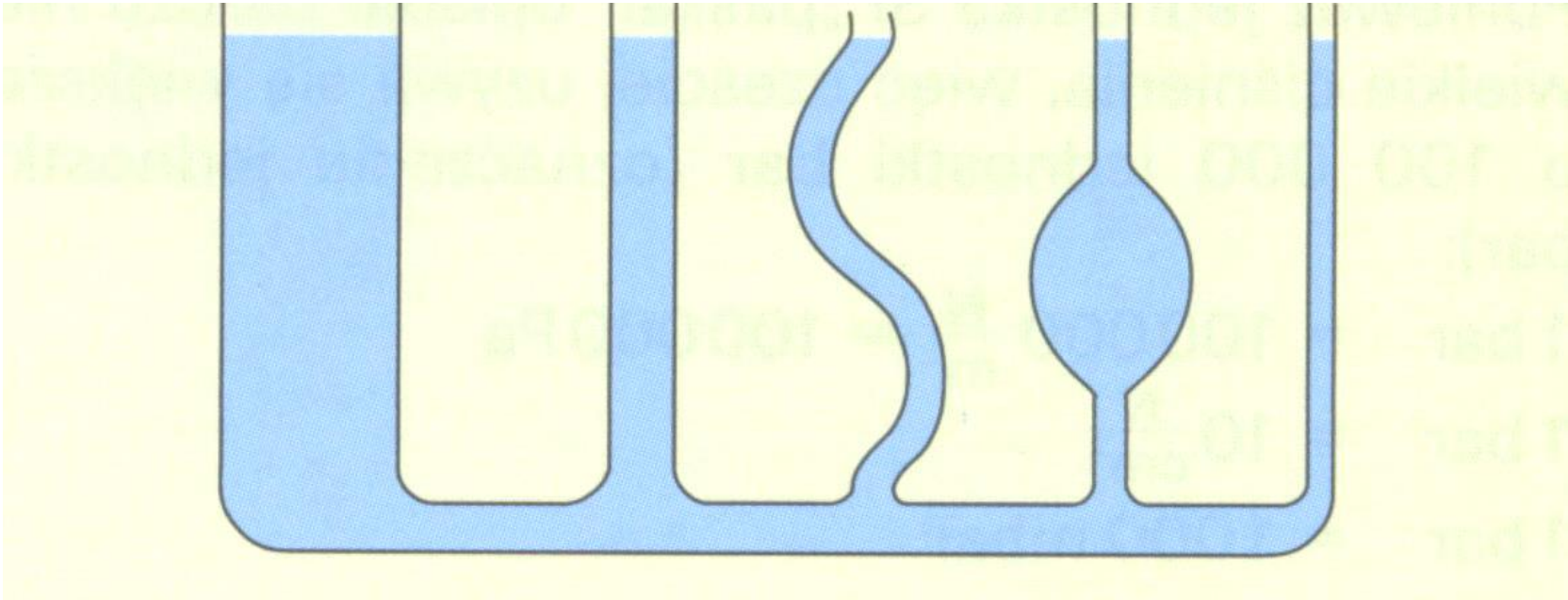
Gdzie panuje większe ciśnienie, w punkcie A1 czy A2 ?



Podstawowe parametry

Ciśnienie w cieczech

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

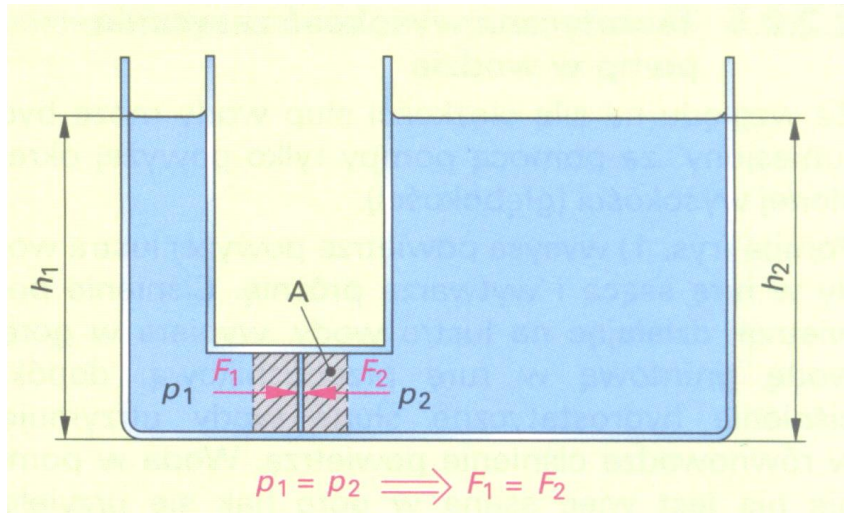


Rys. Paradoks hydrostatyczny - jednakowe ciśnienie w nieruchomych cieczech, niezależnie od przekroju poprzecznego i kształtu rury.

Podstawowe parametry

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



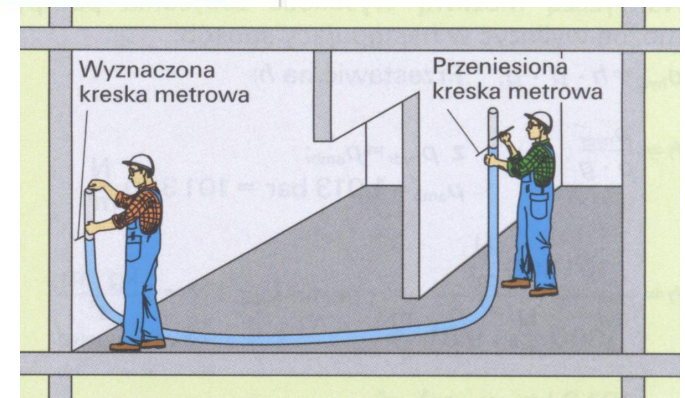
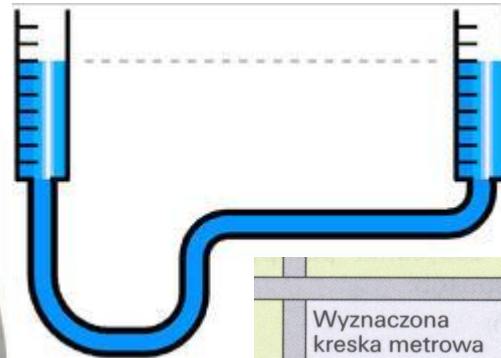
Rys. Poziomnica węzowa

Podstawowe parametry

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.



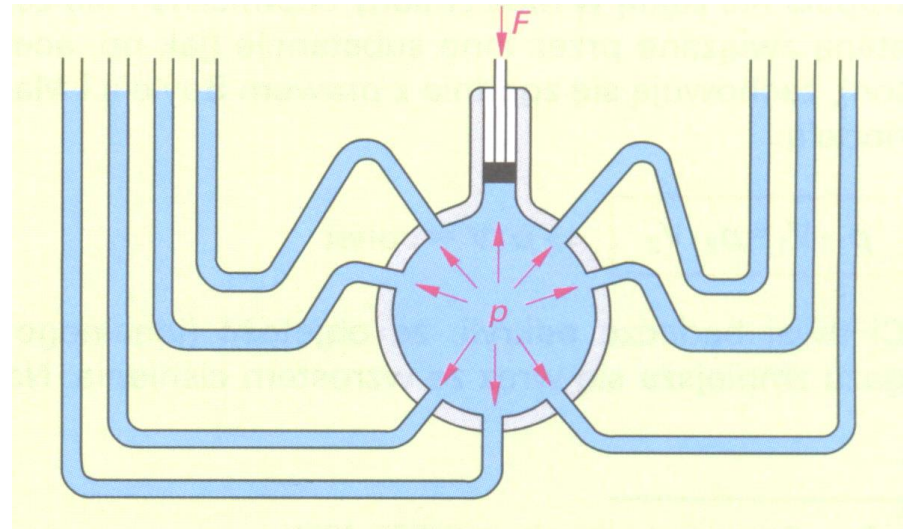
Podstawowe parametry

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 cieczy na skutek działania ciśnienia. Z tego względu konieczne jest stosowanie w instalacjach centralnego ogrzewania i wody użytkowej przeponowych naczyń wzbiorniczych.



