

ZADANIA Z PODSTAW TERMODYNAMIKI

LISTA NR 1

PODSTAWOWE PRAWA I WZORY:

- 1) Równanie Clapeyrona (różne postaci):

$$p\nu = RT \quad (1)$$

$$pV = mRT \quad (2)$$

$$pV = n(MR)T \quad (3)$$

$$p\dot{V} = \dot{m}RT \quad (4)$$

$$p\dot{V} = \dot{n}(MR)T \quad (5)$$

gdzie:

p to ciśnienie absolutne, Pa,

ν objętość właściwa, m^3/kg ,

V objętość, m^3 ,

R indywidualna stała gazowa, $\text{J}/(\text{kg K})$,

(MR) uniwersalna stała gazowa $8314 \text{ J}/(\text{kmol K})$,

m masa, kg,

\dot{m} strumień masy, kg/s ,

M masa molowa, kg/kmol ,

n liczba kilomoli substancji, kmol ,

\dot{n} strumień ilości substancji, kmol/s

T temperatura bezwzględna, K.

- 2) Objętość właściwa ν

$$\nu = \frac{V}{m} \quad (6)$$

- 3) Uniwersalna stała gazowa (MR)

$$(MR) = MR \quad (7)$$

- 4) Objętość 1 kmol dowolnego gazu w warunkach normalnych ($t_n = 0^\circ\text{C}$, $p_n = 101325 \text{ Pa}$)

$$V_n = 22,4 \text{ m}^3_n \quad (8)$$

- 5) Prawo Daltona

Ciśnienie wywierane przez mieszaninę n gazów jest równe sumie ciśnień cząstkowych (parcjalnych) jej składników. Każdy składnik mieszaniny zachowuje się tak jakby sam znajdował się w przestrzeni zajętej przez całą mieszaninę i w temperaturze mieszaniny.

$$p = \sum_{i=1}^n p_i \quad (9)$$

- 6) Udziały objętościowe

$$r_i = \frac{V_i}{V} \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n r_i = 1 \quad (11)$$

- 7) Udziały masowe

$$g_i = \frac{m_i}{m} \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n g_i = 1 \quad (13)$$

8) Udziały molowe

$$z_i = \frac{n_i}{n} \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^n z_i = 1 \quad (15)$$

Dla gazów doskonałych $z_i = r_i$.

9) Stała gazowa mieszaniny

$$R_m = \sum_{i=1}^n g_i R_i \quad (16)$$

10) Masa molowa mieszaniny

$$M_m = \sum_{i=1}^n r_i M_i \quad (17)$$

11) Zależność między masą, masą molową i liczbą kilomoli

$$m = nM \quad (18)$$

$$\dot{m} = \dot{n}M \quad (19)$$

12) Równanie ciągłości

$$\dot{m} = \rho A w \quad (20)$$

gdzie

ρ gęstość płynu, kg/m^3 ,
 A pole przekroju kanału, m^2 ,
 w prędkość przepływu płynu, m/s .

ZADANIA:

1. Ciśnienie absolutne 50 kg azotu zawartego w zbiorniku o objętości $V = 2 \text{ m}^3$ wynosi $p = 2,2 \text{ MPa}$. Do jakiej temperatury T_k można podgrzać azot, by nie zadziałał zawór bezpieczeństwa ustawiony na różnicę ciśnień $\Delta p = 6,3 \text{ MPa}$. Ciśnienie otoczenia $p_{ot} = 752 \text{ Tr}$. **Odp: do $T_k \leq 862,51 \text{ K}$.**

2. Zbiornik o objętości $V = 50 \text{ l}$ podzielono na połowę półprzepuszczalną przegrodą. W jednej części umieszczono $m_1 = 10 \text{ g}$ wodoru i $m_2 = 25 \text{ g}$ helu. Przez przegrodę dyfunduje tylko wodór. W czasie procesu temperatura gazu jest stała i wynosi $t = 220^\circ\text{F}$. Przyjmując, że gazy te można traktować jako doskonałe określić ciśnienie panujące w obydwu połówkach zbiornika. **Odp; $p_I = 313937 \text{ Pa}$, $p_{II} = 1098578 \text{ Pa}$.**

3. W zbiorniku pod ciśnieniem $p_1 = 1 \text{ MPa}$, znajduje się gaz doskonały o temperaturze $T_1 = 440 \text{ K}$. Po wypuszczeniu $\Delta n = 0,8 \text{ kmol}$ gazu, jego parametry w zbiorniku wynosiły: $p_2 = 400 \text{ kPa}$, $T_2 = 330 \text{ K}$. Jaką objętość V ma zbiornik? **Odp: $V = 6,27 \text{ m}^3$.**

4. W zbiorniku znajduje się hel He o masie $m_1 = 2$ kg i parametrach początkowych $p_{m1} = 10$ kPa (ciśnienie manometryczne), $T_1 = 300$ K. Do zbiornika doprowadzono dodatkowo pewną ilość helu, wskutek czego parametry zmieniły się na $p_{m2} = 190$ kPa, $T_2 = 400$ K. Ciśnienie otoczenia wynosi $p_{ot} = 98,5$ kPa. Obliczyć ilość kmoli n_d doprowadzonego gazu, jego masę m_d oraz objętość V zbiornika. **Odp: $n_d = 0,497$ kmol, $m_d = 1,99$ kg, $V = 11,5$ m³.**

