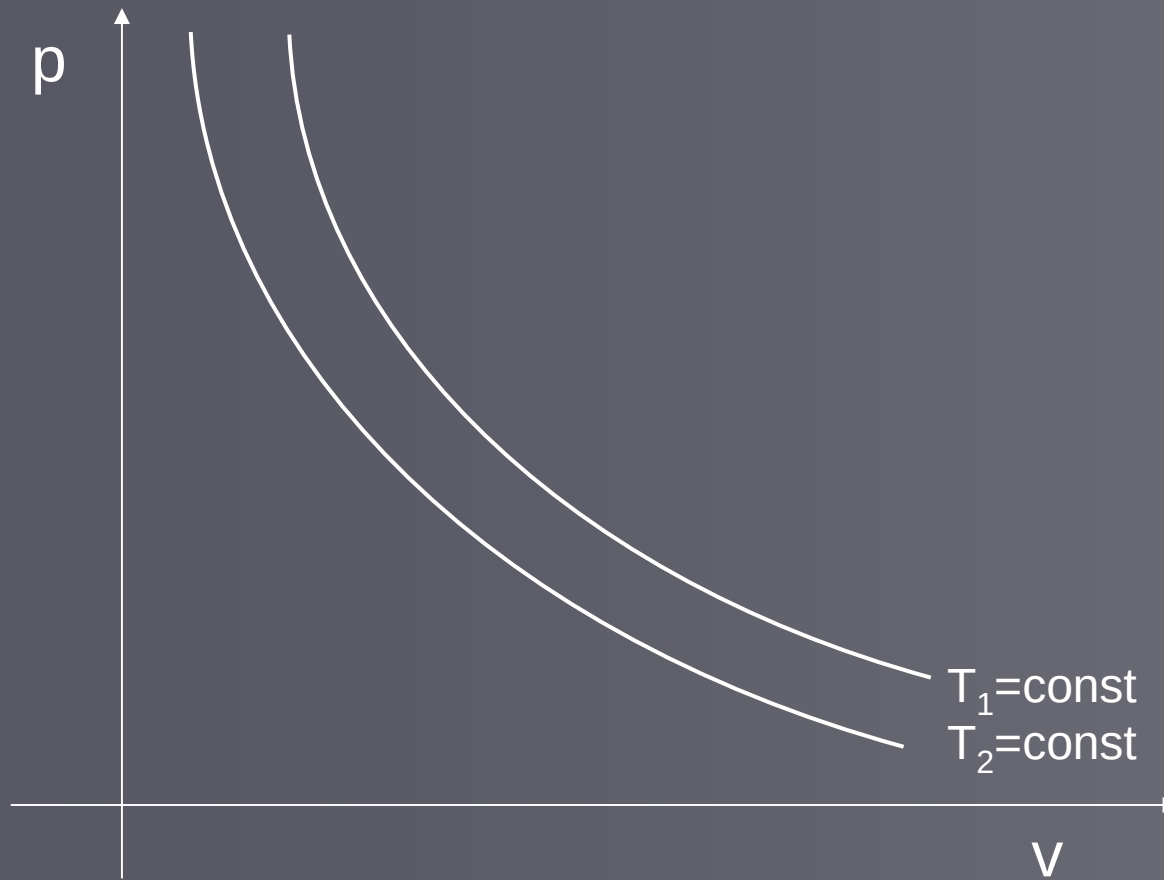


Para

- Równanie Van der Waalsa
- Temperatura krytyczna
- Stopień suchości
- Przemiany pary

Para



Para

- Oddziaływanie międzycząsteczkowe jest odwrotnie proporcjonalne do odległości (liczonej od środka) między cząstkami
- Przy skończonych rozmiarach cząstek (objętość cząstki) wartość oddziaływania także będzie skończona
- Dla odpowiednio dużej energii kinetycznej cząstek (temperatura) sił przyciągania międzycząsteczkowego nie będą miały wpływu na zachowanie cząstek

Para

Uwzględnienie tych poprawek zmienia
równanie stanu gazu doskonałego w
równanie Van der Waalsa