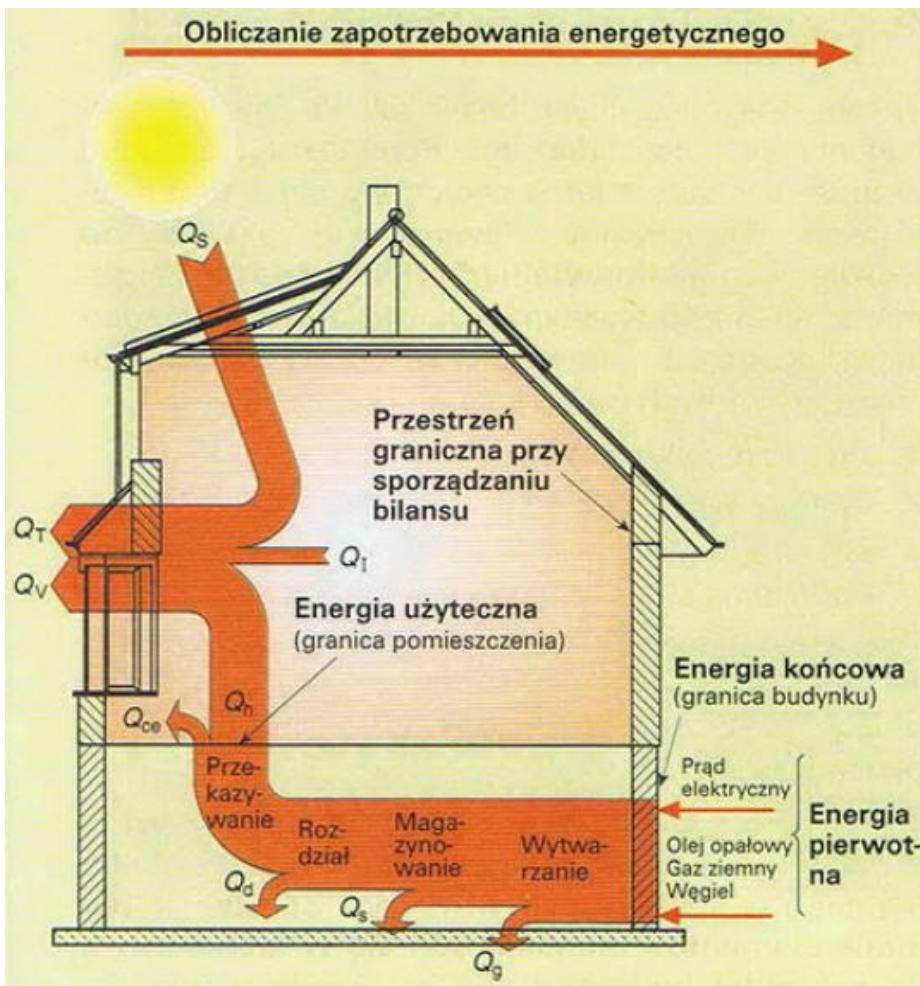
Rys. Rozprzestrzenianie się ciśnienia w cieczech (i gazach).

Podstawowe parametry

Ciśnienie:

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. powietrza.**



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 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 użyteczna - ilość energii jaką potrzebuje budynek.

Rys. Bilans energetyczny - zapotrzebowanie energetyczne budynku.

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/m²rok
- domy energooszczędne: 30 – 70 kWh/m²rok
- domy pasywne: 10 – 15 kWh/m²rok

- starszy dom – ocieplony: 140 – 160 kWh/m²rok
- starszy dom – bez ocieplenia: 170 – 200 kWh/m²rok

Moc grzewcza na c.o. :

- domy budowane obecnie: 40 – 60 W/m²
- domy energooszczędne: 25 – 40 W/m²
- domy pasywne: ok. 15 W/m²

- starszy dom – ocieplony: 60 – 80 W/m²
- starszy dom – bez ocieplenia: 120 – 160 W/m²

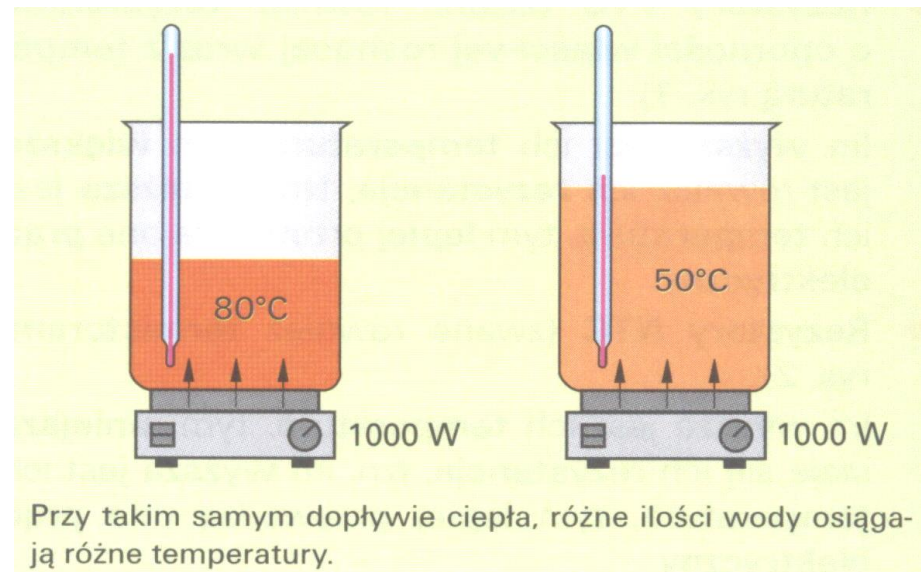
Energia cieplna

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

Aby podwyższyć temperaturę 1 kg substancji o 1 K, jest wymagana określona ilość ciepła Q . Zależy ona od rodzaju substancji i określa się ją jako **ciepło właściwe** „ c ” tej substancji.

Pojemność cieplna substancji nie jest stała, lecz zmienia się w zależności od ciśnienia i temperatury.

$$1 \text{ Wh} = 3\,600 \text{ J}$$

$$4190 \text{ J/kgK} \times (1 \text{ Wh} / 3\,600 \text{ J}) = 1,1638 \text{ Wh/kgK}$$

Substancja	Ciepło właściwe	
	$\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	$\frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
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.

$$Q = m \times c \times dT \quad [\text{J}]$$

Q – ilość ciepła (energia cieplna) [J=>Ws; Wh]

m – masa [kg]

c – ciepło właściwe [J/(kgK) => Ws/kgK]

dT – różnica temperatury [K]

Energia cieplna

Przykład: W ciągu 1 h dostarczamy do układu stałą ilość ciepła $Q=50$ MJ, w którym chcemy podgrzać substancję z 10°C do 60°C . Czynnikiem transportującym ciepło jest woda lub powietrze. Ile wody i powietrza potrzebujemy żeby podgrzać substancję ?

$$dT = 60 - 10 = 50 [^{\circ}\text{C}] \quad (333 - 283 = 50 \text{ K})$$

$$Q = m \times c \times dT \Rightarrow m = Q / (c \times dT) \quad [\text{J}/(\text{J}/(\text{kgK}) \times \text{K}) = \text{kg}]$$

$$\text{Woda} \rightarrow m = 50\,000 / (4,19 \times 50) = 238,7 \text{ kg}$$

$$\text{Powietrze} \rightarrow m = 50\,000 / (1,22 \times 50) = 819,7 \text{ kg}$$

Potrzeba ponad 3 (3,43) razy więcej powietrza niż wody....

Gęstość powietrza wynosi ok. $1 \text{ kg}/\text{m}^3$ (przy temp. 80°C);
 $1,188 \text{ kg}/\text{m}^3$ przy temp. 20°C .

Moc cieplna

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

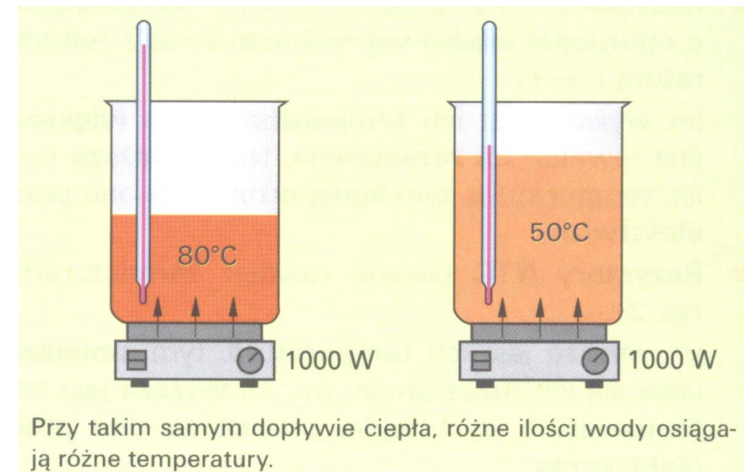
$$\Phi = Q / t \quad [\text{W}]$$

Φ – wydajność cieplna (strumień cieplny) [$\text{W} = \text{J/s}$]

Q – ilość ciepła [$\text{J} \Rightarrow \text{Ws}$]

t – czas [s]

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



Moc cieplna

Jeśli wodę przepływającą przez urządzenie grzewcze trzeba w określonym czasie podgrzać do żądanej temperatury, to wydajność cieplną tego urządzenia (moc grzewczą), można obliczyć w następujący sposób:

$$\Phi = Q / t = m \times c \times dT / t$$

$$\Phi = (m / t) \times c \times dT \quad m / t = \dot{m} - \text{natężenie przepływu masowego, (strumień masy) [kg/s]}$$

$$\Phi = \dot{m} \times c \times dT$$

Φ – moc cieplna [W = J/s]

\dot{m} – natężenie przepływu masowego (strumień masy) [kg/s, kg/h]

c – ciepło właściwe [J/(kgK), Ws/kgK, Wh/kgK]

dT – różnica temperatury [K]

t – czas [s]

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.

