

Podstawy chłodnictwa, część 1



Wielkości fizyczne, jednostki.
mgr inż. Grzegorz Toczek

Wymagania zawodu technik chłodnictwa i klimatyzacji oraz wymagania egzaminacyjne

- Nieustanna nauka w trakcie szkoły jak i po jej ukończeniu
- Doskonalenie się praktyczne – obsługa oprawy manometrów, reduktorów ciśnienia, butli ciśnieniowych, multimetrów cyfrowych
- Doskonalenie się w obliczeniach - dodawanie i odejmowanie liczb dodatnich i ujemnych, mnożenie, dzielenie, ułamki zwykłe, zaokrąglanie liczb, obliczanie pól powierzchni, objętości
- Znajomość wielkości fizycznych termodynamicznych, elektrycznych, ich jednostek oraz oznaczeń
- Znajomość alfabetu greckiego w tym litery pisane
- Znajomość słownictwa technicznego w języku angielskim, niemieckim i inne wg potrzeb indywidualnych
- Pisać czytelnie liczby i litery oraz obsługiwać kalkulator prosty

Pojęcia podstawowe

- **Chłodnictwo** jest to dziedzina techniki, zajmująca się transportem ciepła od ośrodka o temperaturze niższej do ośrodka o temperaturze wyższej, z wykorzystaniem obiegów termodynamicznych.
- Ośrodek to przestrzeń ograniczona (np. pokój) lub nieograniczona (np. ocean, niebo, natura). Ośrodki te mogą mieć i mają różne temperatury. Jedną z nich możemy wykorzystać jako źródło ciepła z tego ośrodka.
- Chłodnictwo zajmuje się uzyskiwaniem temperatur niższych od otoczenia, chłodzeniem, zamrażaniem produktów spożywczych, chłodzeniem procesów technologicznych.
- **Klimatyzacja** jest to dziedzina techniki zajmująca się uzyskiwaniem i utrzymaniem komfortu cieplnego ludzi, obróbką parametrów powietrza (najczęściej temperatura, wilgotność, czystość powietrza).
- Klimatyzacja jest wykorzystywana do zapewnienia odpowiednich warunków temperaturowych (w określonym zakresie temperaturowym) maszyn, urządzeń.

Wielkości fizyczne, jednostki i oznaczenia

- Zjawiska fizyczne opisane są wielkościami fizycznymi.
- Występuje bardzo dużo wielkości fizycznych.
- Należy znać wielkości fizyczne i ich jednostki. Pomaga to w zrozumieniu teorii, praw i zasad obowiązujących w termodynamice.
- Znajomość jednostek wielkości fizycznych pozwala sprawdzić poprawność wykonanych obliczeń na danych wartościach wielkości fizycznych. Działanie na jednostkach musi dać na jednostkę wielkości obliczanej. Np.: $\text{Pa}=\text{N}/\text{m}^2$; $\text{m}^3=\text{m}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$
- Każda wielkość fizyczna może być opisana następująco:

Nazwa wielkości fizycznej, np.: **temperatura**

Oznaczenie wielkości fizycznej, np.; **t**

Wartość , np. **-86**

Jednostka wielkości fizycznej, np. **°C** jednostki powinno pisać się w nawiasach kwadratowych, np. [bar]

Prawidłowe podanie wielkości fizycznej: temperatura $t=-86^{\circ}\text{C}$

Wielkości fizyczne, jednostki i oznaczenia

A	— pole powierzchni, m^2
c	— ciepło właściwe, $J/(kg \cdot K)$
c_p	— ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu, $J/(kg \cdot K)$
c_v	— ciepło właściwe przy stałej objętości, $J/(kg \cdot K)$
D	— średnica, m
f	— wielokrotność cyrkulacji w urządzeniu absorpcyjnym stosunek zasysania w urządzeniu strumieniowym
F	— siła, N
h	— entalpia właściwa, J/kg
h_{fg}	— entalpia parowania właściwa, J/kg
k	— współczynnik przenikania ciepła, $W/(m^2 \cdot K)$
l_{oc}	— jednostkowa praca odwracalnego obiegu Carnota, J/kg
l_t	— jednostkowa praca techniczna, J/kg
L	— długość, m
	— praca absolutna, J
L_t	— praca techniczna, J

τ	— czas, s
ξ	— stężenie masowe
ζ	— współczynnik miejscowych oporów przepływu



m	— masa, kg
\dot{m}	— strumień masy, kg/s
M	— masa molowa, kg/kmol
n	— prędkość obrotowa, 1/s
p	— ciśnienie, Pa
p_k	— ciśnienie skraplania, Pa
p_o	— ciśnienie parowania, Pa
P	— moc, W
q_a	— jednostkowe ciepło dostarczone do absorbera, J/kg
q_k	— jednostkowa wydajność cieplna skraplacza, J/kg

q_o	— jednostkowa wydajność chłodnicza, J/kg
q_w	— jednostkowe ciepło dostarczone do warnika, J/kg
Q	— ciepło, J
\dot{Q}	— strumień ciepła, W
\dot{Q}_o	— wydajność chłodnicza, W
R	— indywidualna stała gazowa, J/(kg·K)
Re	— liczba Reynoldsa
s	— entropia właściwa, J/(kg·K)
t	— temperatura, °C
T	— temperatura, K
$t_k(T_k)$	— temperatura skraplania, °C (K)
$t_o(T_o)$	— temperatura parowania, °C (K)

v	— objętość właściwa, m ³ /kg
V	— objętość, m ³
\dot{V}	— strumień objętości, m ³ /s
w	— prędkość przepływu, m/s
x	— stopień suchości
X	— zawartość wilgoci w powietrzu, kg/kg _{ps}
α	— współczynnik wnikania ciepła, W/(m ² ·K)
β	— współczynnik wnikania masy odniesiony do różnicy ciśnień cząstkowych, kg/(m ² ·s·Pa)
δ	— grubość, m
ε	— współczynnik wydajności grzejnej pompy ciepła
ε_o	— współczynnik wydajności chłodniczej

η_i	— sprawność indykowana
η_m	— sprawność mechaniczna
φ	— wilgotność względna
κ	— wykładnik izentropy
λ	— stopień dostarczania sprężarki
	— współczynnik przewodzenia ciepła, W/(m·K)
λ_v	— wskaźnik przestrzeni szkodliwej
u	— lepkość dynamiczna, Pa·s
ν	— lepkość kinematyczna, m ² /s
	— wykładnik politropy
ρ	— gęstość, kg/m ³

Wielkość	Oznaczenie	Nazwa jednostki	Jednostka
Ładunek elektryczny	Q	kulomb	C
Prąd	I	amper	A
Gęstość prądu	J	amper na metr kwadratowy	A/m ²
Natężenie pola elektrycznego	E	wolt na metr	V/m
Potencjał elektryczny	V	wolt	V
Napięcie, spadek napięcia	$U, \Delta U$	wolt	V
Siła elektromotoryczna (napięcie źródłowe)	E	wolt	V
Pojemność elektryczna	C	farad	F
Indukcja elektryczna	D	kulomb na metr kwadratowy	C/m ²
Strumień indukcji elektrycznej	Ψ	kulomb	C
Przenikalność elektryczna	ϵ	farad na metr	F/m
Przenikalność elektryczna próżni	ϵ_0	farad na metr	F/m
Natężenie pola magnetycznego	H	amper na metr	A/m
Indukcja magnetyczna	B	tesla	T
Strumień magnetyczny	Φ	weber	Wb
Strumień magnetyczny skojarzony	Ψ	weber	Wb
Przenikalność magnetyczna	μ	henr na metr	H/m
Przenikalność magnetyczna próżni	μ_0	henr na metr	H/m
Reluktancja (opór magnetyczny)	R_μ, R_m	odwrotność henra	1/H
Indukcyjność własna	L	henr	H
Indukcyjność wzajemna	M	henr	H
Siła magnetomotoryczna (napięcie magnetyczne)	Θ, U_μ	amper	A
Rezystancja	R	om	Ω
Rezystywność (opór właściwy)	ρ	omometr	$\Omega \cdot m$

Wielkość	Oznaczenie	Nazwa jednostki	Jednostka
Współczynnik temperaturowy rezystancji	α	odwrotność kelwina	1/K
Reaktancja	X	om	Ω
Impedancja	Z	om	Ω
Konduktancja	G	simens	S
Konduktywność (przewodność właściwa)	γ	simens na metr	S/m
Susceptancja	B	simens	S
Admitancja	Y	simens	S
Moc (czynna)	P	wat	W
Moc bierna	Q	war	var
Moc pozorna	S	woltoamper	VA
Praca, energia, ciepło	W, Q_c	dżul, watogodzina	J, Wh
Praca, energia bierna	"	warosekunda	vars
		warogodzina	varh
Praca, energia pozorna	"	woltoamperosekunda	VAs
		woltoamperogodzina	VAh
Okres	T	sekunda	s
Częstotliwość	f	herc	Hz
Pulsacja	ω	radian na sekundę	rad/s
Czas	t	sekunda	s
Temperatura bezwzględna	T	kelwin	K
Temperatura użytkowa	ϑ, t	stopień Celsjusza	°C
Ciepło właściwe	c	dżul na kilogram i kelwin	$\frac{J}{kg \cdot K}, \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$

Nazwa wielkości	Oznaczenie	Jednostka	Nazwa jednostki	Wzór
Napięcie elektryczne	U	V	wolt	$U=R \cdot I$
Natężenie prądu elektrycznego	I	A	amper	$I=U/R$
Rezystancja, opór elektryczny	R	Ω	om	$R=U/I$
Moc czynna	P	W	wat	$P=U \cdot I$
Moc bierna	Q	VAR	war	$Q=UI \sin \varphi$
Moc pozorna	S	VA	woltoamper	$S^2=P^2+Q^2$
Współczynnik mocy	$\cos \varphi$	bez jednostki		$\cos \varphi=P/S$
Napięcie źródłowe, siła elektromotoryczna, sem	E	V	wolt	$E=Q/(4\pi\epsilon r^2)$
Pojemność elektryczna	C	F	farad	
Indukcja elektryczna	D	C/m ²	kulomb na metr kwadratowy	
ładunek elektryczny	Q	C	kulomb	
spadek napięcia	ΔU	V	wolt	
natężenie pola elektrycznego	E	V/m ²	wolt na metr kwadratowy	
rezystywność (opór właściwy)	ρ	Ωm	omometr	
współczynnik temperaturowy rezystancji	α	1/K, K ⁻¹	odwrotność kelwina	
okres	T	s	sekunda	
częstotliwość	f	Hz	herc	
pulsacja	ω	rad/s	radian na sekundę	
temperatura użytkowa	θ (mała teta), t	°C	stopień celsjusza	
Indukcja magnetyczna	B	T	tesla	
Strumień magnetyczny	Φ	Wb	weber	
reluktancja	R _m	1/H	odwrotność henra	

ciepło	Q	J	dżul
temperatura bezwzględna	T	K	kelwin
temperatura (względna)	t	°C	stopnie celsjusza
różnica temperatur	ΔT	K	stopnie kelwina
entalpia właściwa	h, i	J/kg	dżul na kilogram
entropia właściwa	s	J/(kg·K)	dżul na kilogram kelwin
ciśnienie	p	bar, Pa	bar, paskal
objętość właściwa	v	m ³ /kg	metr sześcienny na kilogram
gęstość właściwa	ρ	kg/m ³	kilogram na metr sześcienny
masa	m	kg	kilogram
pole powierzchni	A	m ²	metry kwadratowe
długość, grubość	l, d, δ	m	metry
wysokość	h	m	metry
czas	t	s, h	sekunda
liczba obrotów na minutę	n	rpm, min ⁻¹	rotate per minute, 1/minuta
strumień masy	\dot{m}	kg/s	kilogram na sekundę
strumień ciepła	Q (z kropką)	J/s; W	dżul na sekundę, wat
moc elektryczna	P _{el}	W	wat
wydajność chłodnicza	Q ₀ (z kropką)	W	wat
wydajność grzewcza	Q _g (z kropką)	W	wat
ciepło właściwe	c	J/(kgK)	dżul na kilogram kelwin
współczynnik przewodzenia	λ	W/(mK)	wat na metr kelwin
współczynnik wnikania	α	W/(m ² K)	wat na metr kwadrat kelwin
współczynnik przenikania	k	W/(m ² K)	wat na metr kwadrat kelwin
strumień objętości	V (z kropką)	(m ³ /s)	metry sześciennie na sekundę
siła	F	N	niuton
stopień nasycenia	x	bez jednostki	

Alfabet grecki

Litery greckie będą wykorzystywane we wzorach, jako oznaczenia wielkości fizycznych. Wyróżniamy litery drukowane i pisane, małe i duże. Niektóre litery drukowane mają nieco innych kształt niż litery pisane.