$$p \rightarrow p + \frac{a}{v^2}$$

$$v \rightarrow v - b$$

$$\left(p + \frac{a}{v^2} \right) \cdot (v - b) = R \cdot T$$

Para

Równanie Van der Waalsa

$$\left(p + \frac{a}{v^2} \right) \cdot (v - b) = R \cdot T$$

$$p = \frac{R \cdot T}{v - b} - \frac{a}{v^2}$$

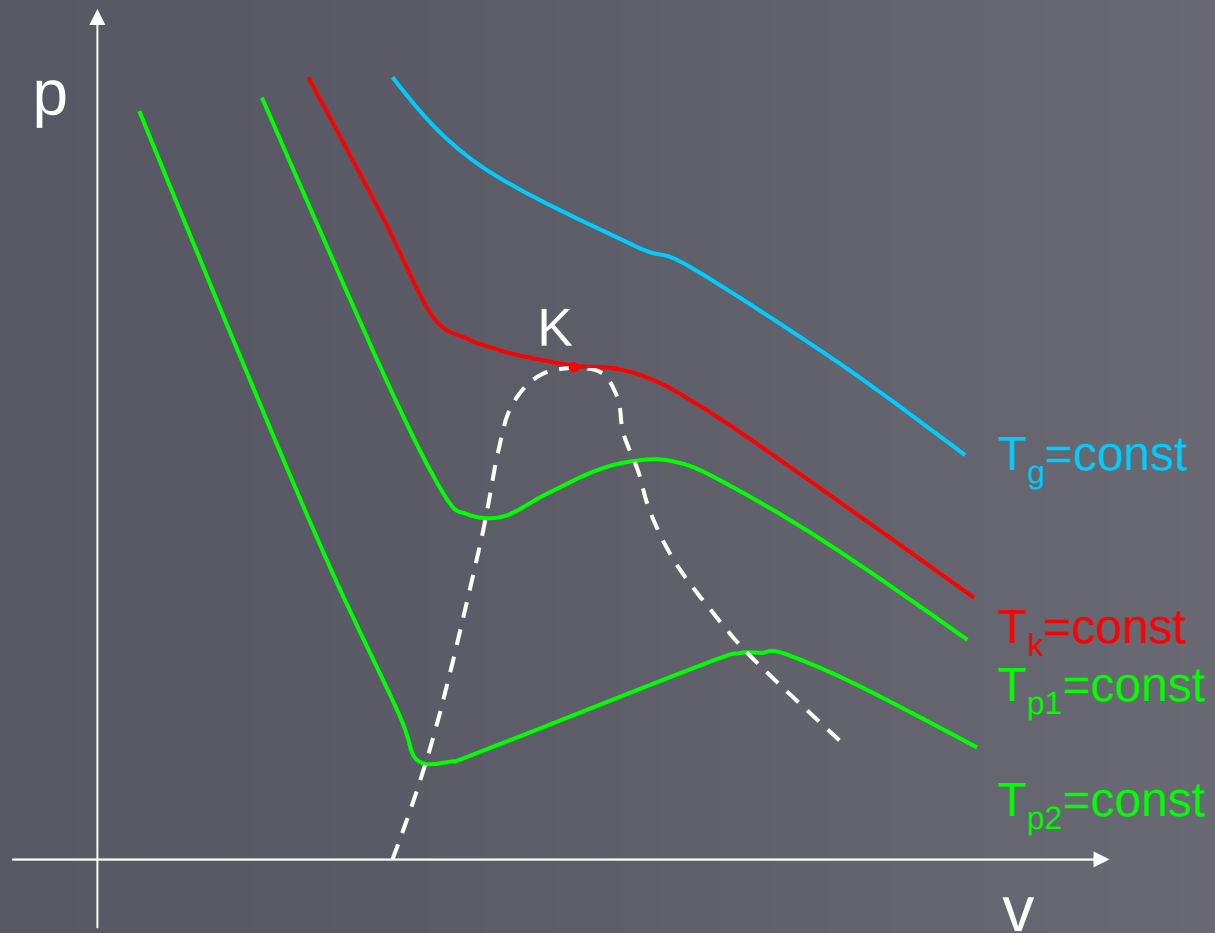
Para

- Istnieje pewna temperatura, poniżej której siły przyciągania międzycząsteczkowego mogą związać ze sobą cząstki (ciecz)
- Powyżej tej temperatury mamy do czynienia z gazem

Para

Izoterma dla tej temperatury nazywana izotermą krytyczną. Izoterma krytyczna (linia czerwona) ma punkt przegięcia i nie ma maksimum i minimum

Para



Para

Punkt przegięcia
izotermy
krytycznej
nazywany
punktem
krytycznym (K)

$$v_k = 3 \bullet b$$

$$p_k = \frac{a}{27 \bullet b^2}$$

$$T_k = \frac{8 \bullet a}{27 \bullet b \bullet R}$$

Para

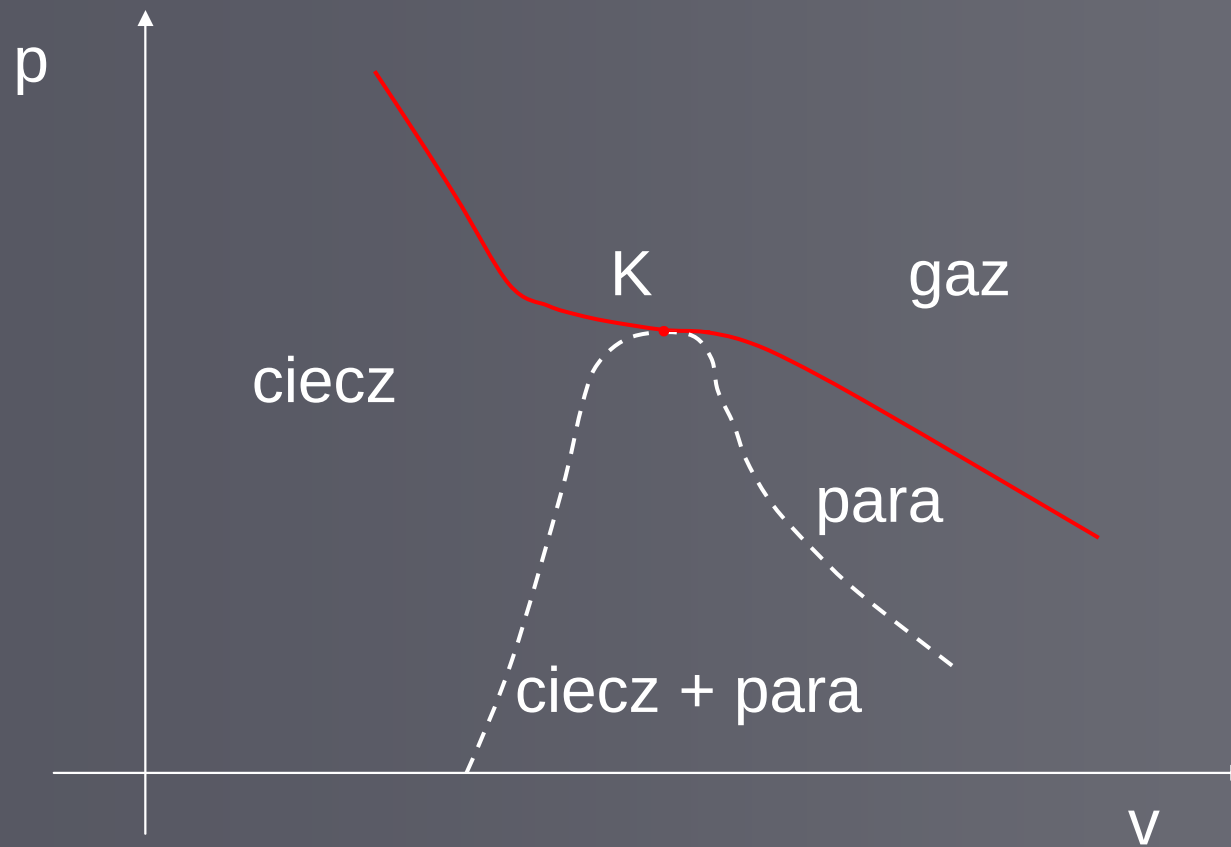
Maksima i minima dotyczą izoterm o temperaturze niższej od temperatury krytycznej. Tworzą one linie, nazywane krzywymi granicznymi (linia przerywana). Obie krzywe graniczne (minimów i maksimów) łączą się w punkcie krytycznym