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

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

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

$$\Phi = \dot{m} \times c \times dT$$

$$\dot{m} = \Phi / (c \times dT)$$

$$\dot{m} = 10\,000 / (1,163 \times 15) = 573,2$$

$$\dot{m} = 573,2 \text{ [kg/h]}$$

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

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.

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

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

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

$$\Phi = \dot{m} \times c \times dT$$

$$\Phi = \dot{m} \times c \times dT = 0,28 \text{ [kg/s]} \times 1,163 \text{ [Wh/kgK]} \times 5 \text{ K}$$
$$0,28 \text{ [kg/s]} \times 3600 \text{ [s/1h]} = 1008 \text{ [kg/h]}$$

$$\Phi = \dot{m} \times c \times dT = 1008 \text{ [kg/h]} \times 1,163 \text{ [Wh/kgK]} \times 5 \text{ K}$$

$$\Phi = 5861,5 \text{ [W]} = 5,86 \text{ [kW]}$$

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

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 ?

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

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

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

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

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

$$\Phi = Q / t \quad [\text{W}]$$

$$\Phi = (m \times c \times dT) / t$$

$$t = (m \times c \times dT) / \Phi$$

$$t_{100/45} = (\underline{100} \times 1,163 \times (\underline{45} - 10)) / 18\,000 = 0,226 \text{ h} \times 60 \text{ min/h} = \underline{14 \text{ min}}$$

$$[(\text{kg} \times \text{Wh}/(\text{kg} \times \text{K}) \times \text{K}) / \text{W} = \text{h} \times 60 \text{ min/1h} = \text{min}]$$

$$t_{100/60} = (\underline{100} \times 1,163 \times (\underline{60} - 10)) / 18\,000 = 0,323 \text{ h} \times 60 = \underline{19 \text{ min}}$$

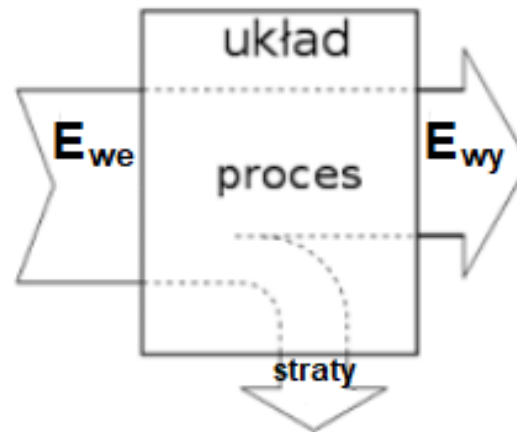
$$t_{120/45} = (\underline{120} \times 1,163 \times (\underline{45} - 10)) / 18\,000 = 0,271 \text{ h} \times 60 = \underline{16 \text{ min}}$$

$$t_{120/60} = (\underline{120} \times 1,163 \times (\underline{60} - 10)) / 18\,000 = 0,388 \text{ h} \times 60 = \underline{23 \text{ min}}$$

Definicja:

Sprawność – skalarna bezwymiarowa wielkość fizyczna, określająca w jakim stopniu w procesie przekształcana jest energia jednego rodzaju w energię w innego rodzaju.

Sprawność to stosunek ilości energii wychodzącej z procesu (E_{wy}), do ilości energii wchodzącej do procesu (E_{we}).



Prościej:

Sprawność,

jest to stosunek tego co otrzymujemy, do tego co wkładamy,
oznaczamy: η (eta)

Sprawność zawsze < 100%

Kocioł gazowy, olejowy czy na paliwo stałe:

$\eta = \text{ciepło grzewcze} / \text{energia chemiczna paliwa}$

Energia chemiczna paliwa = $p \times w_d$

gdzie:

p – ilość paliwa [m³, kg, litr]

w_d – wartość opałowa paliwa [kWh/kg, kWh/m³]

Pompa ciepła:

$$\eta = \text{ciepło grzewcze} / (\text{energia z OZE} + \text{energia elektryczna})$$

Moduł fotowoltaiczny (PV):

$$\eta = \text{energia elektryczna} / \text{energia promieniowania słonecznego}$$

Kolektor słoneczny:

$$\eta = \text{ciepło grzewcze} / \text{energia promieniowania słonecznego}$$

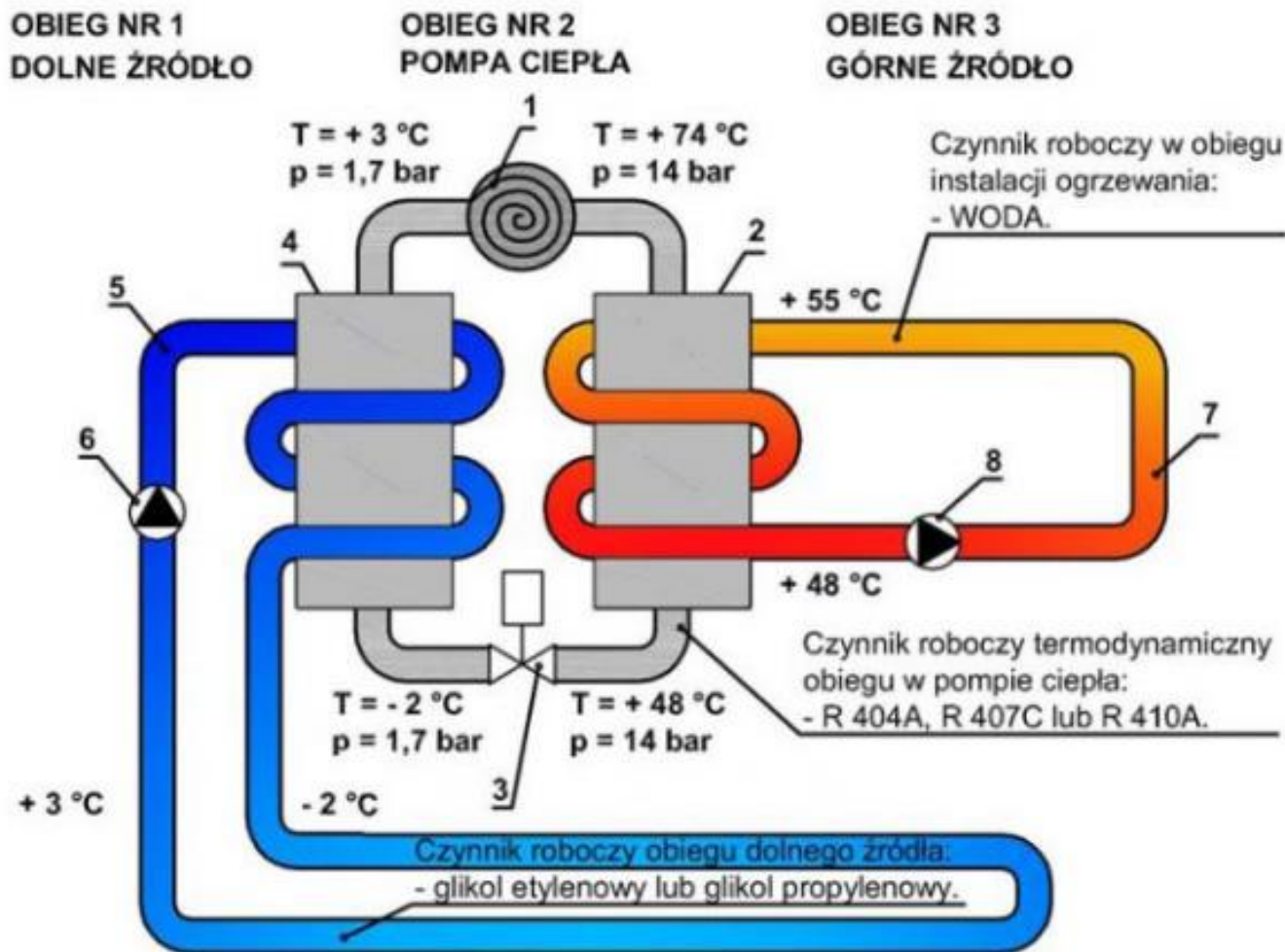
Ciepło topnienia i parowania

Stan skupienia materii zależy od sił wiązania między poszczególnymi cząsteczkami oraz od ich energii ruchowej. Wyróżniamy trzy stany skupienia: **stały**, **ciekły** i **gazowy**.