A α alfa	H η eta	N ν ni	T τ tau
B β beta	Θ ϑ teta	Ξ ξ ksi	Y υ ypsilon
Γ γ gamma	I ι jota	O o omikron	Φ ϕ fi
Δ δ delta	K κ kappa	Π π pi	X χ chi
E ε epsilon	Λ λ lambda	P ρ ro	Ψ ψ psi
Z ζ zeta	M μ mi	Σ σ sigma	Ω ω omega

Krotności jednostek miar – wielokrotności i podwielokrotności

Przedrostek			Wartość liczbową wyrażaną przez dany przedrostek	
	nazwa	oznaczenie		
Wielokrotności	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
	mega	M	$10^6 = 1\,000\,000$	milion
	kilo	k	$10^3 = 1\,000$	tysiąc
	hekto	h	$10^2 = 100$	sto
	deka	da	$10^1 = 10$	dziesięć
-	-	-	$10^0 = 1$	jeden
Podwielokrotności	decy	d	$10^{-1} = 0,1$	dziesiąta
	centy	c	$10^{-2} = 0,01$	setna
	mili	m	$10^{-3} = 0,001$	tysięczna
	mikro	μ	$10^{-6} = 0,000\,001$	milionowa
	nano	n	$10^{-9} = 0,000\,000\,001$	miliardowa
	piko	p	$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$	bilionowa
	femto	f	$10^{-15} = 0,000\,000\,000\,000\,001$	biliardowa
atto	a	$10^{-18} = 0,000\,000\,000\,000\,000\,001$	trylionowa	

Krotności są niezbędne do odniesienia konkretnej wartości do jedności.

Np.: nie możemy dodać kg do g, musimy mieć wartości sprowadzone do tej samej jednostki (wielokrotności lub podwielokrotności).

$$1\text{kg} + 1\text{g} = 1000\text{g} + 1\text{g} = 1001\text{g}$$

$$1\text{kg} + 1\text{g} = 1\text{kg} + 0,001\text{kg} = 1,001\text{kg}$$

$a^n = \underbrace{a \cdot a \cdot \dots \cdot a}_{n \text{ razy}}$ $a^1 = a$ $a^0 = 1$ $a^n \cdot a^m = a^{n+m}$ $a^n : a^m = a^{n-m}$ $(a^n)^m = a^{n \cdot m}$	$a^n \cdot b^n = (a \cdot b)^n$ $\frac{a^n}{b^n} = \left(\frac{a}{b}\right)^n$ $a^{-n} = \frac{1}{a^n}$ $\left(\frac{a}{b}\right)^{-n} = \left(\frac{b}{a}\right)^n$ $a^{\frac{n}{m}} = \sqrt[m]{a^n}$
---	--

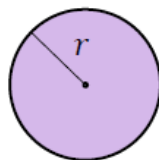
Koło

Pole P koła o promieniu r jest równe:

$$P = \pi r^2$$

Obwód L koła o promieniu r jest równy:

$$L = 2\pi r$$



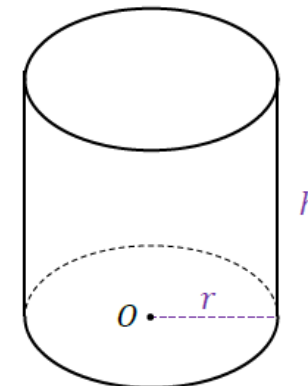
Walec

$$P_b = 2\pi r h$$

$$P_c = 2\pi r(r + h)$$

$$V = \pi r^2 h$$

gdzie h jest wysokością walca, O – środkiem symetrii podstawy walca, r – promieniem podstawy walca.

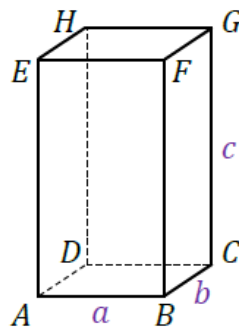


Prostopadłościan

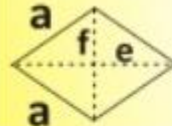
$$P_c = 2(ab + bc + ca)$$

$$V = abc$$

gdzie a , b , c są długościami krawędzi prostopadłościanu

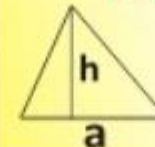


Pole ROMBU



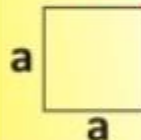
$$P = \frac{e \cdot f}{2}$$

Pole TRÓJKĄTA



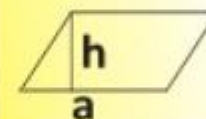
$$P = \frac{1}{2} a \cdot h$$

Pole KWADRATU



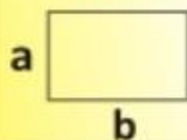
$$P = a \cdot a$$

Pole RÓWNOLEGŁOBOKU



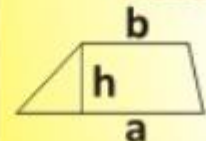
$$P = a \cdot h$$

Pole PROSTOKĄTA



$$P = a \cdot b$$

Pole TRAPEZU



$$P = \frac{(a + b) \cdot h}{2}$$

Pola, objętości figur i brył

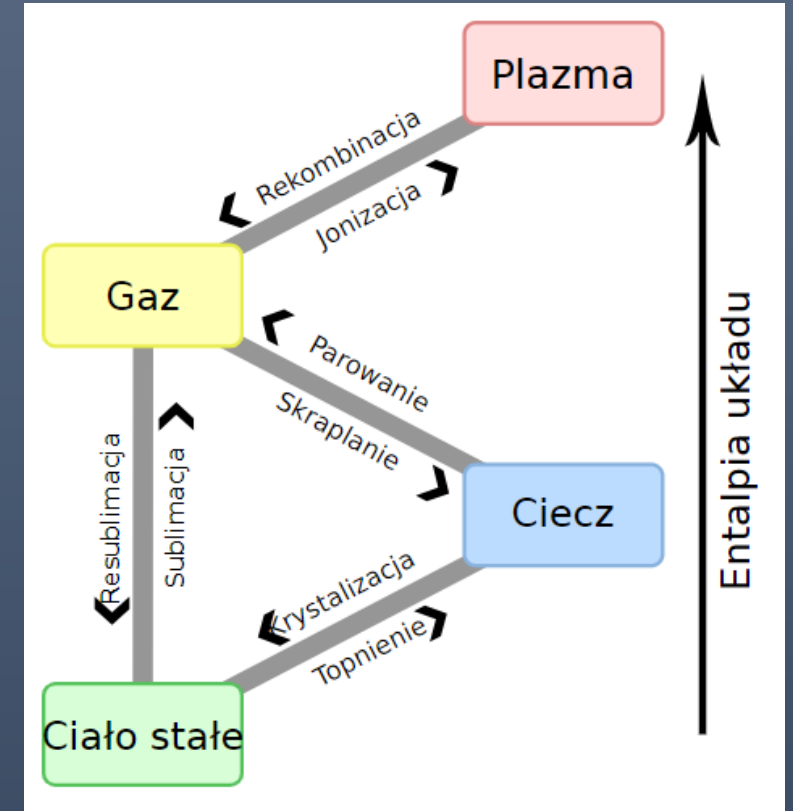
- Zjawiska przepływu ciepła będą opisywane wielkościami fizycznymi takimi jak: temperatura, różnica temperatur, współczynnik przewodzenia, grubość materiału,

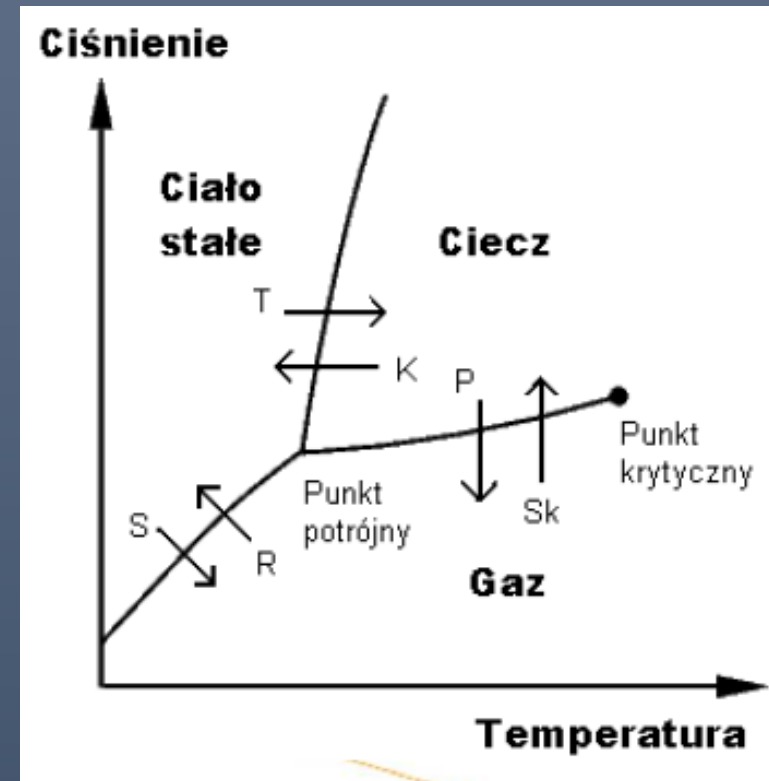
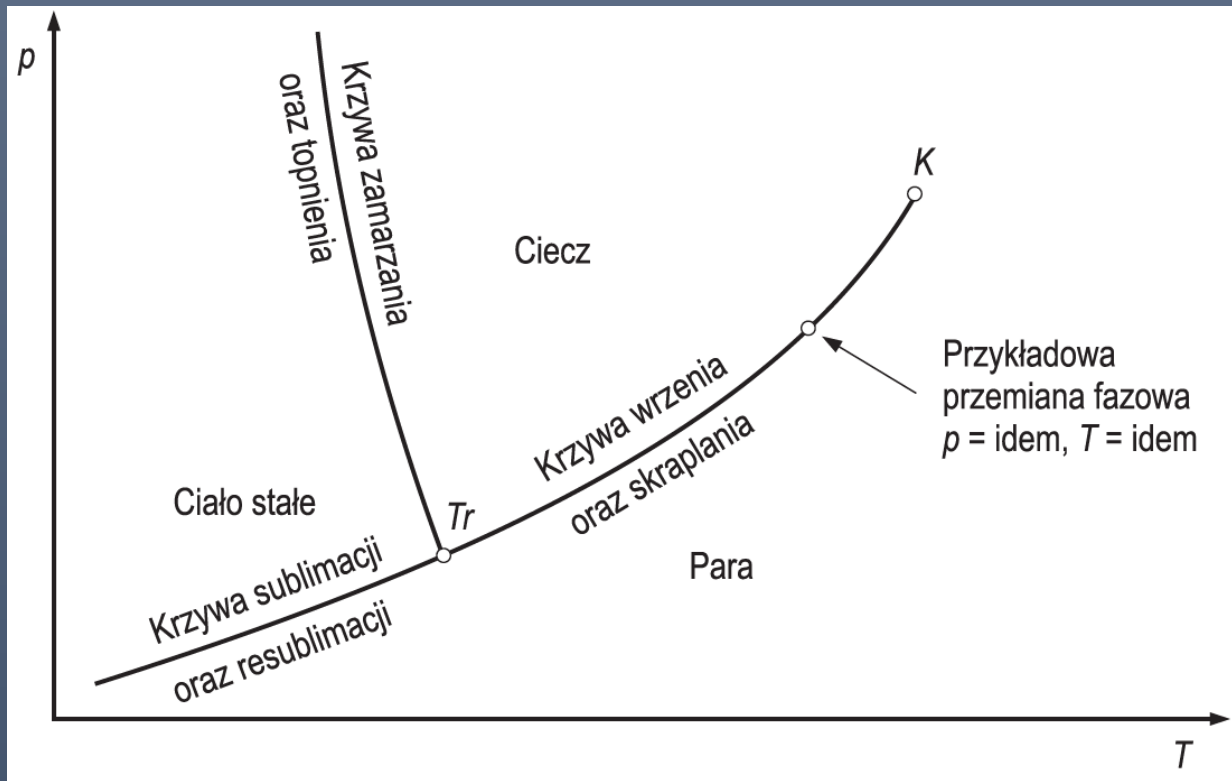
współczynnik przenikania ciepła, współczynnik wnikania ciepła, czas, entalpia

- W typowym układzie chłodniczym (sprężarkowym) będą wykorzystywane zjawiska

zmiany stanu skupienia.