Para

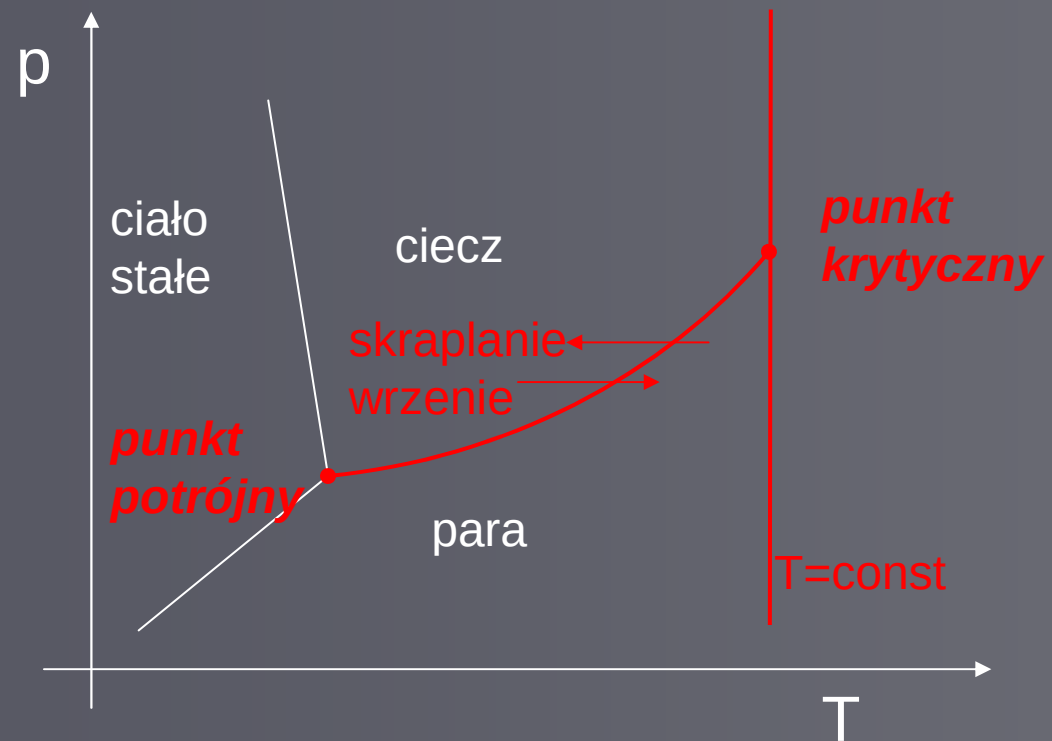
Izoterma krytyczna i krzywe graniczne dzielą wykres na cztery obszary:

- - gaz – przejść w obszar cieczy niemożliwe bez obniżenia temperatury
- - para – przejście w obszar cieczy możliwe przez zwiększenie ciśnienia (sprężenie)
- - ciecz + para – współistnienie obu stanów
- - ciecz – energia kinetyczna cząstek nie wystarcza do swobodnego ruchu cząstek