Rys. Stany skupienia

Zasada działania pompy ciepła:

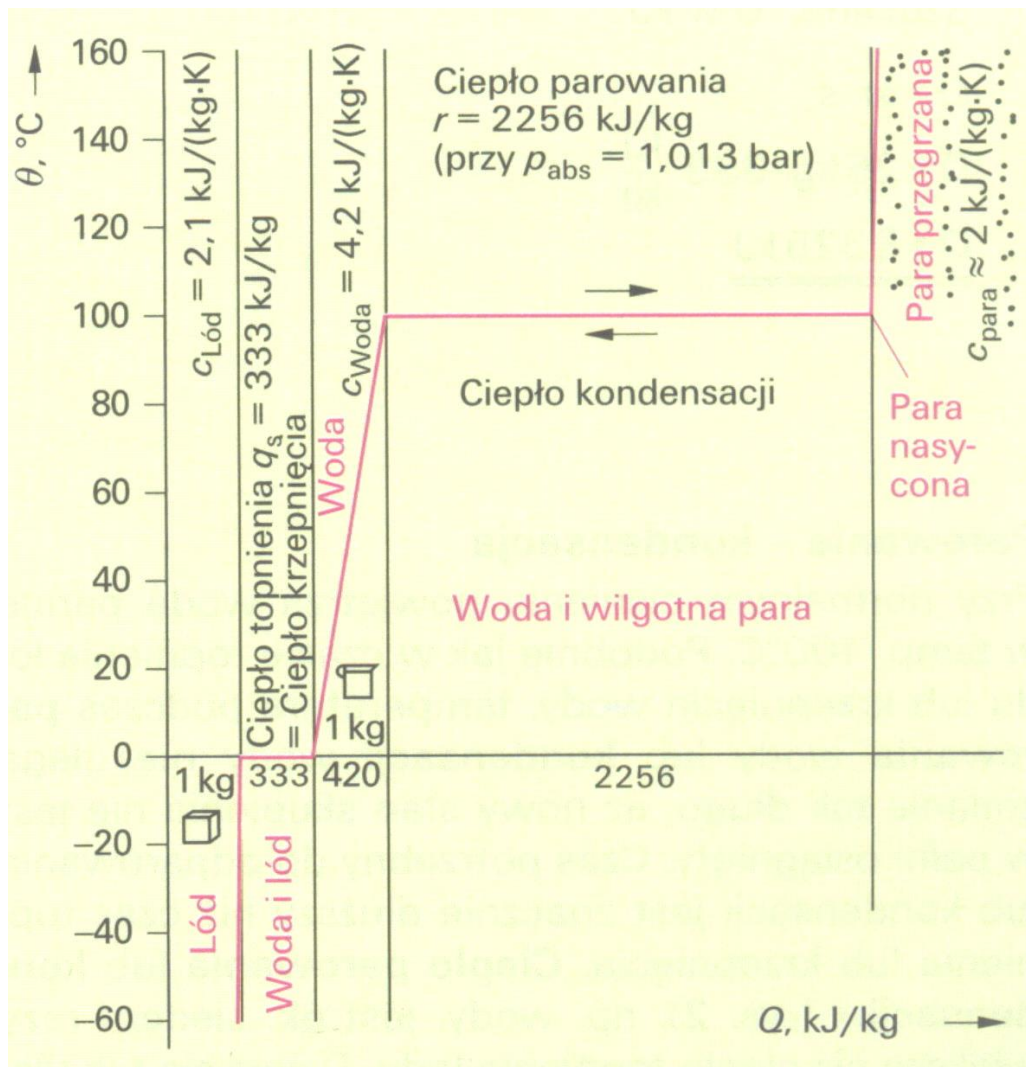


Zmiana stanu skupienia następuje przy zawsze niezmienniej temperaturze.

Doprowadzając energię:
ciało stałe → ciecz → para

Uwolnienie ciepła:
gaz → ciecz → stan stały

(kondensacja: gaz → ciecz)



Rys. Zmiany stanu skupienia wody

Zmiana stanu skupienia następuje przy zawsze niezmienniej temperaturze – przykład wykorzystania w praktyce: **zasobnik lodu**.

Zasobnik lodu - wykorzystuje zmianę faz do gromadzenia ciepła (magazynowania ciepła), po stronie pierwotnej pompy ciepła.

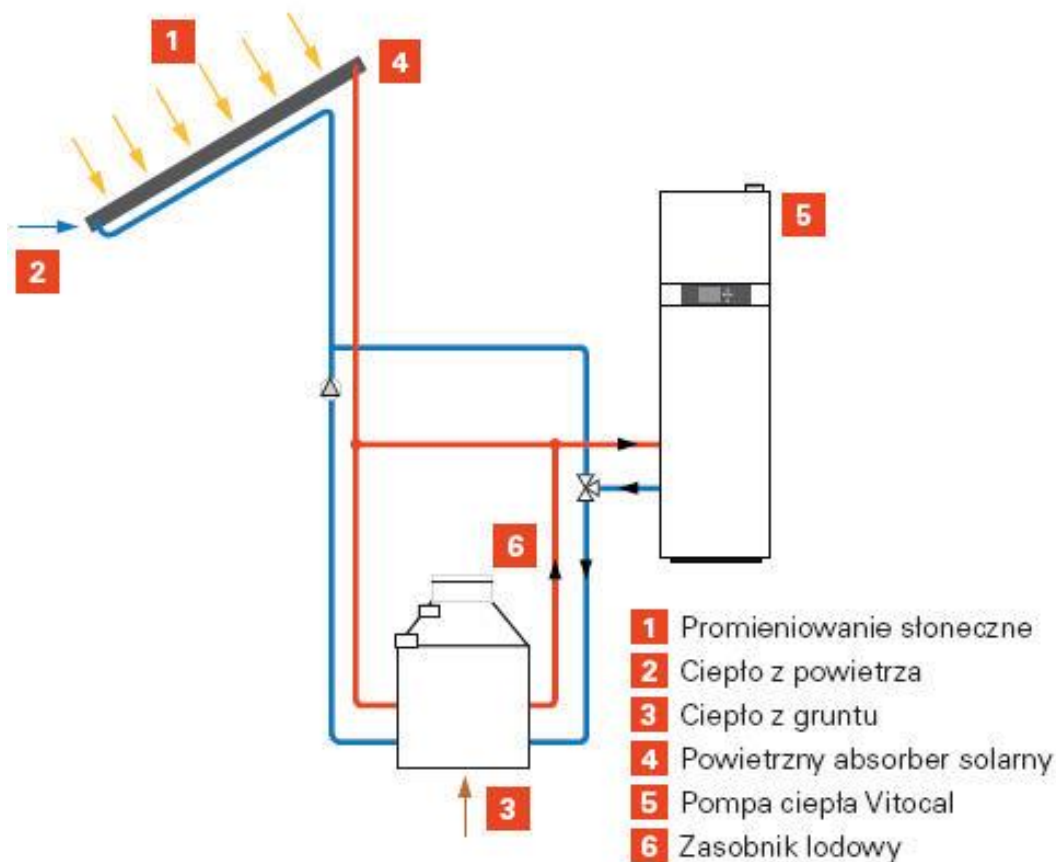


pojemność
zasobnika: 10 m³
(10.000 l),

średnica 2,5 m,
wysokość 3,56 m

Zdj. Zasobnik ciepła - wykorzystanie przemiany fazowej wody w lód jako źródło ciepła

Zasobnik lodu; c.d.



Rys. Schemat ideowy pompy ciepła z zasobnikiem lodu.

Regeneracja:

- powietrze atmosferyczne
- promieniowanie słoneczne
- ciepło gruntu

Zasobnik lodu; c.d.



Zdj. Zasobnik ciepła - wykorzystanie przemiany fazowej wody w lód jako źródło ciepła

Ciepło topnienia i parowania

Zasobnik lodu; c.d.

Wykorzystanie przemiany fazowej:

- przy schłodzeniu 1 kg wody, o 1 K - pozyskujemy **1,163 Wh** energii cieplnej; schłodzenie 10 m³ wody o 1 K – pozyskamy: **11,63 kWh**

$$Q = m \times c \times dT = 1 \text{ kg} \times 4190 \text{ J}/(\text{kgK}) \times 1 \text{ K}$$

$$Q = 4190 \text{ J} = 4190 \text{ Ws} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s}$$