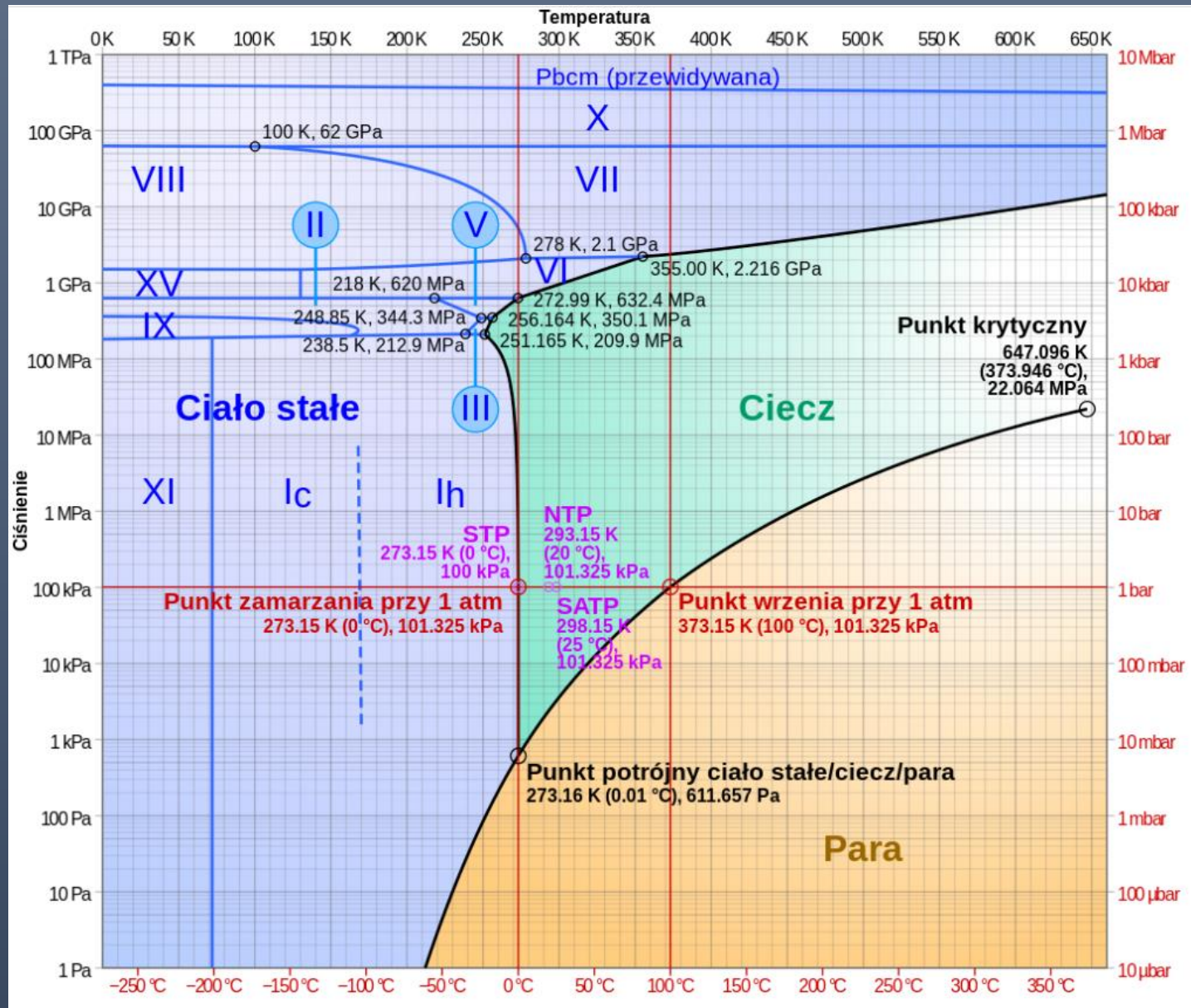
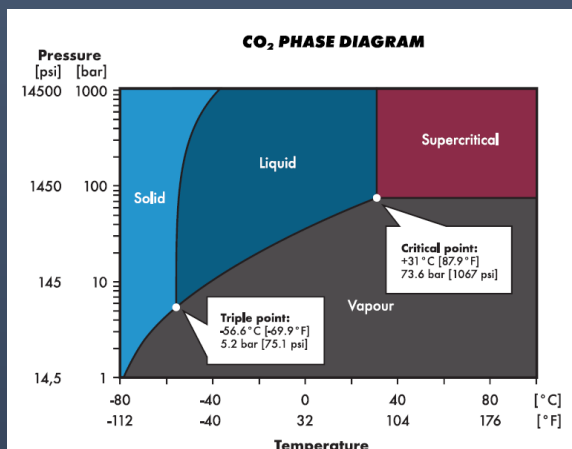
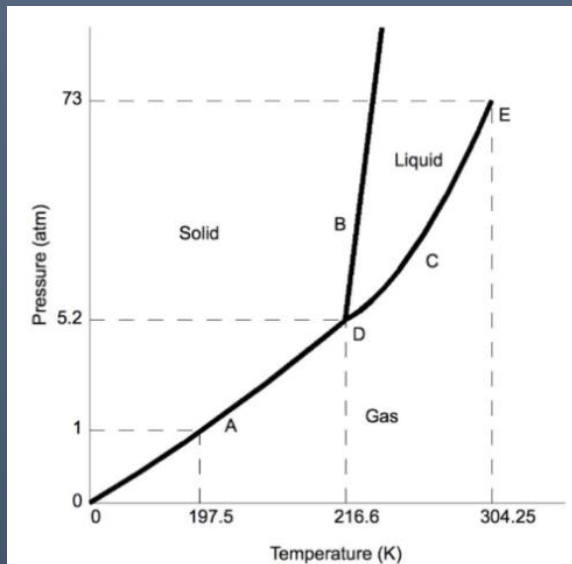
- Wyróżniamy następujące stany skupienia: **ciecz, gaz, ciało stałe**
- Wykres fazowy (równowagi fazowej) przedstawia obszary występowania każdego stanu skupienia i granice pomiędzy nimi. Jest on określony osiami temperatury i ciśnienia.
- Wyróżniamy następujące przemiany na wykresie fazowym: parowanie P (inaczej wrzenie), skraplanie Sk (inaczej kondensacja), sublimacja S, resublimacja R, topnienie T, krzepnięcie K
- Wykres fazowy posiada każda substancja.
- Wykresy fazowe różnią się pomiędzy sobą.





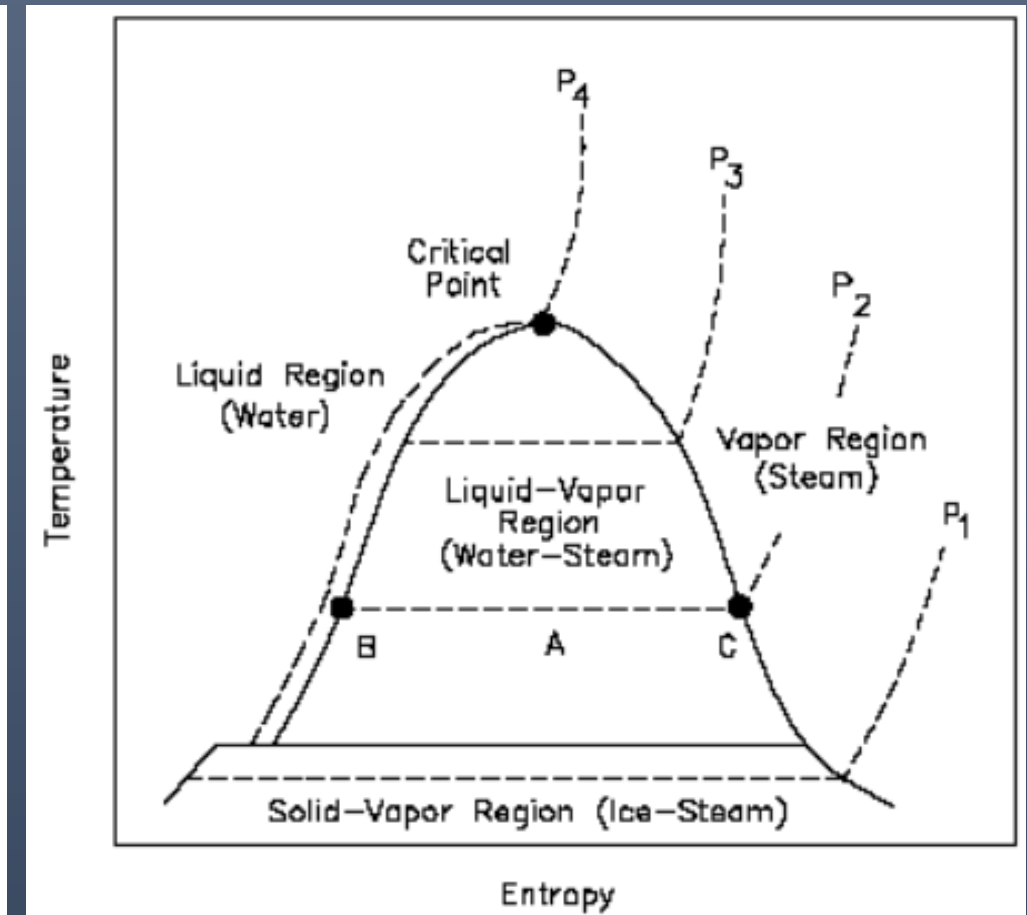
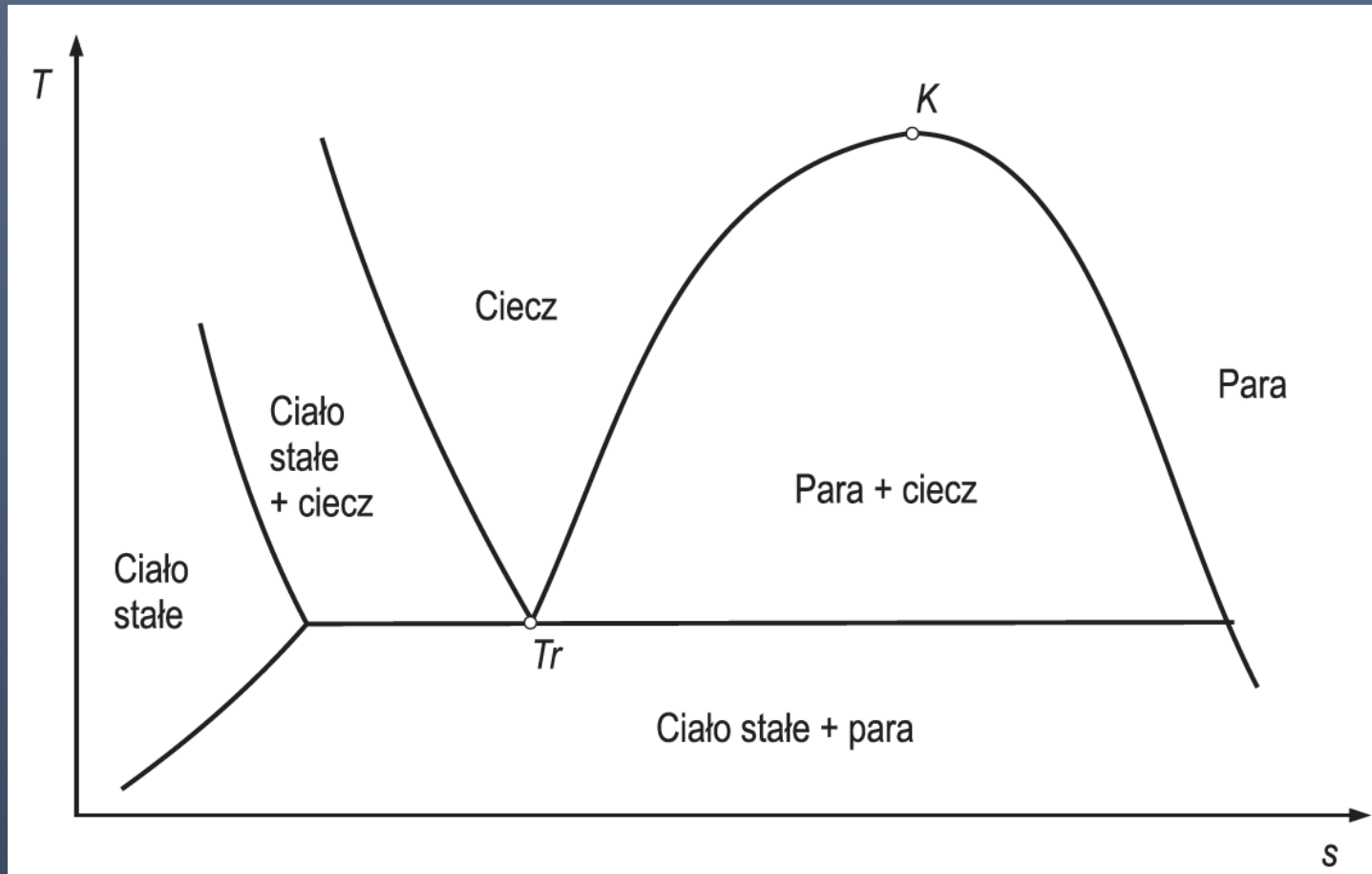
Krzywe przemian fazowych będą różnie przebiegały dla różnych substancji, będą posiadały różne wartości wielkości fizycznych w charakterystycznych punktach wykresu.