Para



Para



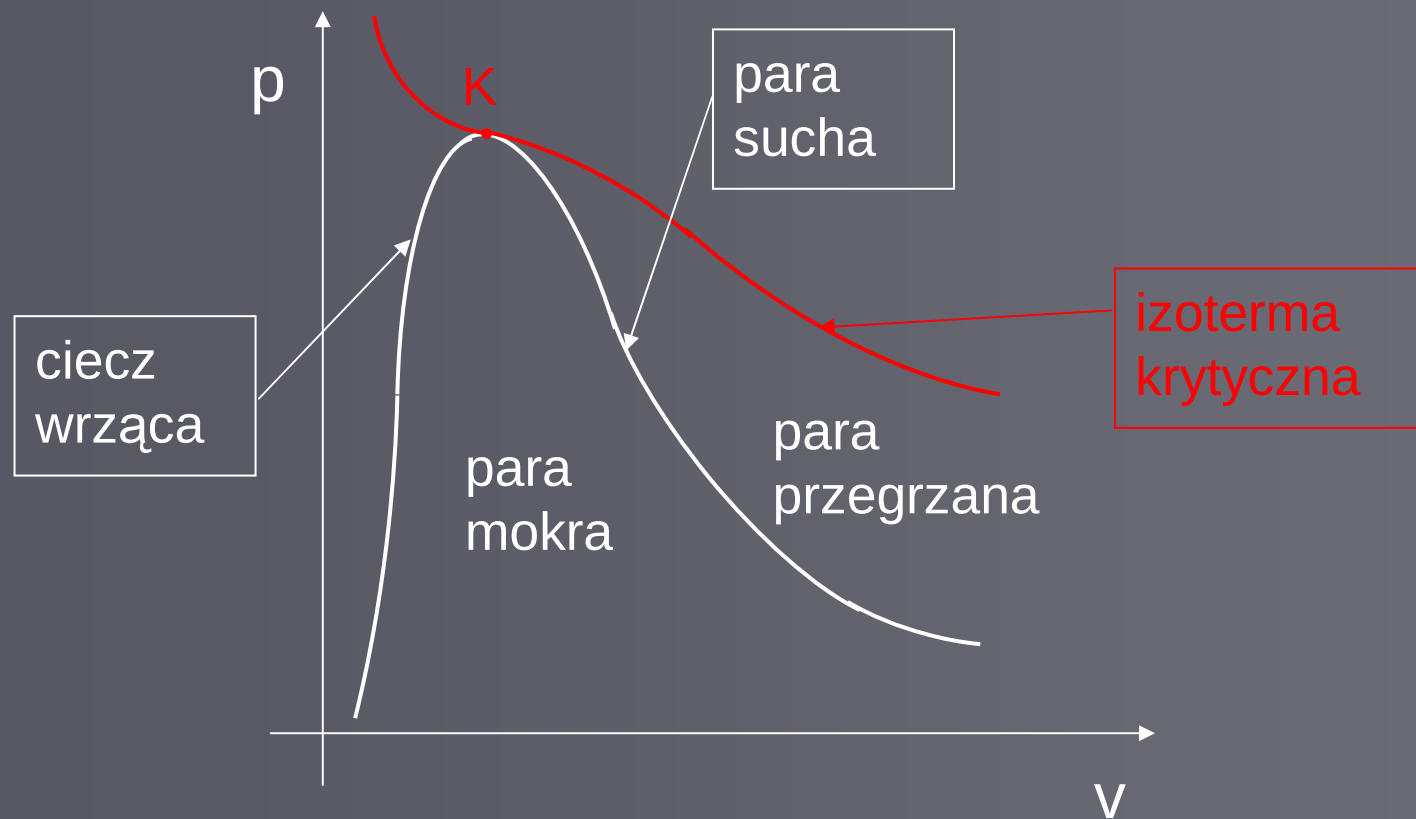
Para

- Linia wrzenie-skraplanie nie jest przemianą termodynamiczną
- Linia ta określa zakres temperatur i ciśnień, dla których można przeprowadzić proces wrzenia lub skraplania
- Wzrost ciśnienia wywołuje wzrost temperatury wrzenia i odwrotnie

Para

- Wrzenie-skraplanie jako przemiana termodynamiczna jest izobarycznym i izotermicznym procesem wymiany ciepła
- Parametrami ulegającymi zmianie w procesie wrzenie-skraplanie są: objętość, entalpia, entropia i energia wewnętrzna