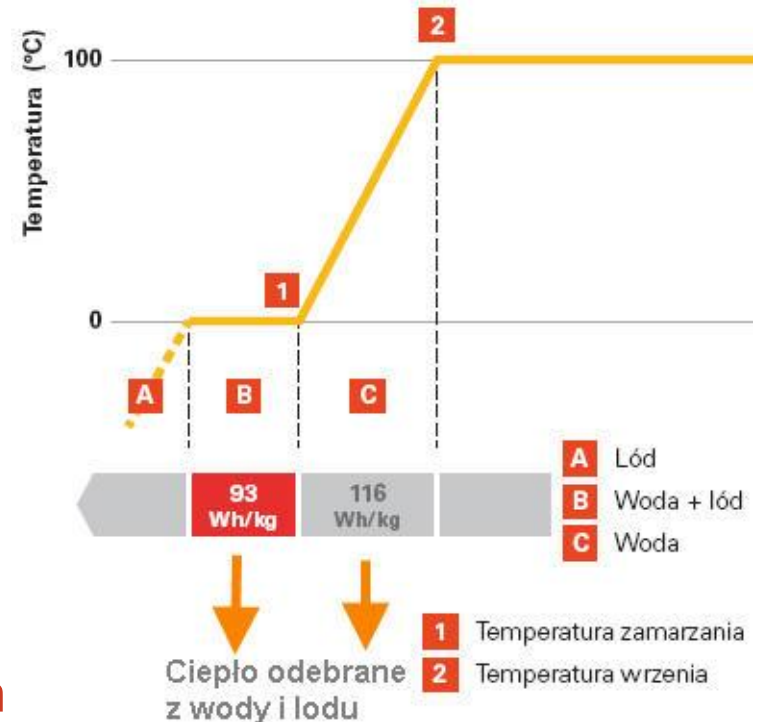
$$Q = 1,1639 \text{ Wh}$$

$$Q = 10.000 \text{ kg} \times 4,19 \text{ kJ}/(\text{kgK}) \times 1 \text{ K}$$

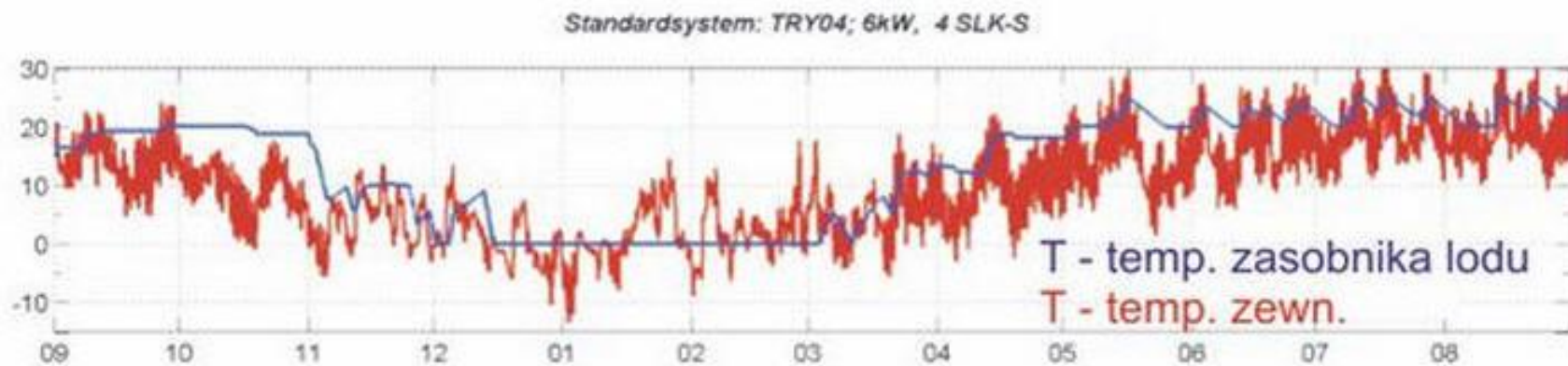
$$Q = 41.900 \text{ kJ} = 41.900 \text{ kW} \times 1\text{h}/3600\text{s}$$

$$Q = 11,639 \text{ kWh}$$

- przy całkowitym zamrożeniu 1 kg wody pozyskujemy **93 Wh** (przy stałej temperaturze = 0°C);
 10 m³ wody = ok. 10.000 kg => **930 kWh**



Zasobnik lodu; c.d.



Rys. Rozkład temperatur zasobnik lodu w pracującej instalacji

Ciepło topnienia i parowania

Topnienie – krzepnięcie

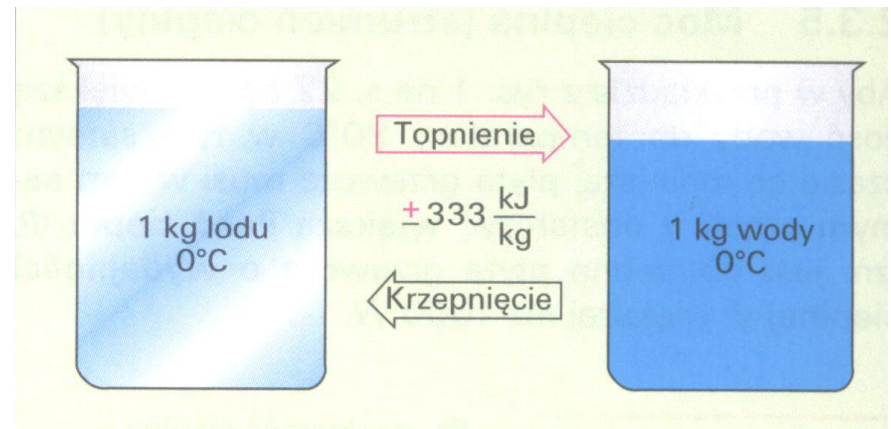
Ciepło topnienia lub **krzepnięcia** „s”, jest to ilość ciepła jaka jest potrzebna, lub jaka jest uwalniana, gdy 1 kg substancji zmienia stan skupienia ze stałego na ciekły (topnienie) lub z ciekłego na stały (krzepnięcie).

$$Q = m \times s$$

Q – ilość ciepła [kJ lub Wh]

m – masa [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).

$$Q = m \times r$$

Q – ilość ciepła [kJ lub Wh]

m – masa [kg]

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

Substancja	Temperatura topnienia θ °C	Ciepło topnienia <i>s</i> kJ/kg	Temperatura wrzenia θ °C	Ciepło parowania <i>r</i> kJ/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 θ °C	Uwagi
393	75,4	Mount Everest
588	85,5	Mont Blanc
784	93,0	Zugspitze
1013	100	wysokość nad poziomem morza

Parowanie – kondensacja

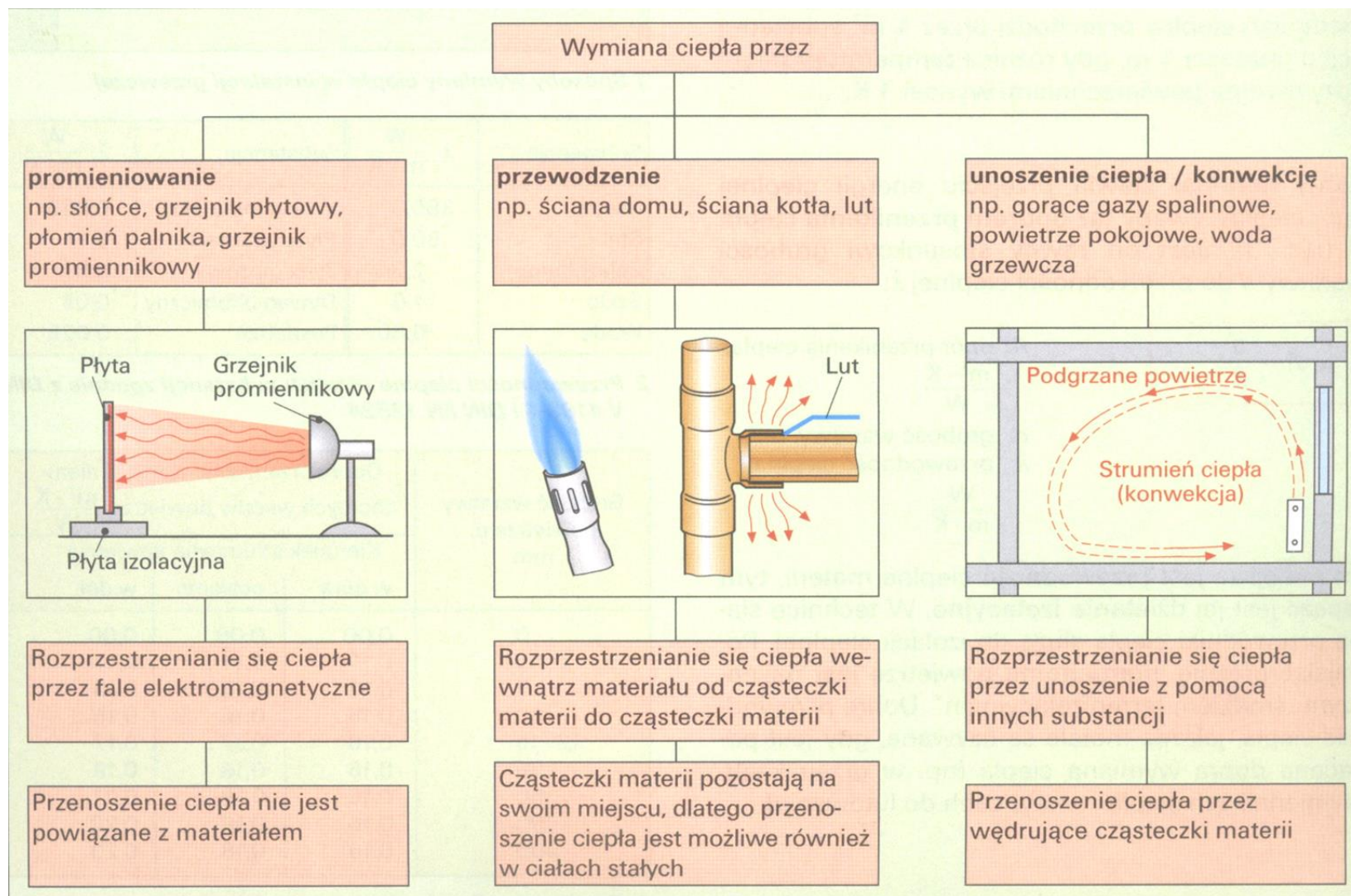
Pytanie: Czy na Mount Everest można ugotować jajko ?