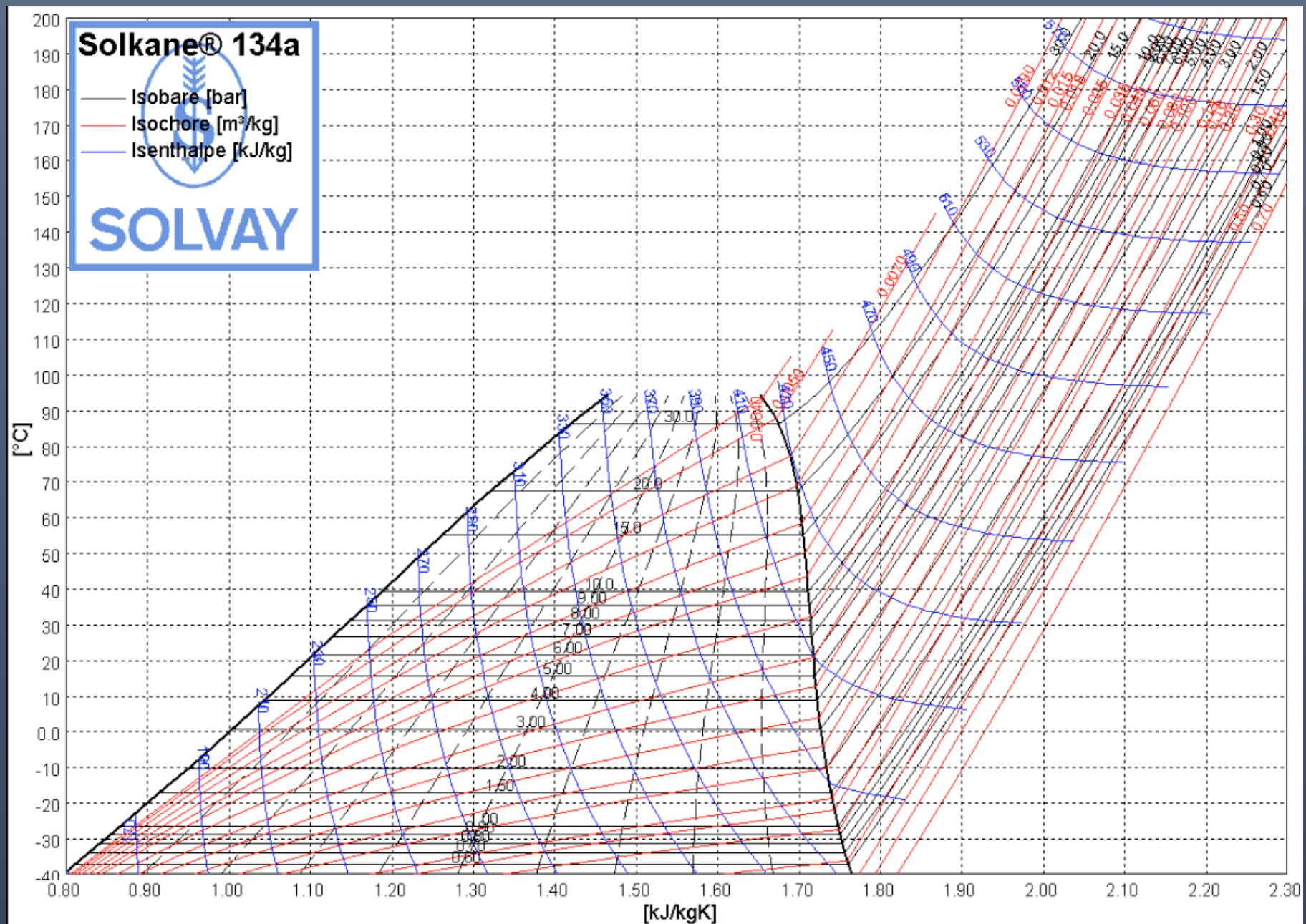
Wykres fazowy dwutlenku węgla



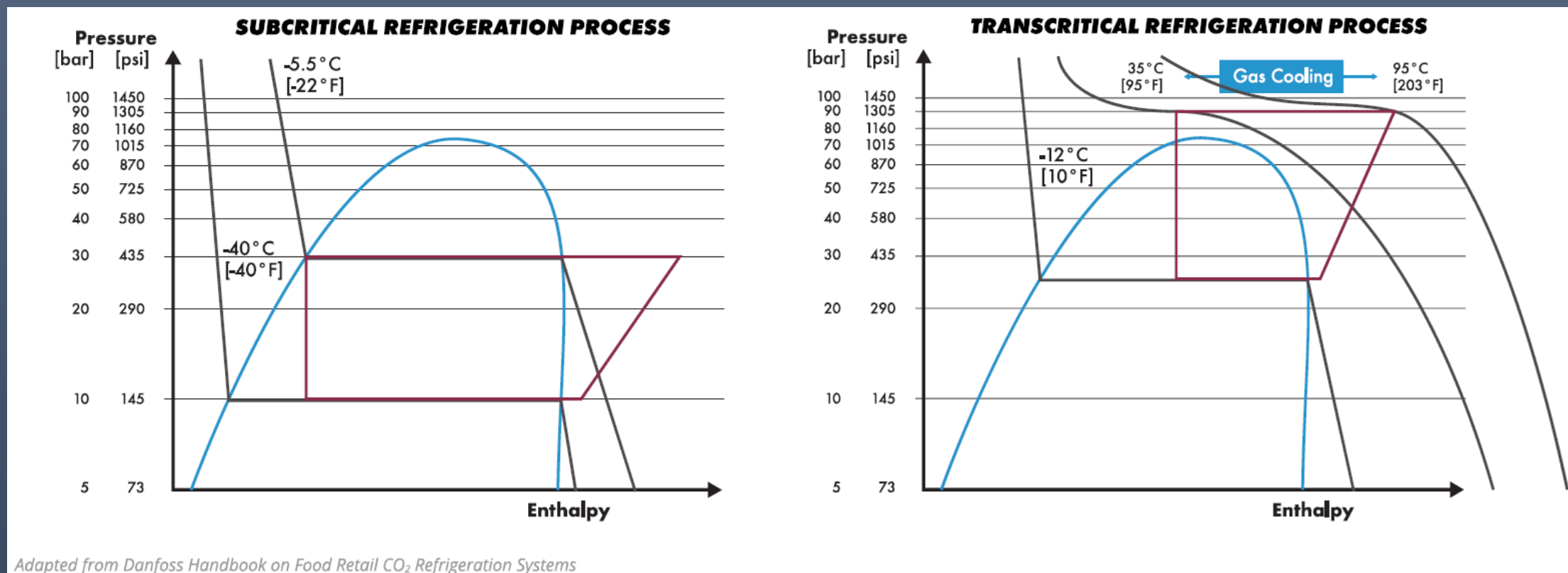
Wykres fazowy wody

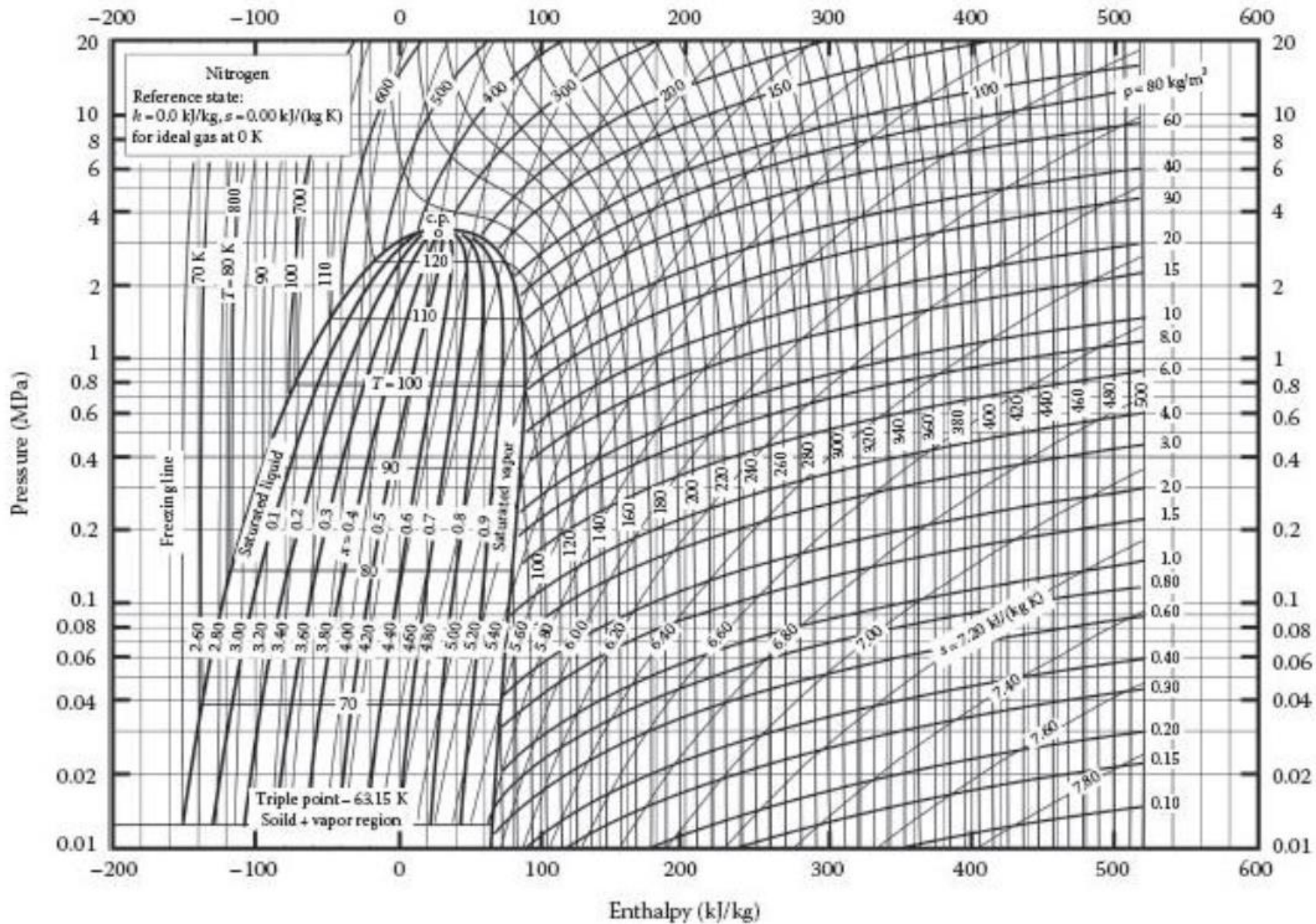
- Przemiany fazowe (pomiędzy stanami skupienia) dla danej substancji można zobrazować również na wykresie temperatura-entropia oraz ciśnienie-entalpia