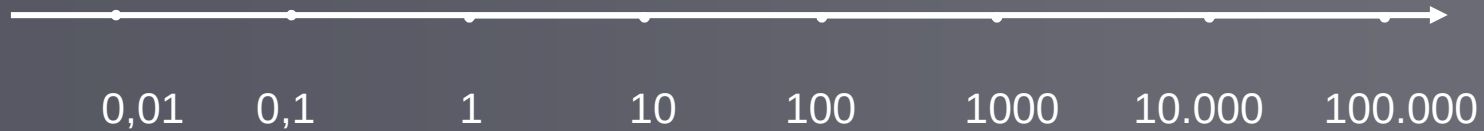
Para



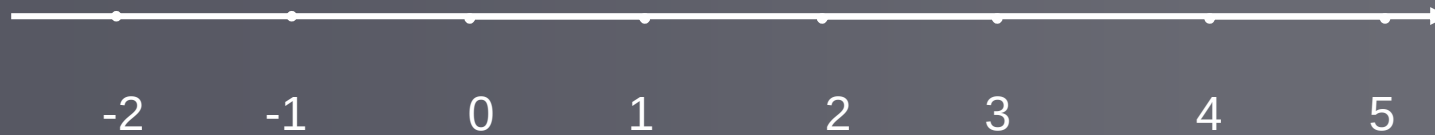
w8

Para

Termodynamika techniczna



skala
logarytmiczna

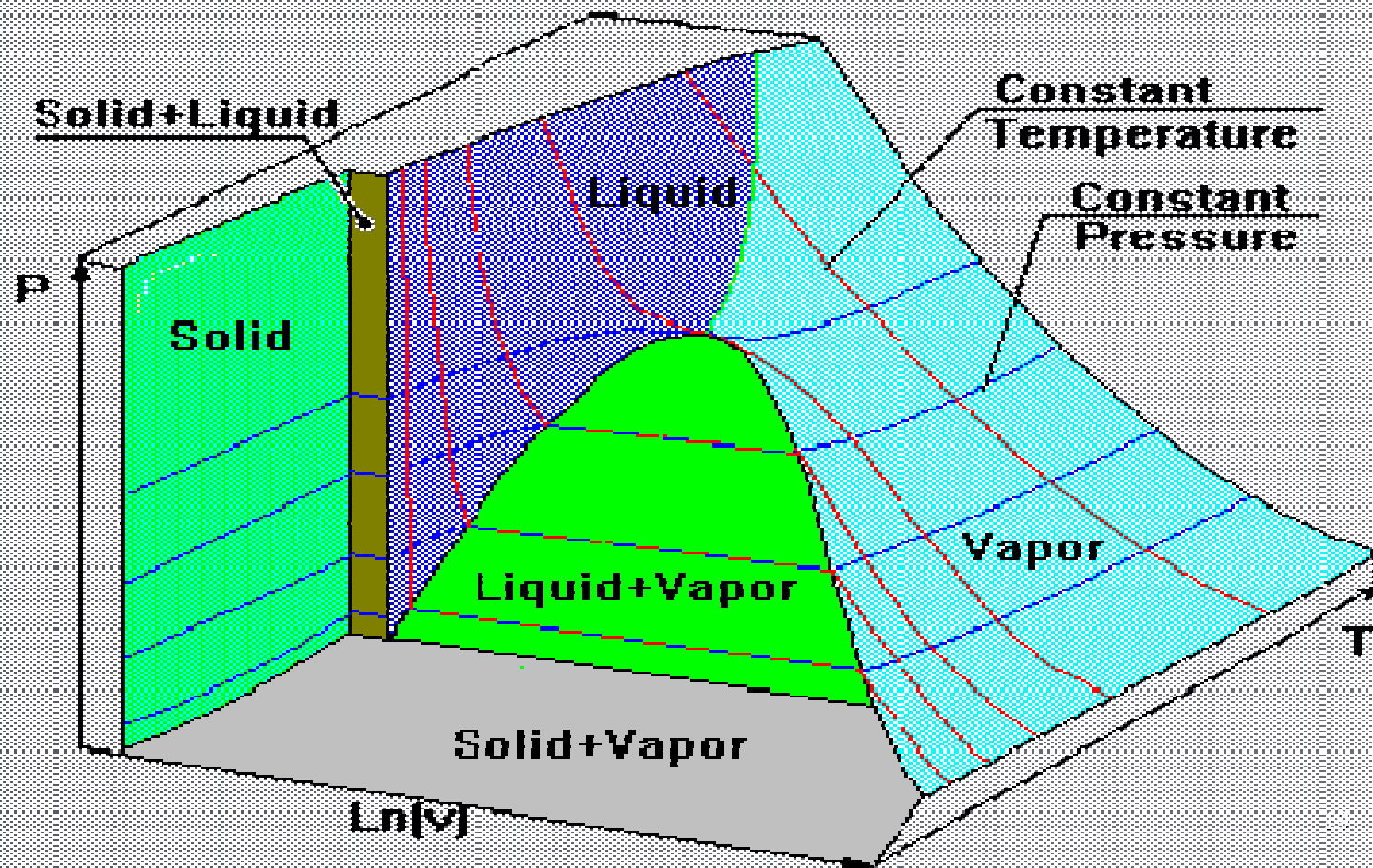


skala liniowa

Para

- - dolna krzywa graniczna jest to linia występowania cieczy wrzącej.
- - górna krzywa graniczna jest to linia występowania pary suchej.
- - dolna krzywa graniczna i górna krzywa graniczna łączą się w punkcie krytycznym.

Para



Para

- - para nasycona jest to para o temperaturze wrzenia (przy danym ciśnieniu).
- - ciecz wrząca jest to ciecz o temperaturze wrzenia (przy danym ciśnieniu).
- - para nasycona sucha (para sucha) jest para nasycona nie zawierająca cieczy.
- - para nasycona mokra (para mokra) jest to mieszanina pary suchej i cieczy wrzącej.
- - para przegrzana jest to para o temperaturze wyższej od temperatury wrzenia.

Para

- Podczas przemiany fazowej wrzenie-skraplanie objętość jest trudnym do pomiaru parametrem termodynamicznym
- Stan zawansowania przemiany fazowej dla procesu wrzenie-skraplanie określamy przy pomocy stopnia suchości pary x

Para

$$X = \frac{m''}{m'' + m'}$$

indeks ('' – bis) para sucha

indeks (' – prim) ciecz wrząca

Para

- ciecz wrząca $x = 0$
- para mokra $0 < x < 1$
- para sucha $x = 1$

Para

$$v = v_{cieczy} + v_{pary}$$

$$v_{cieczy} = v' \cdot (1 - x)$$

$$v_{pary} = v'' \cdot x$$

$$v = v' \cdot (1 - x) + v'' \cdot x = x \cdot (v'' - v') + v'$$

Para

Termodynamika techniczna

$$i = x \bullet (i'' - i') + i' = x \bullet r + i'$$

$$s = x \bullet (s'' - s' + s') = x \bullet \frac{r}{T} + s'$$

$$u = x \bullet (u'' - u') + u'$$

Para

Wartości i'' , i' , r , s'' , s'
są podawane w tabelach w
zależności ciśnienia i temperatury
wrzenia

Para

Tablice podają następujące parametry w układzie uporządkowanie według ciśnienia (temperatura jest parametrem wtórnym) lub uporządkowanie według temperatury (ciśnienie jest parametrem wtórnym):

- - objętość właściwa cieczy v'
- - objętość właściwa pary v''
- - entalpia właściwa cieczy i'
- - entalpia właściwa pary i''
- - entalpia parowania (ciepło parowania) r
- - entropia właściwa cieczy s'
- - entropia właściwa pary s''