Ścinanie białka w jaku (denaturacja), zachodzi w temperaturze ok. 63°C , a żółtko jaka kurzego ścina się w temp. ok. 5°C wyższej od białka, czyli ok. 68°C .

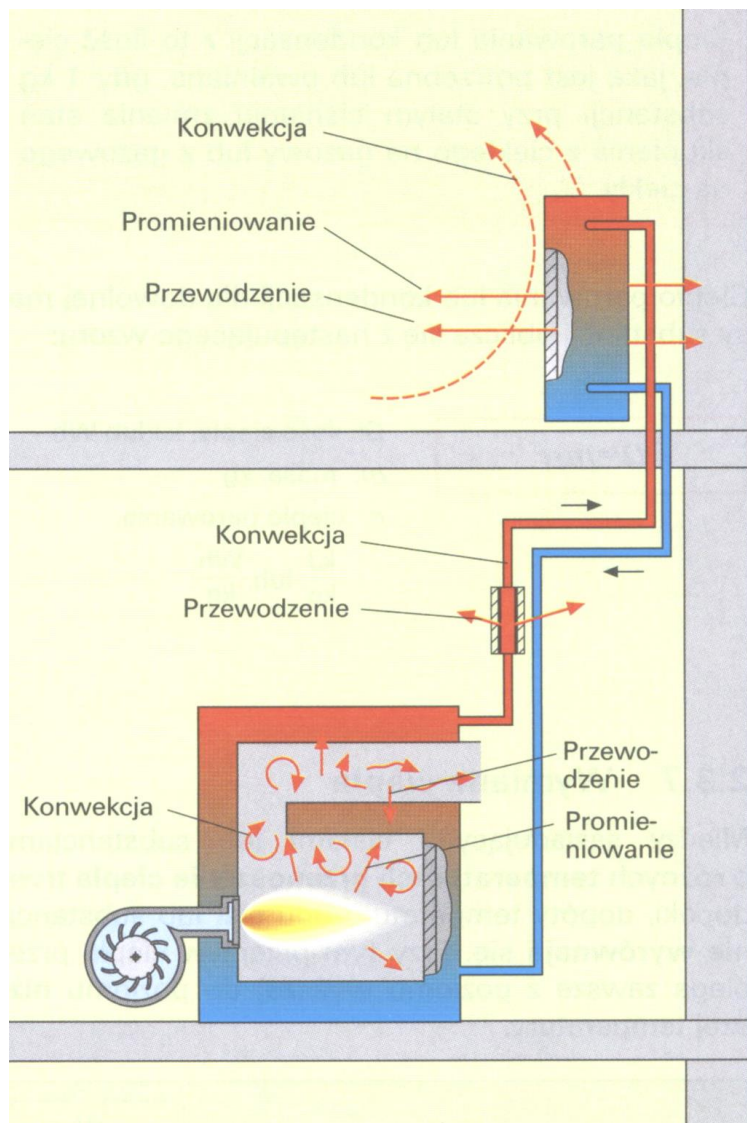
Odpowiedź:

Na Mount Everest ugotujemy jajko.

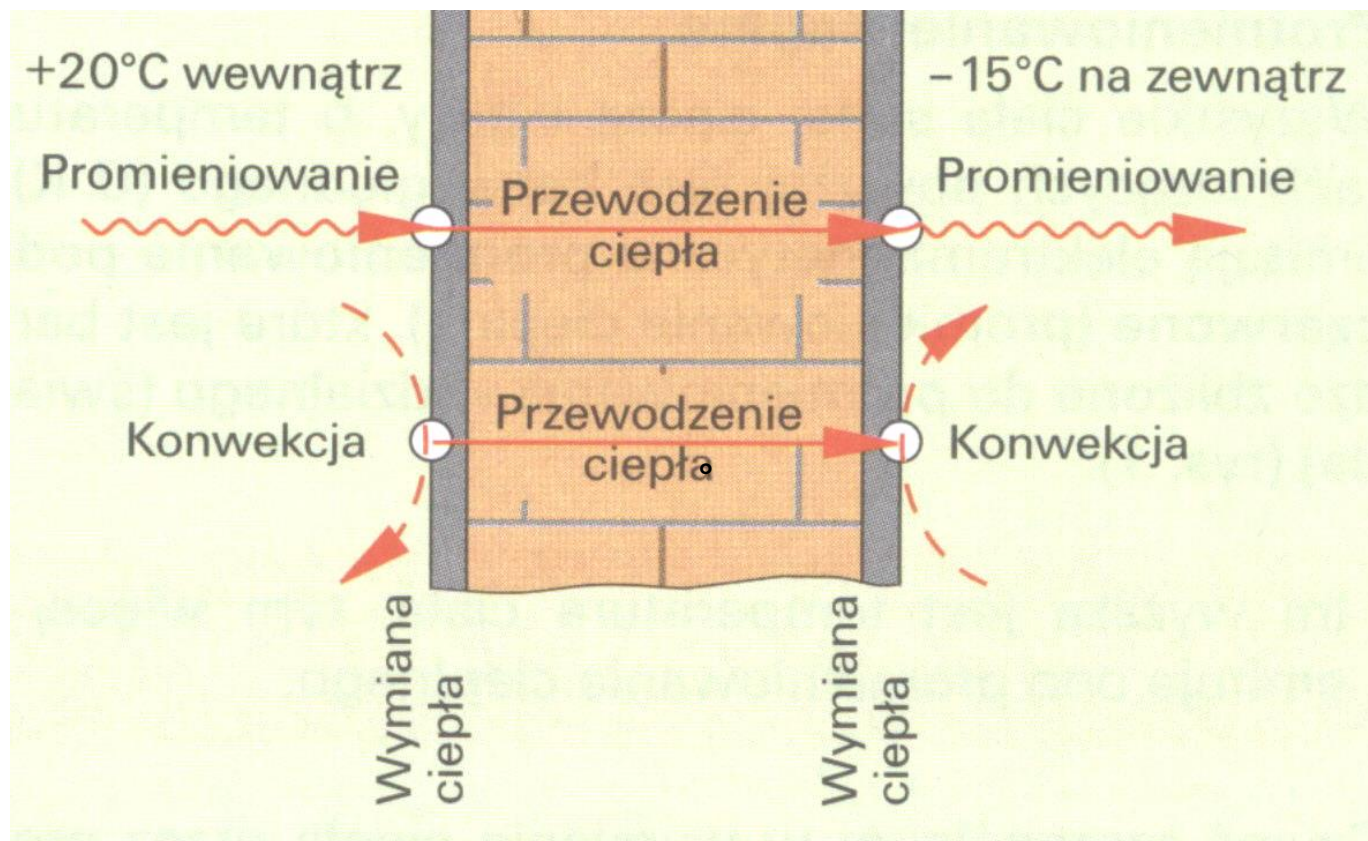
Ciśnienie p_{abs} mbar	Temperatura wrzenia θ $^{\circ}\text{C}$	Uwagi
393	75,4	Mount Everest
588	85,5	Mont Blanc
784	93,0	Zugspitze
1013	100	wysokość nad poziomem morza



Rys. Sposoby wymiany ciepła



Rys. Sposoby wymiany ciepła w instalacji grzewczej



Rys. Przechodzenie ciepła przez ścianę

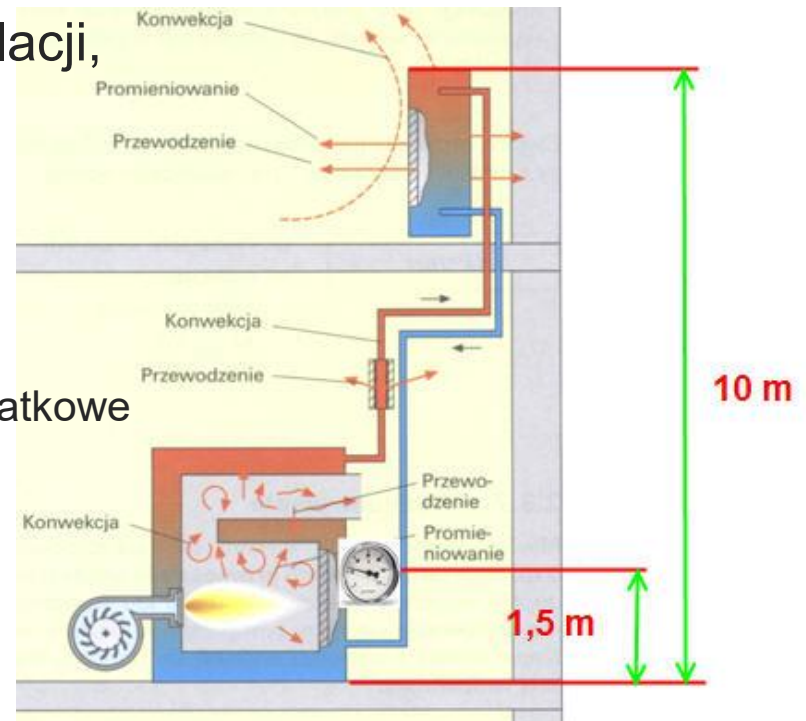
Przykładowe zadania obliczeniowe

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°C do 60°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°C ?