5. Sprężarka napełnia zbiornik powietrzem w ciągu 46 min. Objętość zbiornika $V = 56$ m³, temperatura powietrza przed napełnieniem $T_1 = 258$ K, po napełnieniu $T_2 = 298$ K. Ciśnienie gazu zmienia się od barometrycznego $p_{ot} = 750$ mm Hg do $p_2 = 0,7$ MPa. Określić wydajność sprężarki w warunkach normalnych. **Odp: $\Delta n = 0,005$ kmol/s, $\Delta V_n = 0,107$ m³/s.**

6. Zbiornik o objętości $V = 10$ m³ należy napełnić powietrzem pod ciśnieniem $p_{z2} = 1,1$ MPa o temperaturze $T_{z2} = 293$ K. Do tego celu używa się sprężarki zasysającej w ciągu 1 minuty 5 m³ powietrza o parametrach $p_{ot} = 760$ mm Hg i $T_{ot} = 285$ K. Po jakim czasie Δt zbiornik zostanie napełniony, jeżeli przed napełnieniem gaz w zbiorniku miał ciśnienie $p_{z1} = 14$ psi i temperaturę $t_{z1} = 53^\circ\text{F}$. **Odp: $\tau = 1153$ s.**

7. Do zbiornika, w którym znajduje się $n_1 = 2$ kmol azotu N_2 pod ciśnieniem $p_1 = 0,2$ MPa wpuszczono $V_n = 40$ m³_n tlenu O_2 . Przyjmując, że temperatura gazów w zbiorniku nie zmieniła się, określić ciśnienie p_2 w stanie końcowym oraz skład objętościowy roztworu. **Odp: $p_2 = 378,5$ kPa, $r_{N2} = 0,528$, $r_{O2} = 0,472$.**

8. W zbiorniku znajduje się roztwór gazowy wodoru H_2 i dwutlenku węgla CO_2 o składzie masowym $g_{H2} = 0,35$ i $g_{CO2} = 0,65$ pod ciśnieniem $p_1 = 0,5$ MPa i o temperaturze $T_1 = 373$ K. Do zbiornika wtłoczono $\Delta n = 2$ kmol N_2 , co spowodowało wzrost ciśnienia o $\Delta p = 300$ kPa i temperatury o 50 K. Obliczyć masę wodoru m_1 i dwutlenku węgla m_2 , objętość V zbiornika i ciśnienia cząstkowe gazów. **Odp: $m_1 = 8,98$ kg, $m_2 = 16,62$ kg, $V = 30,2$ m³, $p_{H2} = 523$ kPa, $p_{CO2} = 44$ kPa, $p_{N2} = 233$ kPa.**

9. Roztwór gazów doskonałych: azotu N_2 i metanu CH_4 ma gęstość masy $\rho = 1,75$ kg/m³ przy parametrach $p = 200$ kPa oraz $T = 350$ K. Obliczyć objętościowe, molowe i masowe udziały składników roztworu. **Odp: $r_{N2} = 0,789$, $r_{CH4} = 0,211$, $g_{N2} = 0,876$, $g_{CH4} = 0,134$.**

10. Przez kanał spalinowy przepływają spaliny o następującym składzie objętościowym: $r_{CO2} = 0,12$, $r_{N2} = 0,79$, $r_{O2} = 0,09$. Obliczyć gęstość ρ_{sp} spalin oraz powierzchnię A przekroju poprzecznego kanału mając dane $n_{sp} = 4$ kmol/min, $p_{sr} = 110$ kPa, $T_{sr} = 580$ K, $w_{sr} = 5$ m/s. **Odp: $\rho_{sp} = 0,69$ kg/m³, $A = 0,58$ m².**

11. W normalnych warunkach fizycznych zmieszano $n_1 = 0,04$ kmol tlenku węgla CO , $V_n = 0,98$ m³_n wodoru H_2 , oraz taką ilość azotu N_2 , że jego udział objętościowy $r_{N2} = 0,07$. Jakie ciśnienie p_2 osiągnie roztwór gazów w temperaturze $T_2 = 500$ K, jeżeli jego objętość w tych warunkach wynosi $V_2 = 2$ m³. **Odp: $p_2 = 187$ kPa.**

12. Zbiornik o objętości $V = 3000$ l zawiera przy nadciśnieniu $p_n = 500$ kPa roztwór gazów składający się z $n_1 = 0,3$ kmol azotu N_2 , $m_2 = 1,1$ kg tlenu O_2 i takiej ilości dwutlenku węgla CO_2 , że jego udział masowy wynosi $g_{CO2} = 0,14$. Ciśnienie otoczenia $p_{ot} = 980$ mbar. Obliczyć temperaturę roztworu oraz ciśnienia cząstkowe jego składników. **Odp: $T = 584$ K, $p_{O2} = 55,4$ kPa, $p_{N2} = 483,3$ kPa, $p_{CO2} = 57,2$ kPa.**