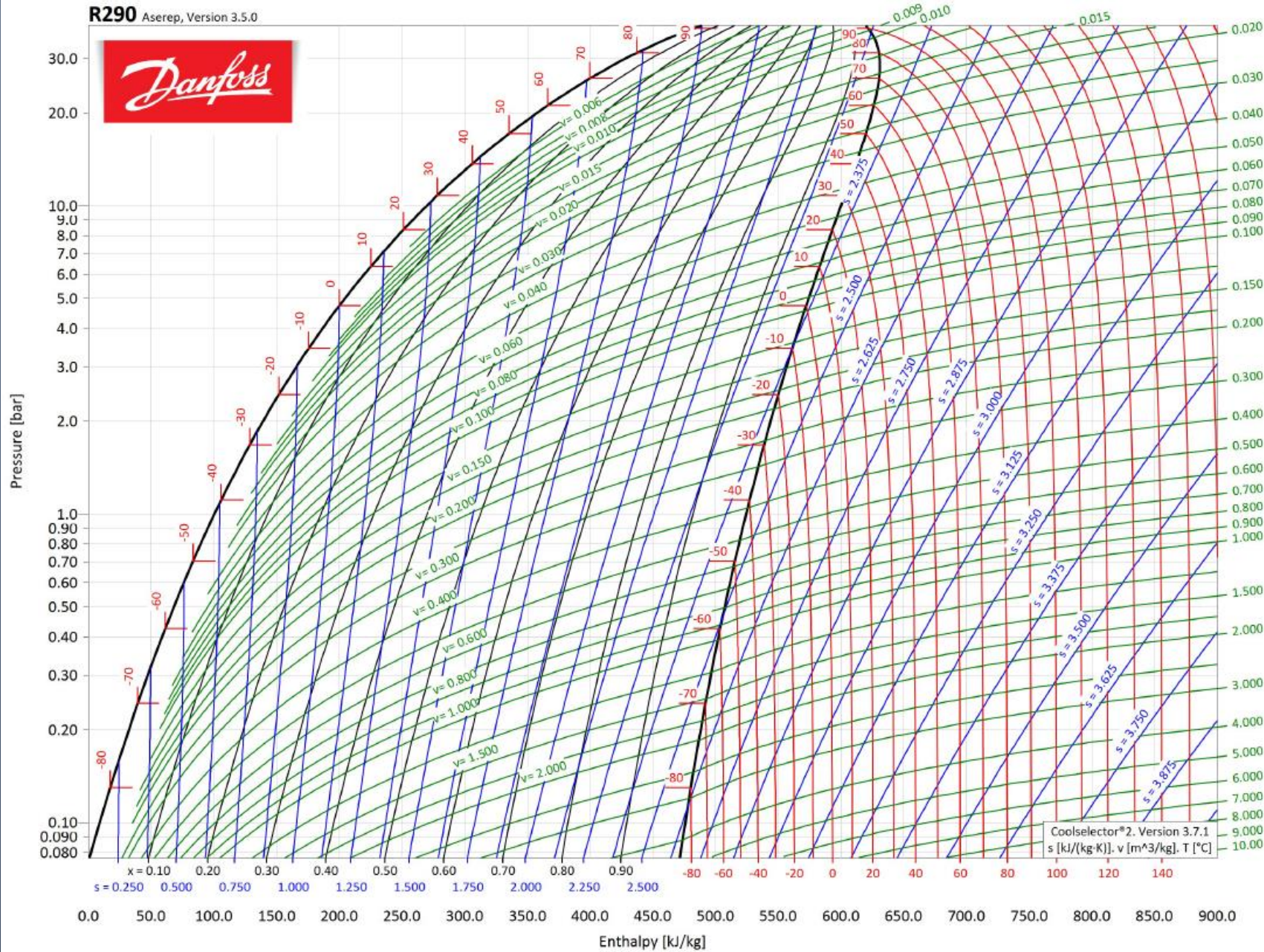


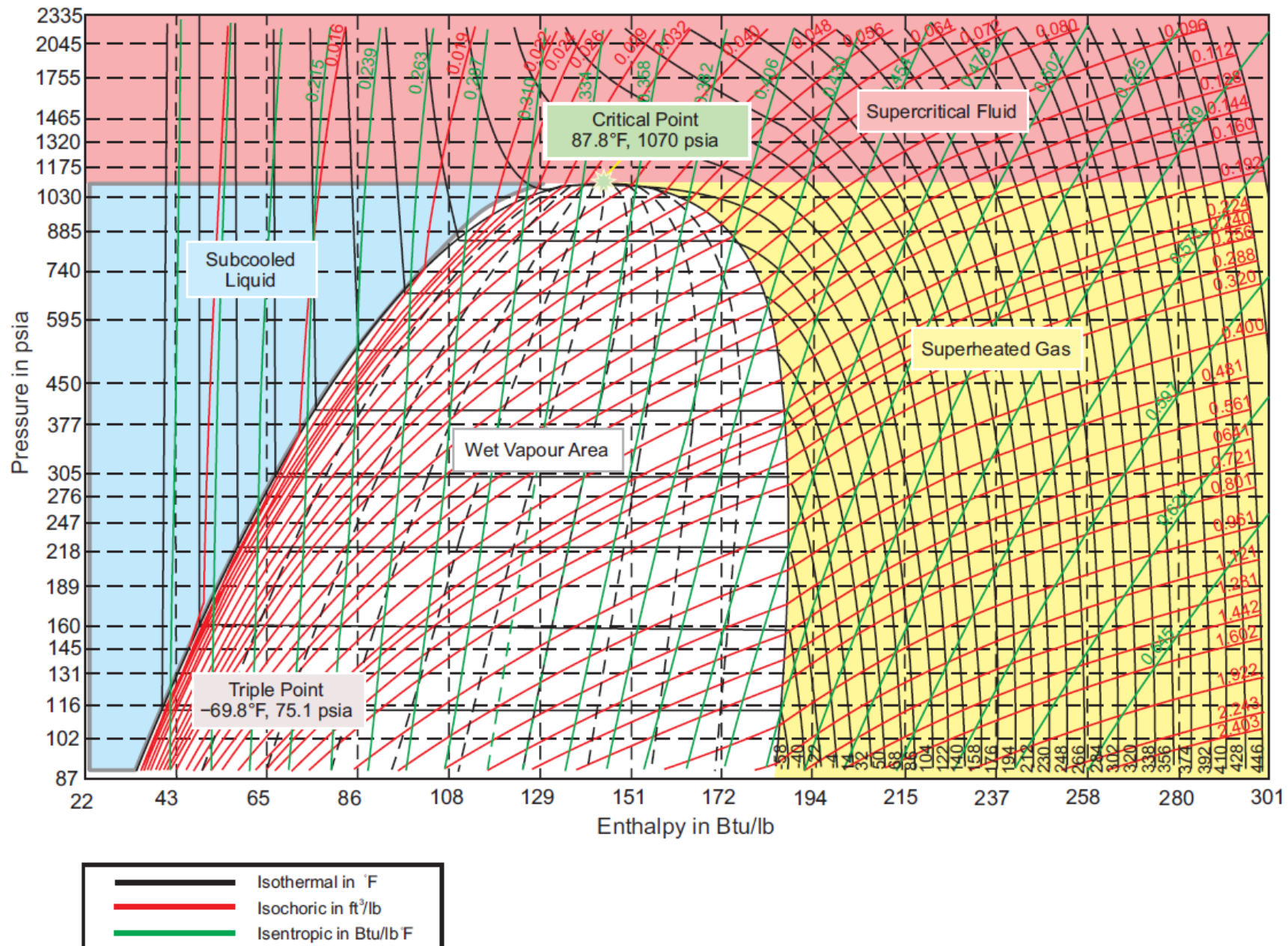


- Przemiany termodynamiczne, zmiany stanu skupienia w sprężarkowym obiegu chłodniczym najczęściej przedstawia się na wykresie ciśnienie – entalpia (logarytm ciśnienie – entalpia)
- Wykres ten jest opracowany dla różnych substancji (różnych czynników chłodniczych)









- Na wykresie fazowym występuje:
 - Punkt potrójny – punkt na wykresie fazowym, w którym występują wszystkie stany skupienia jednocześnie. Ten punkt jest opisany tzw. temperaturę punktu potrójnego i ciśnienie punktu potrójnego. Punkt oznaczamy jako T_r
 - Punkt krytyczny – punkt na wykresie fazowym, w którym następuje przejście w stan o odmiennych właściwościach: para nasycona - ciecz nasycona. Powyżej tego punktu nie jest możliwe skraplanie lub parowanie. Punkt oznaczamy jako K , C lub C_r
- W chłodnictwie wyróżnimy następujące pojęcia:

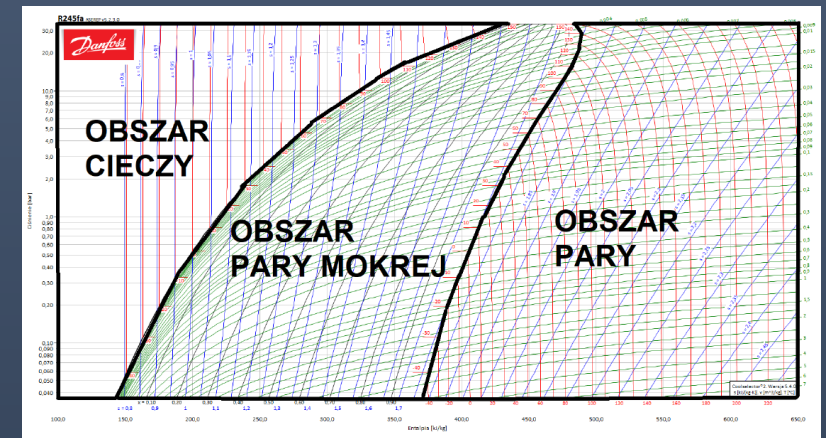
gaz – w rozumieniu czynnik chłodniczy, gaz techniczny

para sucha – w rozumieniu para sucha, przegrzana, w skrócie para.