Zadanie 4.

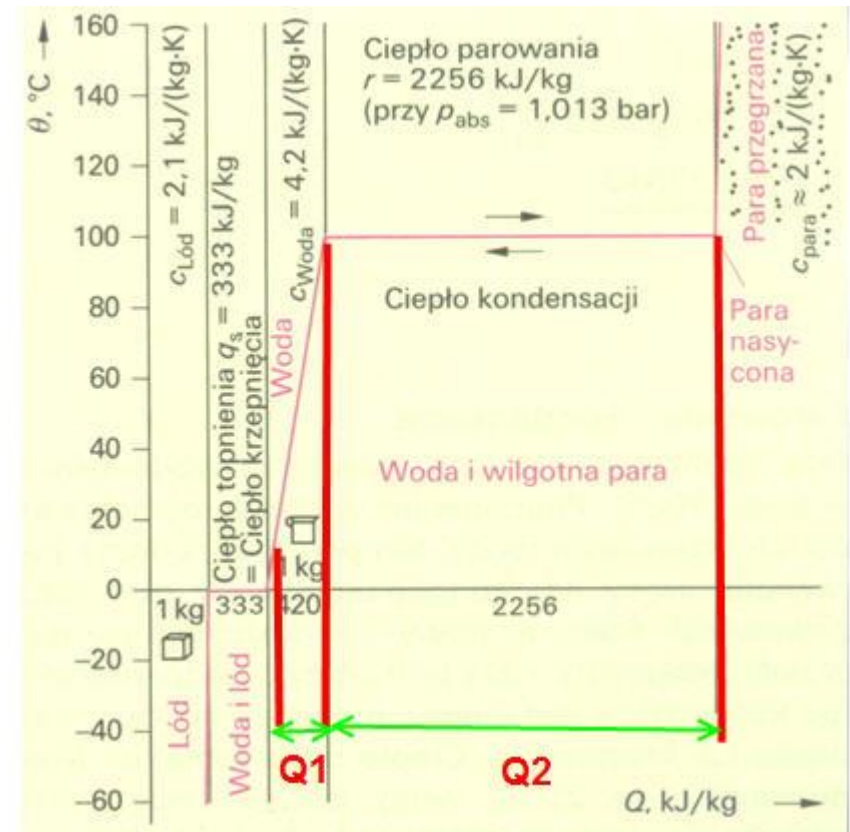
W zbiorniku znajduje się 50 kg lodu o temperaturze 0°C . Jaka ilość ciepła w kJ jest potrzebna do całkowitego stopnienia tego lodu ?

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.



Zadanie 1. - Rozwiązanie

1.1. $P_{hydr} = ?$

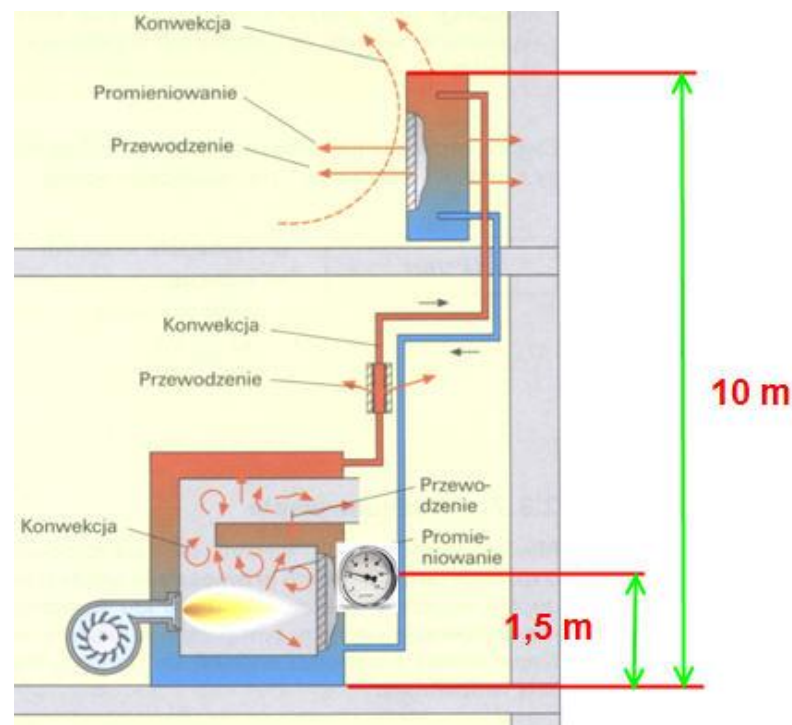
$$P_{hydr} = h \times \rho \times g \text{ [Pa]}$$

$$P_{hydr} = (10 - 1,5) \times 1000 \times 9,81$$

$$\text{m} \times \text{kg/m}^3 \times \text{m/s}^2 = \text{N/m}^2 = \text{Pa}$$

$$(\text{kg} \times \text{m}) / \text{s}^2 = \text{N}$$

$$\underline{P_{hydr} = 83\,385 \text{ Pa}} = 83,39 \text{ kPa}$$



Zadanie 1. - Rozwiązanie

1.2. $P_{\text{dodatkowe}} = ?$

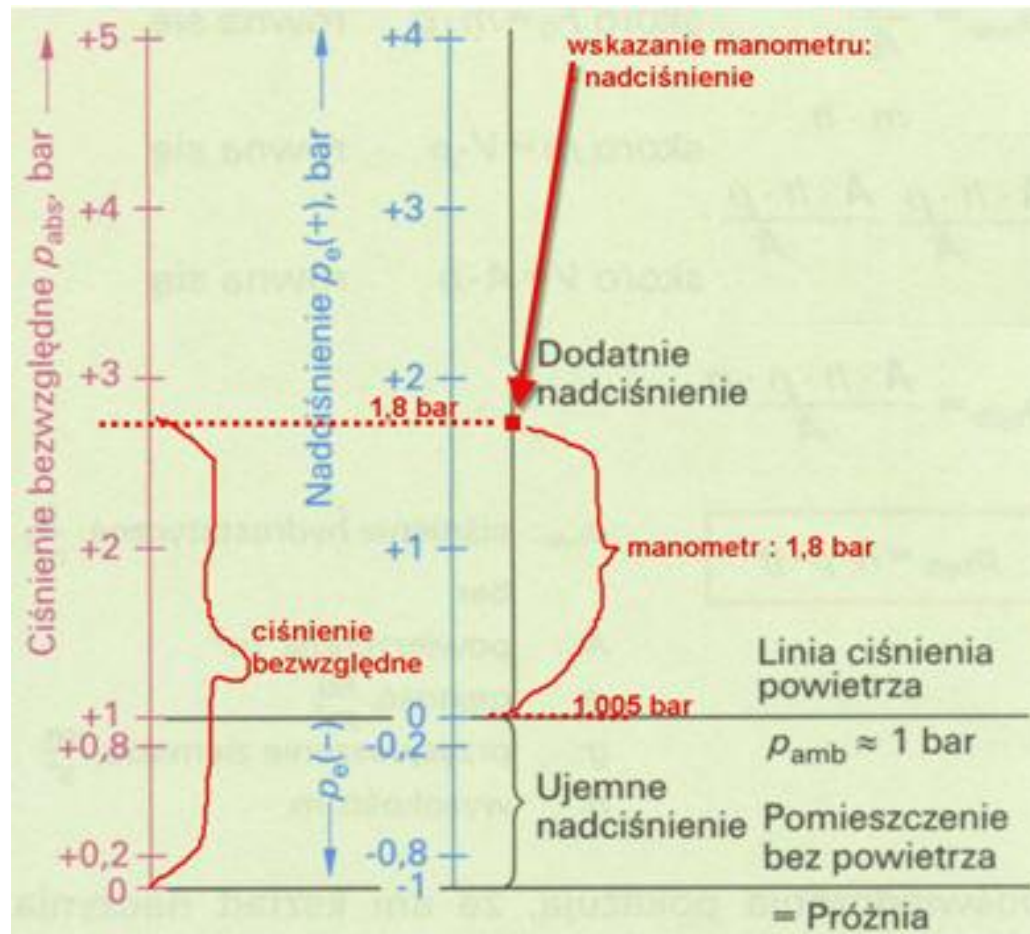
Manometr wskazuje nadciśnienie w instalacji...