Para

Termodynamika techniczna

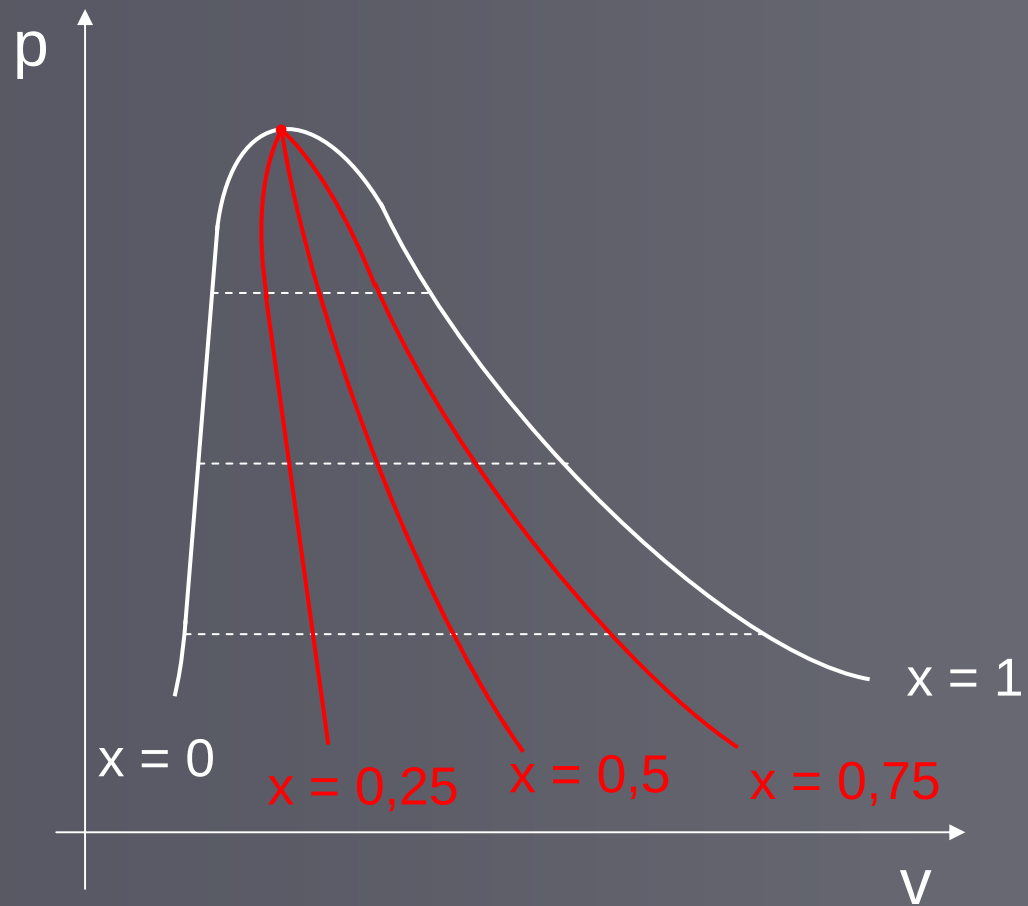
Ciśnienie p	Temperatura T	Objętość właściwa		Entalpia właściwa		Entalpia Parowania r	Entropia właściwa	
		cieczy v'	pary v''	cieczy i'	pary i''		cieczy s'	pary s''
MPa	K	m ³ /kg		kJ/kg			kJ/(kg*K)	
0,001	280,132	0,001	129,208	29,33	2513,8	2484,5	0,106	8,9756
0,0015	286,184	0,001001	87,982	54,71	2525	2470,3	0,1956	8,8278
0,002	290,661	0,001001	67,006	73,45	2533,2	2459,8	0,2606	8,7236
0,003	297,248	0,001003	45,668	101	2545,2	2444,2	0,3543	8,5776
0,004	302,131	0,001004	34,803	121,41	2554,1	2432,7	0,4224	8,4747
0,005	306,05	0,001005	28,196	137,77	2561,2	2423,4	0,4762	8,3952
0,006	309,33	0,001006	23,742	151,5	2567,1	2415,6	0,5209	8,3305
0,008	314,68	0,001008	18,06	173,87	2576,7	2402,8	0,5926	8,2289
0,01	318,98	0,00101	14,676	191,84	2584,4	2392,6	0,6493	8,1505
0,012	322,6	0,001012	12,364	206,94	2590,9	2384	0,6963	8,0867
0,015	327,15	0,001014	10,025	225,98	2598,9	2372,9	0,7549	8,0089
0,02	333,24	0,001012	7,6515	251,46	2609,6	2358,1	0,8321	7,9092
0,025	338,14	0,00102	6,206	271,99	2618,1	2346,1	0,8932	7,8321
0,03	342,27	0,001022	5,2308	289,31	2625,3	2336	0,9441	7,7693
0,04	349,04	0,001027	3,9949	317,65	2636,8	2319,2	1,0261	7,6711

Para

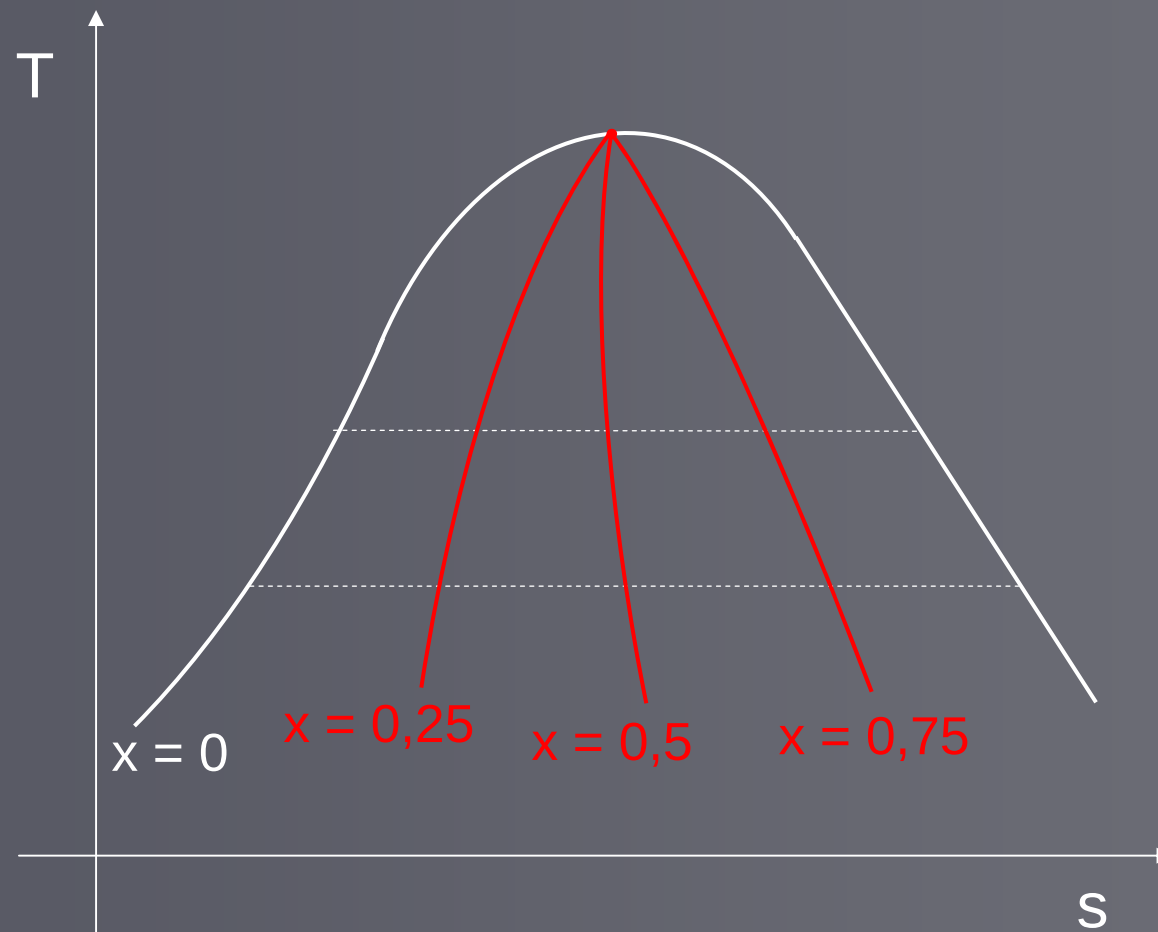
Podstawowymi wykresami pary mokrej są:

- - wykres $p - v$
- - wykres $T - s$

Para



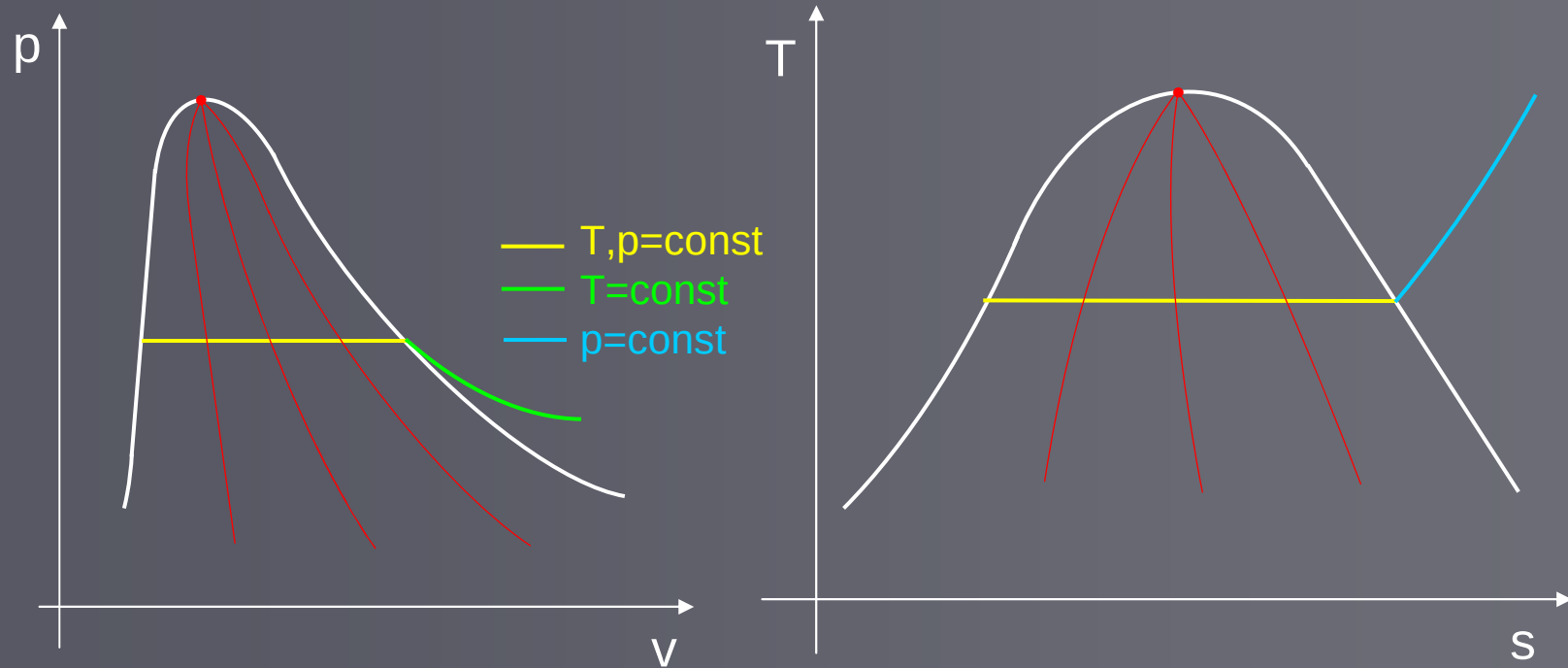
Para



Para

Przemiana pary może odbywać się w zakresie pary mokrej i pary przegrzanej. Jeśli para podczas przemiany przekracza temperaturę krytyczną, to staje się gazem. Nie to wpływu na przebieg przemiany

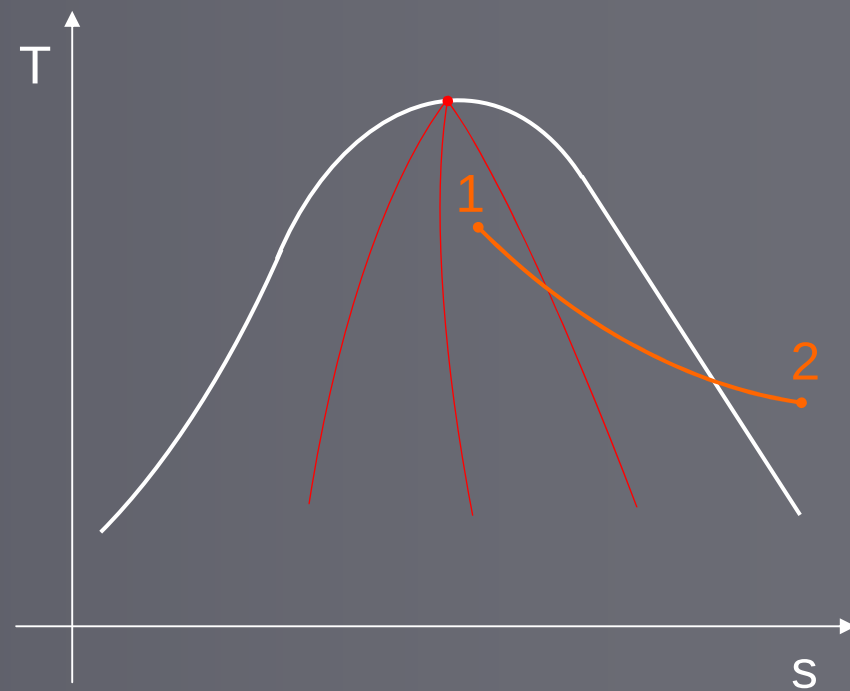
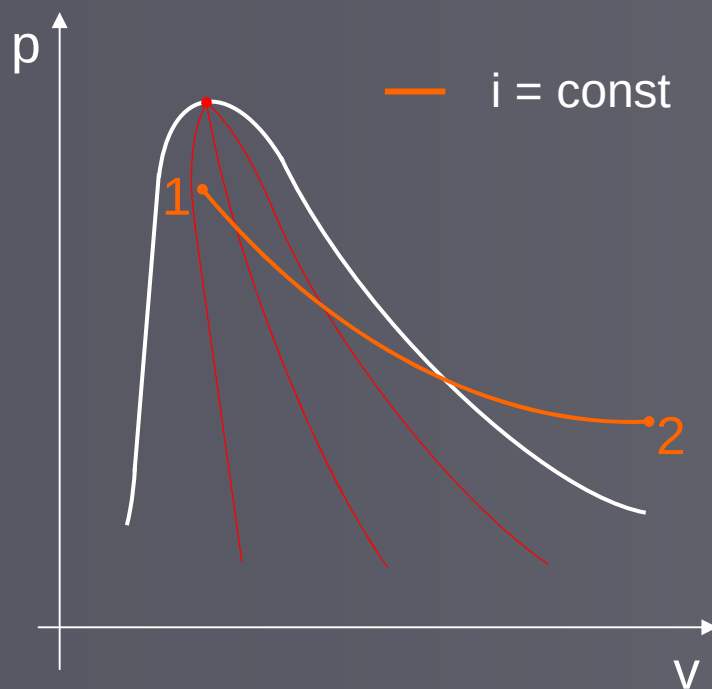
Para