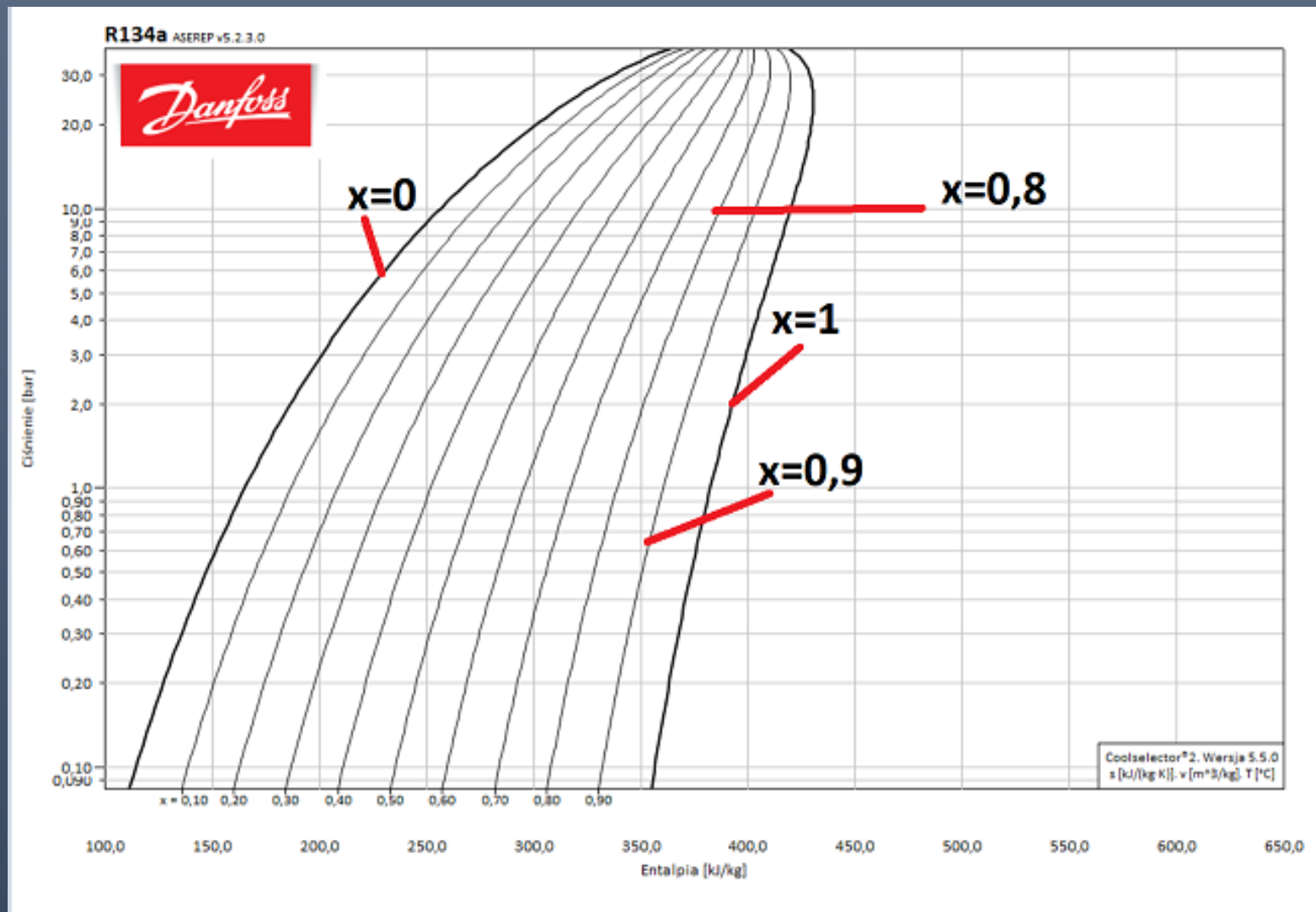
para mokra – w rozumieniu mieszanina cieczy i pary suchej

ciecz – stan ciekły czynnika chłodniczego

- Pomiędzy stanem cieczy a stanem pary suchej jest obszar pary mokrej (mieszaniny cieczy i pary suchej). Proporcje Pomiędzy cieczą a parą suchą określa stopień nasycenia x



- Krzywe stopnia nasycenia na wykresie ciśnienie - entalpia



Podstawowe własności substancji: temperatura, ciśnienie i gęstość

- **Temperatura** określa stan termiczny substancji, temperatura absolutna, bezwzględna T określana jest w kelwinach K, temperatura względna t w $^{\circ}\text{C}$.
- Wyróżniamy skale temperatur: Kelvina (**bezwzględna**), Celsjusza, Farenheita, Reaumura, inne
- Przeliczenia, zamiany temperatur pomiędzy różnymi skalami

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

- **Różnicę temperatur** opisujemy jako ΔT , jednostką są kelwiny [K], $\Delta T = T_1 - T_2$

Pod względem mikroskopowym, **temperatura** jest wynikiem ruchu cząsteczek, z których złożone jest ciało. Temperatura rośnie, kiedy wzrasta energia tych ruchów. Ruch może być związany z przemieszczaniem się cząsteczki (np. w gazie), z drganiami atomów, cząsteczek (np. w kryształach), z drganiami wewnętrznymi cząsteczki.

Występuje wiele skal temperatur, z czego najpopularniejszymi są skala Celsjusza, Kelwina, Farenheita

Porównanie temperatur w różnych skalach

Zjawisko	Kelvin	Celsjusz	Fahrenheit	Rankine	Delisle	Newton	Réaumur	Romer
Zero absolutne	0	-273,15	-459,67	0	559,725	-90,14°	-218,52	-135,90
Zero Farenheita	255,37	-17,78	0	459,67	176,67	-5,87	-14,22	-1,83
Zamarzanie wody	273,15	0	32	491,67	150	0	0	7,5
Średnia temperatura ciała człowieka	310,0	36,6	98,2	557,9	94,5	12,21	29,6	26,925
Wrzenie wody	373,15	100	212	671,67	0	33	80	60
Topnienie tytanu	1941	1668	3034	3494	-2352	550	1334	883
Temperatura efektywna powierzchni Słońca	5800	5526	9980	10440	-8140	1823	4421	2909

Wzór przeliczający temperaturę w stopniach Farenheita na temperaturę w stopniach Celsjusza:

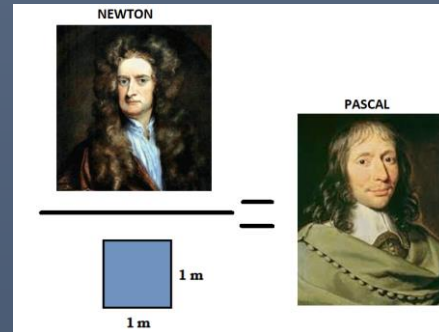
$$t = \frac{5}{9} \cdot (t_F - 32) \text{ } ^\circ\text{C}$$

Wzór przeliczający temperaturę w stopniach Celsjusza na temperaturę w stopniach Farenheita:

$$t_F = \left(\frac{9}{5} \cdot t + 32 \right) \text{ } ^\circ\text{F}$$

- **Ciśnienie** jest to siła jednego niutona 1N działająca na powierzchnię 1m², jednostką jest paskal Pa, bar i inne. Pomędzy różnymi jednostkami ciśnienia występują zależności

Jednostki ciśnienia: **Pa** (paskal), **bar**, **psi** (*pound per square inch*, funt na cal kwadratowy, ściślej *pound-force per square inch*, funt-siła na cal kwadratowy), **at** (1 at = 1 kG/cm², ciśnienie o wartości 1 at oznacza, że na powierzchnię 1 cm² naciska siła 1 kG), **atm** (atmosfera fizyczna, jednostka miary ciśnienia, równa ciśnieniu 760 milimetrów słupa rtęci (mm Hg) w temperaturze 273,15 K (0 °C), przy normalnym przyspieszeniu ziemskim)



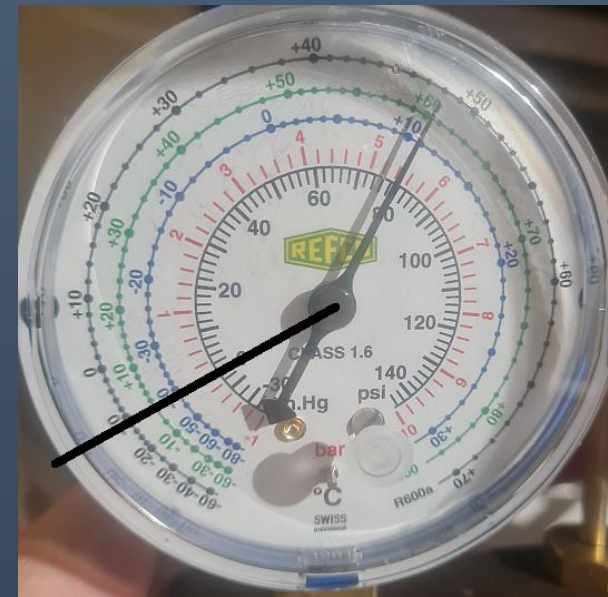
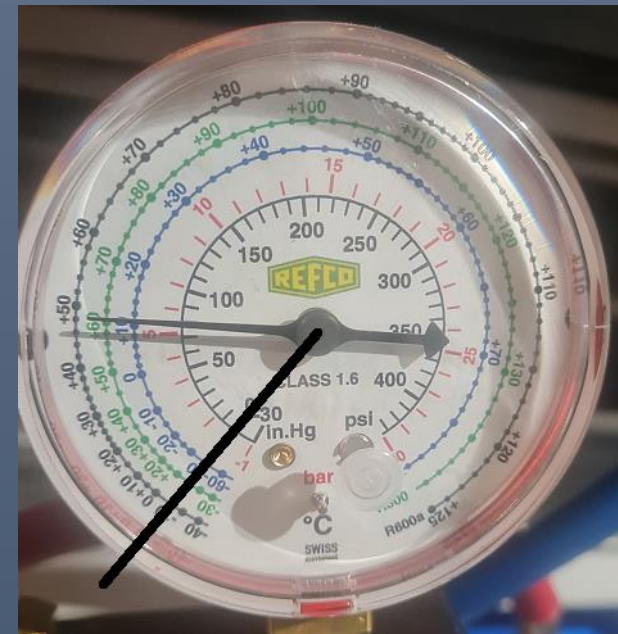
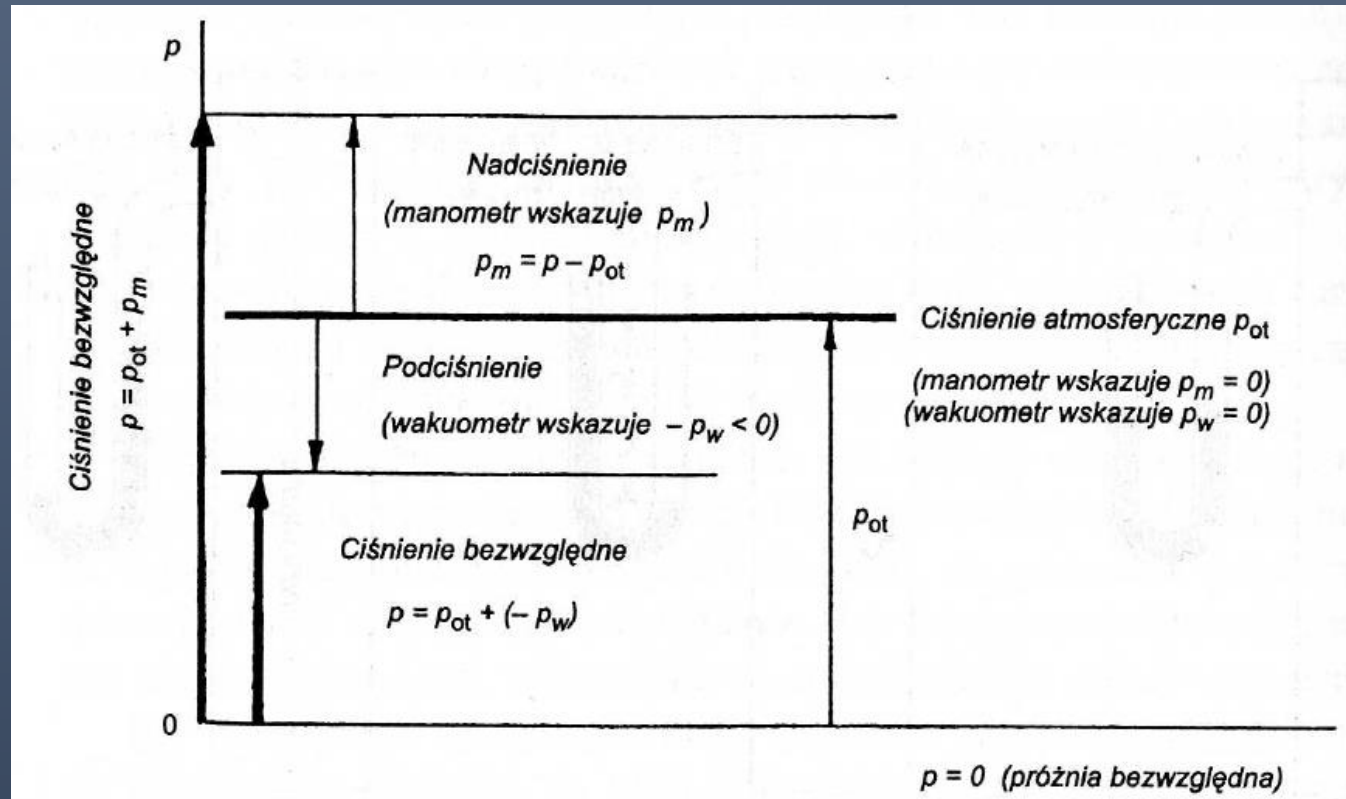
$$\frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2} = 1 \text{ Pa}$$