$$P_e = P_{\text{hydr}} + P_{\text{dodatkowe}} \text{ [Pa]}$$

$$P_{\text{dodatkowe}} = P_e - P_{\text{hydr}}$$

$$P_{\text{dodatkowe}} = 1,8 \text{ bar} - 0,834 \text{ bar}$$

$$\underline{P_{\text{dodatkowe}} = 0,966 \text{ bar}}$$



Przykładowe zadania obliczeniowe

Zadanie 1. - Rozwiązanie

1.3. $P_{abs} = ?$

$$P_{abs} = P_{amb} + P_e \text{ [Pa]}$$

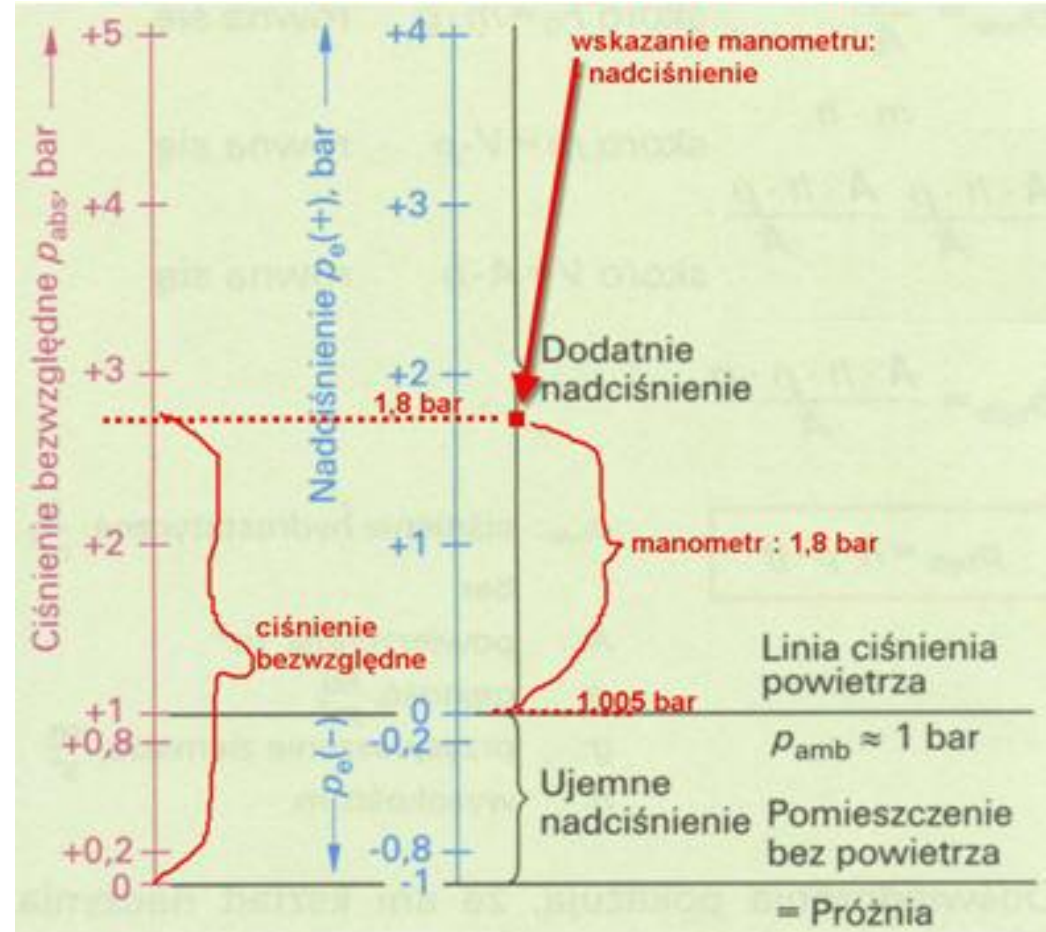
$$P_{abs} = 1,005 \text{ bar} + 1,8 \text{ bar}$$

$$\underline{P_{abs} = 2,805 \text{ bar}}$$

P_{abs} - ciśnienie bezwzględne [bar]

P_{amb} – ciśnienie otoczenia [bar]

P_e – nadciśnienie [bar]



Przykładowe zadania obliczeniowe

Zadanie 2. - Rozwiązanie

Ile energii cieplnej jest potrzebne do ogrzania 200 litrów wody od temperatury 10°C do 60°C ?

$$Q = m \times c \times dT \quad [\text{J}]$$

Q – ilość ciepła (energia cieplna) [J=Ws]

m – masa [kg]

c – ciepło właściwe [J/(kgK) = Wh/kgK]

dT – różnica temperatury [K]

$$Q = 200 \times 1,163 \times (60 - 10) \\ \text{kg} \times \text{Wh}/(\text{kg} \times \text{K}) \times \text{K}$$

$$\underline{Q = 11\,630 \text{ Wh} = 11,63 \text{ kWh}}$$

Przykładowe zadania obliczeniowe

Zadanie 3. - Rozwiązanie

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°C ?

$$\Phi = Q / t \quad [\text{W}] \implies t = Q / \Phi$$

Φ – wydajność cieplna (strumień cieplny) [W]

Q – ilość ciepła [J = Ws]

t – czas [s]

$$Q = m \times c \times dT = 300 \times 1,163 \times (45 - 10) = 12\,211,5 \text{ Wh} = 12,2 \text{ kWh}$$
$$\text{kg} \times \text{Wh}/(\text{kg} \times \text{K}) \times \text{K} = \text{Wh}$$

$$\underline{t} = 12,2 / 8 = \underline{1,525 \text{ h}} \implies 1,525 \text{ h} \times 60 \text{ min}/1 \text{ h} = \underline{91,5 \text{ min}}$$
$$\text{kWh} / \text{kW} = \text{h}$$

Przykładowe zadania obliczeniowe

Zadanie 4. - Rozwiązanie

W zbiorniku znajduje się 50 kg lodu o temperaturze 0°C. Jaka ilość ciepła w kJ jest potrzebna do całkowitego stopnienia tego lodu ?

$$Q = m \times s$$

Q – ilość ciepła [kJ lub Wh]

m – masa [kg]

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

ciepło topnienia lodu = 333 kJ/kg

$$\underline{Q} = 50 \times 333 = \underline{16\ 650\ \text{kJ}}$$

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

Przykładowe zadania obliczeniowe

Zadanie 5. - Rozwiązanie

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

Ciśnienie normalne: 1013 mbar.

$$Q = ?$$

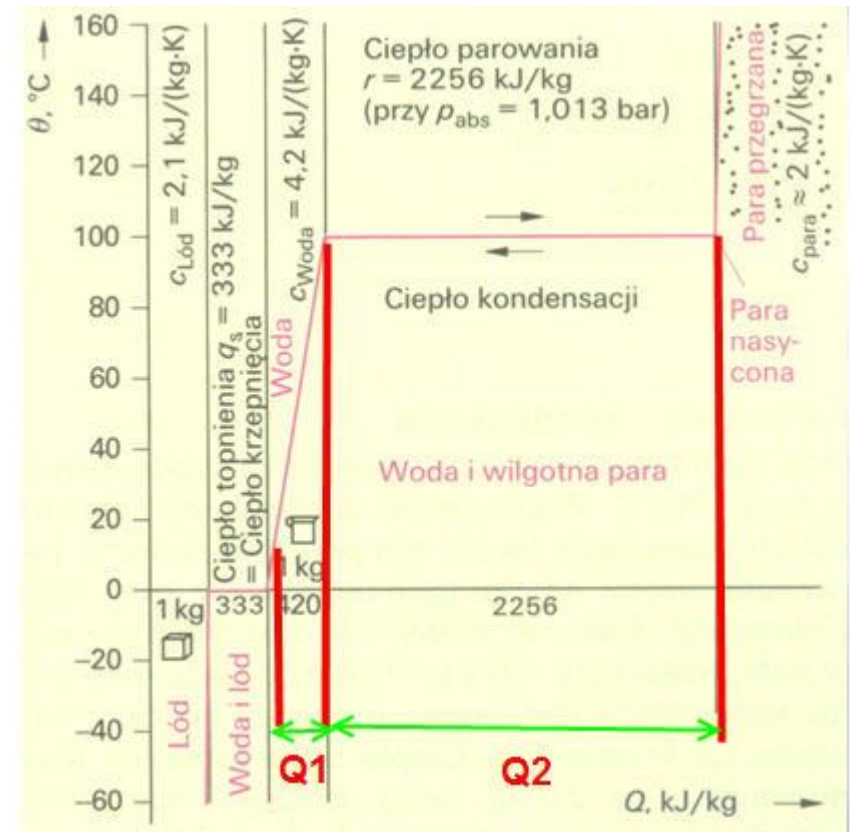
$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 = m \times c \times \Delta T = 200 \times 4,19 \times (100 - 10) \\ \text{kg} \times \text{kJ}/(\text{kg} \times \text{K}) \times \text{K} = \text{kJ}$$

$$Q_1 = 75\,420 \text{ kJ}$$

$$Q_2 = m \times r = 200 \times 2256 = 451\,200 \text{ kJ} \\ \text{kg} \times \text{kJ}/\text{kg} = \text{kJ}$$

$$Q = 75\,420 + 451\,200 = \underline{\underline{526\,620 \text{ kJ}}}$$



Dziękuję za uwagę...

Wykład wprowadzający:

Podstawy energetyki cieplnej

mgr inż. Krzysztof Gnyra

tel. 602 231 407

e-mail: kgnyra@gmail.com