Para

- W obszarze pary mokrej przemiana izobaryczna i przemiana izotermiczna się pokrywają
- W obszarze pary przegrzanej izoterma i izobara stanowią odrębne linie

Para



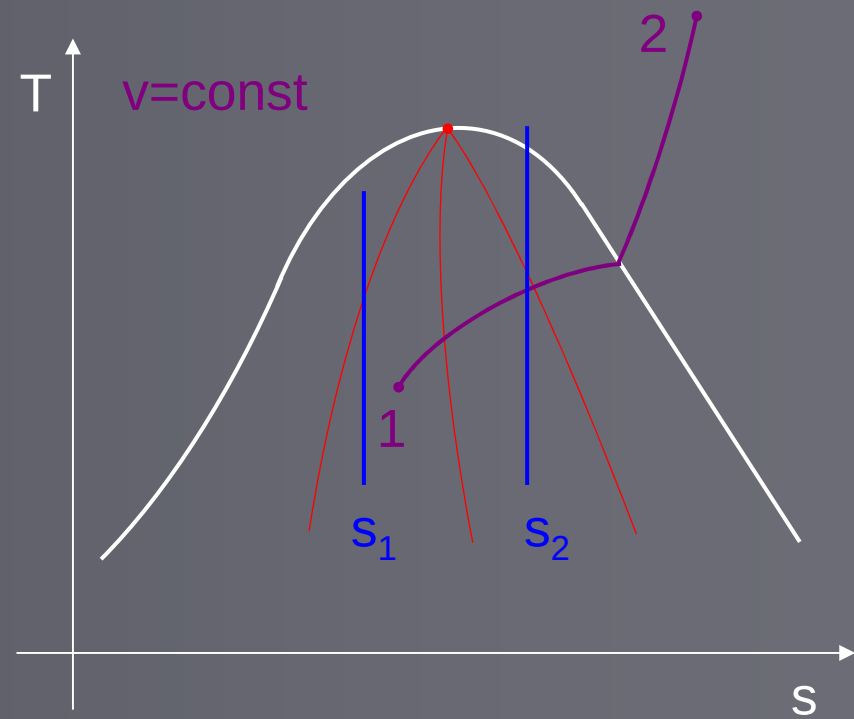
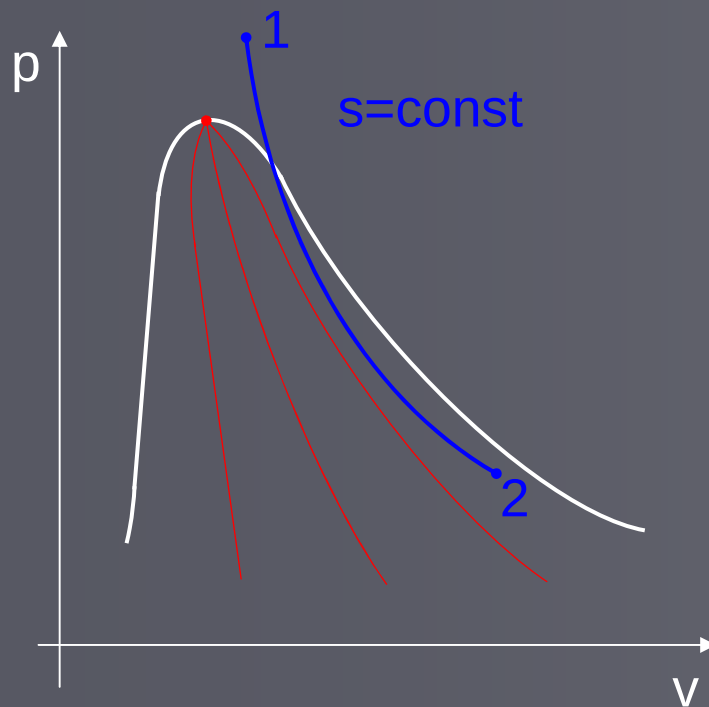
Para

- Dławienie obniża temperaturę i zwiększa stopień suchości pary
- Jeśli w wyniku dławienia stopień suchości osiągnie wartość 1, to dalsze dławienie pary przegrzewa parę

Para

- Jeśli w wyniku dławienia otrzymamy parę przegrzaną, to temperatura i ciśnienie umożliwiają wyznaczenie entalpii pary
- Pozwala to z kolei na określenie stopnia suchości pary mokrej

Para



Para

- Dla niedużych wartości stopnia suchości rozprężanie adiabatyczne zwiększa wartość stopnia suchości pary mokrej
- Dla dużych wartości stopnia suchości rozprężanie adiabatyczne obniża jego wartość
- Dla pary przegrzanej rozprężanie adiabatyczne obniża temperaturę pary i po osiągnięciu obszaru pary mokrej obniża wartość stopnia suchości.

Para