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

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

	Pa	hPa (mbar)	kPa	bar	MPa	at (kG/cm ²)	mm Hg (Torr)	mm WS	psi
Pa	1	0,01	0,001	0,00001	0,000001	0,0000102	0,0075	0,10197	0,000145
hPa	100	1	0,1	0,001	0,0001	0,00102	0,75006	10,1972	0,014504
kPa	1000	10	1	0,01	0,001	0,010197	7,50064	101,972	0,145038
bar	100000	1000	100	1	0,1	1,0197	750,0638	10197,204	14,504
MPa	1000000	10000	1000	10	1	10,19716	7500,638	101972,04	145,0377
at	98066,5	980,665	98,0665	0,980665	0,0980665	1	735,561	10000,04	14,22
mm Hg	133,322	1,33322	0,133322	0,001333	0,000133	0,0013595	1	13,5951	0,019337
mm WS	9,80665	0,098066	0,009807	0,000098	0,0000098	0,0001	0,073556	1	0,001422
psi	6894,757	68,94757	6,894757	0,068948	0,006895	0,07031	51,715	703,1	1

- Ciśnienie bezwzględne = ciśnienie barometryczne - podciśnienie
- Ciśnienie bezwzględne = ciśnienie barometryczne + nadciśnienie
- Próżnia jest to pusta przestrzeń



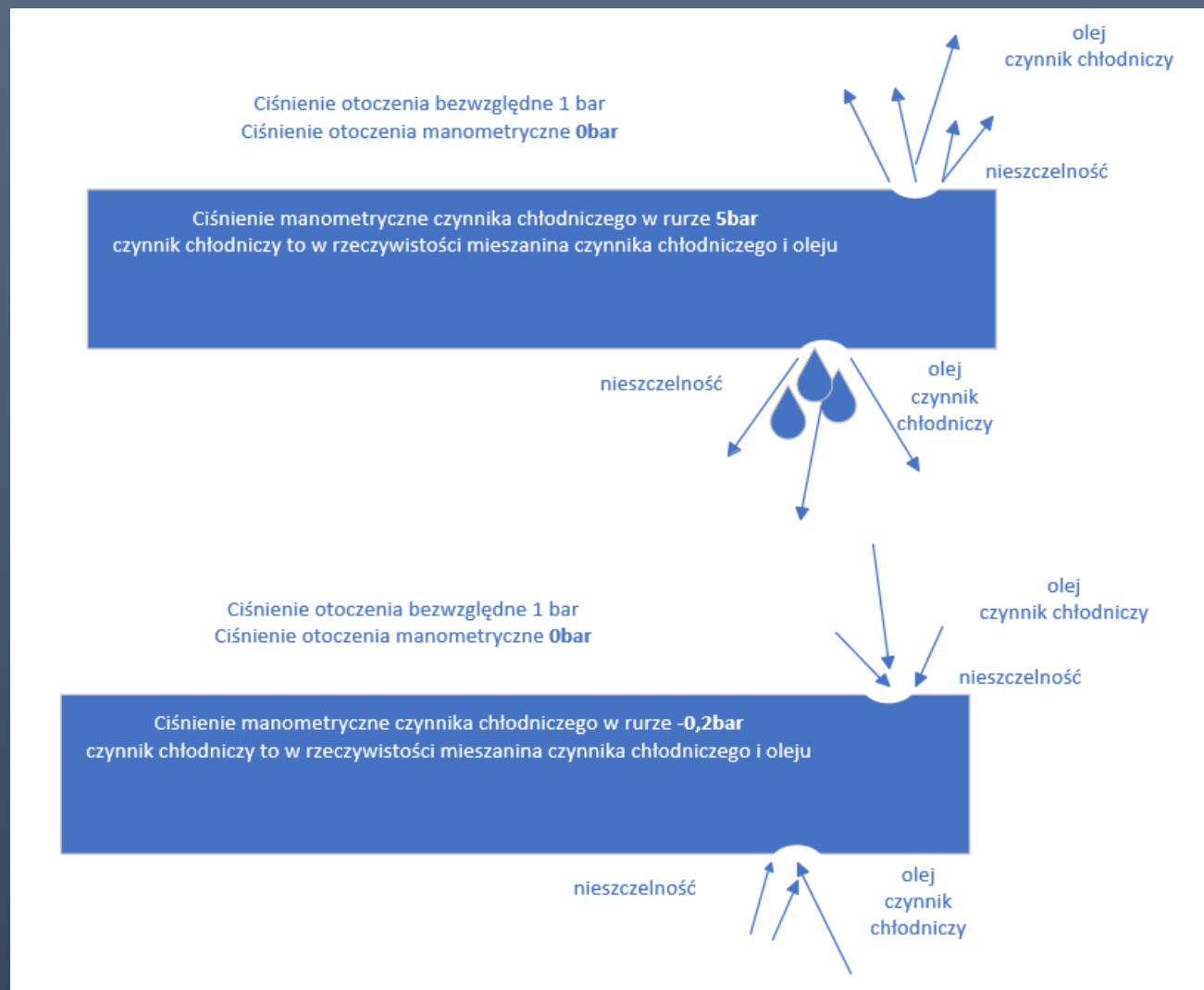
Głębokości próżni

próżnia niska	300 ... 1 mbar
próżnia średnia	1 ... 10-3 mbar
próżnia wysoka	10-3 ... 10-7 mbar
próżnia bardzo wysoka	10-7 ... 10-12 mbar
próżnia ekstremalnie wysoka	10-12 ... 10-14 mbar
przestrzeń kosmiczna	10-7 ... 10-16 mbar
próżnia absolutna (doskonała)	0 mbar

Wakuometr



Wizualizacja nieszczelności na instalacji chłodniczej przy nadciśnieniu i przy podciśnieniu



- **Gęstość** (właściwa), jednostką jest kg/m^3 . Jest odwrotnością objętości właściwej, której jednostką jest m^3/kg .

Wzór na gęstość

$$\rho = 1/v$$

Pierwiastek	Gęstość kg/m^3
Aluminium	2 700
Miedź	8 930
Nikiel	8 900
Ołów	11 340
Siarka (jednoskośna)	1 960

Nazwa produktu	Gęstość kg/dm^3
Wołowina i wieprzowina pozbawione tłuszczu	1,070
Ryby	1,010
Tłuszcz wieprzowy (surowy)	0,850
Kości	1,140
Mleko pełne	1,028–1,030

własność	jednostka	własności fizyczne
skład	% wag.	R 134a – 100%
masa cząsteczkowa	g/mol	102,02
normalna temperatura wrzenia (1,013 bar)	°C	-26,1
temperatura zamarzania	°C	-101
temperatura krytyczna	°C	101,1
ciśnienie krytyczne	bar	40,6
gęstość krytyczna	kg/m^3	515,3
gęstość cieczy w 25°C	kg/m^3	1 206
gęstość pary nasyconej w - 15°C	kg/m^3	8,288

Własności termodynamiczne substancji: ciepło właściwe, entalpia właściwa i entropia właściwa

ciepło właściwe — jest ilością ciepła, które należy dostarczyć do jednostki masy ciała, aby zwiększyć jego temperaturę o 1 K. Jego jednostką jest [J/(kg·K)]. Najbardziej charakterystyczne ciepła właściwe to: *ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu* c_p oraz *ciepło właściwe przy stałej objętości* c_v

entalpia właściwa h — jest wielkością, którą można w pewnym uproszczeniu interpretować jako „zawartość energetyczną” danego ciała. Jej jednostką jest [J/kg]. Entalpię można również zdefiniować jako energię wewnętrzną u wraz z pracą, którą wykonuje czynnik, zapelniając przestrzeń o objętości jednostkowej v , w której panuje ciśnienie p , czyli: $h = u + p v$. Można wykazać, że entalpię wylicza się także z następującej zależności

$$h = c_p (T - T_0)$$

gdzie: T — temperatura czynnika, T_0 — temperatura odniesienia.

- Entalpia i entropia jest wielkością ekstensywną (obszerną, rozciągłą, rozległą, obfitą ilościowo, nieintensywną)
- Entalpia to wielkość fizyczna, oznaczenie I, H; jednostka [J], [kJ]
- Entalpia to zawartość ciepła w określonych parametrach ciśnienia i temperatury danej substancji
- Entalpia to funkcja stanu termodynamicznego, mająca wymiar energii.
Wszystkie wielkości definiujące entalpię są parametrami stanu
- **Entalpia właściwa to zawartość ciepła w jednym kilogramie w określonych parametrach ciśnienia i temperatury. Oznaczamy i, h; jednostka [kJ/kg]**
- Sens fizyczny entalpii $H=U+pV$

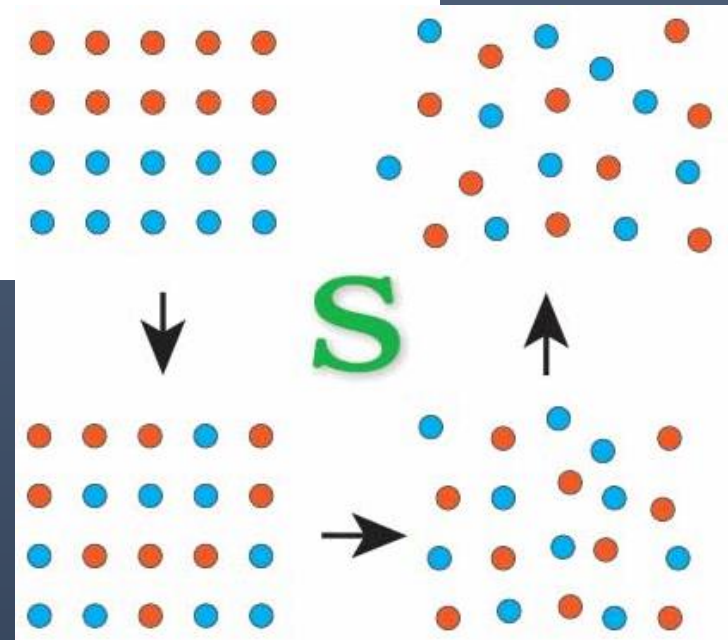
gdzie: H – entalpia układu, U – energia wewnętrzna układu, p – ciśnienie, V – objętość

- Wyróżniamy entalpię:
 - parowania,
 - topnienia,
 - skraplania,
 - krzepnięcia,
 - jonizacji (pierwsza, druga...),
 - wiązania (dysocjacja),
 - itd.
- W chłodnictwie interesują nas entalpie parowania, skraplania (i topnienia).
- W codziennej pracy zawodowej technika pojęcie entalpii nie jest używane.

entropia właściwa s — jest wielkością termodynamiczną, charakteryzującą odwracalność procesów termodynamicznych. Mierzy się ją w $[J/(kg \cdot K)]$.

szystkie zjawiska nieodwracalne wiążą się ze stratami pracy oraz ze wzrostem entropii. Entropia jest funkcją termodynamiczną, która w układach adiabatycznych (bez wymiany ciepła z otoczeniem) podczas przemian odwracalnych nie zmienia się, natomiast podczas przemian nieodwracalnych rośnie, aż do osiągnięcia maksimum w stanie równowagi. Jeżeli do czynnika o temperaturze T jest dostarczane ciepło w ilości dQ w sposób odwracalny, to następuje zmiana wartości entropii ds według relacji

$$ds = \frac{dQ}{T}$$



- Entropia (właściwa) to wielkość fizyczna, oznaczenie s , jednostka [kJ/(kgK)]
- Entropia jest miarą nieporządku
- Entropia zawsze wzrasta z czasem.
- Entropia zamkniętego systemu nigdy się nie zmniejsza.
- Zaburzenie (entropia) zawsze się zwiększa.
- Bez wysiłku, życie ma tendencję do utraty porządku. Entropia jest bezlitosna.
- Wszechświat naturalnie przesuwają się w kierunku nieładu, dlatego jednak musisz zużywać energię, aby stworzyć stabilność, strukturę i prostotę. Skuteczne relacje wymagają uważności, opieki i troski.
- Przykład: entropia rury miedzianej jest mniejsza niż entropia wódki, a ta jest mniejsza niż entropia powietrza (w postaci gazu)

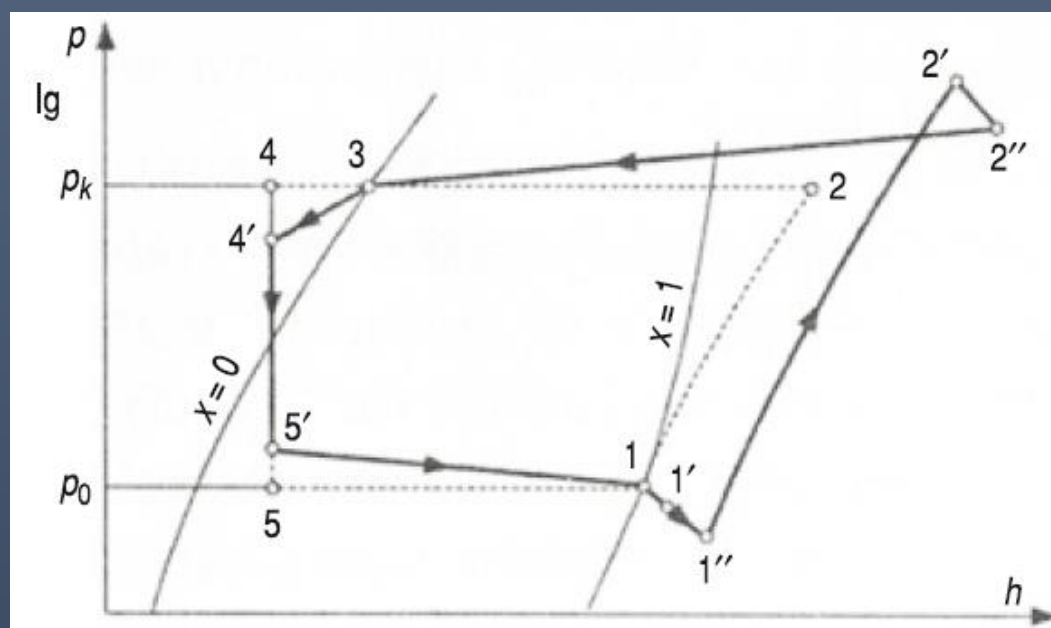
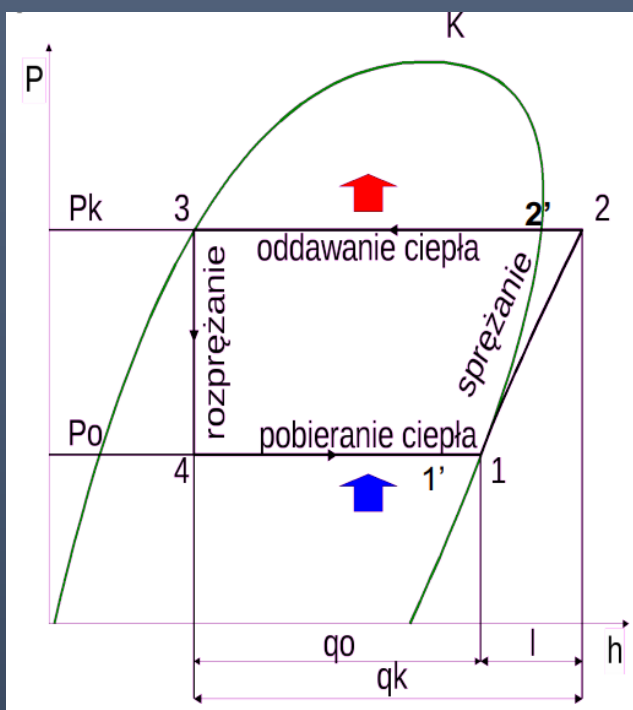
$$S_{\text{ciało stałe}} < S_{\text{ciecz}} < S_{\text{gaz}}$$



- Entropia określa kierunek przebiegu procesów spontanicznych (samorzutnych) w odosobnionym układzie termodynamicznym
- Entropia jest miarą stopnia nieuporządkowania układu i miarą rozproszenia energii
- Zgodnie z drugą zasadą termodynamiki, jeżeli układ termodynamiczny przechodzi od jednego stanu równowagi do drugiego, bez udziału czynników zewnętrznych (a więc spontanicznie), to jego entropia zawsze rośnie.
- Zmiana entropii w chłodnictwie dzieli przemiany termodynamiczne na odwracalne i nieodwracalne. Odwracalne są idealne i nie występują w przyrodzie, nieodwracalne przemiany są rzeczywiste i występują w przyrodzie.
- W przyrodzie występują przemiany termodynamiczne rzeczywiste (nie doskonałe), stąd dążą do nieporządku.
- Zmiana entropii w elemencie objętości przy (nieskończenie małej) zmianie stanu jest równa stosunkowi zmiany zawartości ciepła do temperatury:

$$\Delta S = \int \frac{dQ}{T}.$$

Porównanie obiegu rzeczywistego z teoretycznym jednostopniowego układu sprężarkowego z uwzględnieniem entropii (czyli co rzeczywistość - entropia - zrobiła z obiegiem teoretycznym)



- 1-1' przegrzew pary w przewodzie ssawnym sprężarki,
- 1-1'' przegrzew oraz spadek ciśnienia w króćcu i zaworze ssawnym sprężarki,
- 1''-2' sprężanie politropowe,
- 2'-2'' przemiana w zaworze i króćcu tłocznym,
- 2''-3 skraplanie,
- 3-4' dochłodzenie,
- 4'-5 dławienie,
- 5'-1 parowanie.

Rys. 1. Porównanie obiegu rzeczywistego z obiegiem teoretycznym [2]

Ciepło

- Ciepło to ta część energii wewnętrznej, która samorzutnie przechodzi od ciała cieplejszego do chłodniejszego. Energia może być przekazywana dzięki bezpośrednim oddziaływaniom międzycząsteczkowym, np. w trakcie zderzeń. Energia przekazana na tej drodze układowi lub otoczeniu nazywa się ciepłem.
- Ciepło może być przekazywane z układu do otoczenia albo w przeciwnym kierunku tylko wtedy, gdy między układem i otoczeniem istnieje różnica temperatur. Przepływ ciepła powoduje zmianę parametrów stanu układu. Ciepło jest parametrem procesu – nie jest parametrem stanu.
- Przekazywanie ciepła wiąże się z faktem, że zderzenia cząsteczek ciała cieplejszego (szybciej się poruszających) z cząsteczkami ciała chłodniejszego (wolniejszych), powodują wymianę energii i pędów pomiędzy nimi, dlatego cząsteczki wolniejsze są przyspieszane a szybsze spowalniane.
- W wyniku przekazu ciepła dochodzi najczęściej do wyrównywania temperatur - ciało cieplejsze (oddające ciepło) ochładza się, a ciało chłodniejsze ogrzewa.
- Oznaczamy literą Q .

- Ciepło może być jawne lub utajone.
- Kiedy jakiś obiekt jest ogrzewany, jego temperatura wzrasta w miarę dodawania ciepła. Ten wzrost ciepła jest określany jako ciepło jawne. Podobnie, kiedy ciepło jest odbierane z jakiegoś obiektu i jego temperatura spada, to usunięte ciepło jest również zwane ciepłem jawnym. Ciepło, które powoduje zmianę temperatury obiektu jest nazywane **ciepłem jawnym**.
- Wszystkie czyste substancje w przyrodzie są w stanie zmienić stan skupienia. Ciała stałe mogą stać się cieczami (lód na wodę), a ciecze mogą stać się gazami (woda na parę), lecz takie zmiany wymagają dodawania lub usuwania ciepła. Ciepło powodujące te zmiany jest nazywane **ciepłem utajonym**.
- Jednak ciepło utajone nie wpływa na temperaturę substancji - na przykład, temperatura gotującej się wody utrzymuje się na poziomie 100°C. Ciepło dodawane w celu utrzymania wrzenia wody jest ciepłem utajonym. Ciepło powodujące zmianę stanu skupienia bez zmiany temperatury jest określane mianem ciepła utajonego.

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

c – ciepło właściwe J/(kgK)

m – masa, kg

ΔT – różnica temperatur, K

$$Q = m \cdot (i_2 - i_1)$$

i_1, i_2 – entalpia właściwa w pkt 1 i 2, J/kg

m – masa, kg

Energia

- Jest to wielkość fizyczna charakteryzująca stan układu fizycznego jako jego zdolność do wykonania pracy.
- **Energia może zmieniać swoją postać, jednak nie może być tworzona ani niszczone – zasada zachowania energii.**
- Występuje w różnych postaciach: cieplna, jądrowa, kinetyczna, potencjalna, sprężystości, elektryczna, chemiczna, magnetyczna.
- W zależności od formy będą różne wzory dla danej formy energii.
- Energię we wzorach fizycznych zapisuje się najczęściej za pomocą symbolu E .
- Jednostką energii jest dżul, 1J.
- ENERGIA CIEPLNA=CIEPŁO

Moc

- Moc to wielkość fizyczna określająca wykonaną pracę w jednostce czasu
- Jednostka mocy jest wat, W
$$W = \frac{J}{s} = \frac{kg \cdot m^2}{s^3}$$
- Moc chłodnicza to wydajność chłodnicza, oznaczamy \dot{Q}_0
- Moc grzewcza, moc cieplna, wydajność grzewcza, skraplacza \dot{Q}_g
- Moc elektryczna (czynna) jest oznaczana jako P, P_{el} .

Marian Rubik „Chłodnictwo i pompy ciepła”
Tadeusz Fodemski „Domowe i handlowe urządzenia chłodnicze”
Ullrich Hans-Jurgen, „Technika chłodnicza. Poradnik.” Tom 1 i 2.
Ullrich Hans-Jurgen, „Technika klimatyzacyjna”
Andrzej Wesolowski „Automatyzacja urządzeń chłodniczych”
S. A. Andersen „Automatyczne urządzenia chłodnicze”
Zygmunt Starowicz „Poradnik monterów chłodniczego”
Wojciech Zalewski „Pompy ciepła”
Krzysztof Kaiser Technik Chłodnictwa i Klimatyzacji oraz Pompy Ciepła
Wydawnictwo WNT „Pomiary cieplne, część 1 i 2”
Aleksander Pelech „Wentylacja i klimatyzacja”
Wytyczne projektowania i stosowania instalacji z rur miedzianych, Wymagania techniczne
COBRTI INSTAL, Zeszyt 10
Recknagel, Sprenger, Schramek „Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda, chłodnictwo”
Haynes „Auto Poradnik Klimatyzacja”
Konrad Kalinowski „Amoniakalne urządzenia chłodnicze” tom 1 i 2
Anna Charkowska „Zanieczyszczenia w instalacjach klimatyzacyjnych i metody ich usuwania”
Bolesław Gaziński „Przechowalnictwo żywności”
Kazimierz Gutkowski, Dariusz Butrymowicz „Chłodnictwo i klimatyzacja”
Józef Lisowski „Podstawy automatyki”
i wiele innych



Dziękuję za uwagę.