

## ZADANIA Z PODSTAW TERMODYNAМИKI (studia niestacjonarne)

### 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,

$\nu$  objętość właściwa,  $\text{m}^3/\text{kg}$ ,

$V$  objętość,  $\text{m}^3$ ,

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

$(MR)$  uniwersalna stała gazowa  $8315 \text{ J}/(\text{kmol K})$ ,

$m$  masa, kg,

$\dot{m}$  strumień masy,  $\text{kg/s}$ ,

$M$  masa molowa,  $\text{kg}/\text{kmol}$ ,

$n$  liczba kilomoli substancji,  $\text{kmol}$ ,

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

$T$  temperatura bezwzględna, K.

- 2) Objętość właściwa  $\nu$

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

- 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

$\rho$  gęstość płynu,  $\text{kg/m}^3$ ,  
 $A$  pole przekroju kanału,  $\text{m}^2$ ,  
 $w$  prędkość przepływu płynu,  $\text{m/s}$ .

### 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  $p_{\text{ot}} = 752 \text{ Tr}$ . **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 doskonale 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,  $V = 11,5$  m<sup>3</sup>.**

5. Sprężarka napełnia zbiornik powietrzem w ciągu 46 min. Objętość zbiornika  $V = 56$  m<sup>3</sup>, 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,  $\Delta V_n = 0,107$  m<sup>3</sup>/s.**

6. Zbiornik o objętości  $V = 10$  m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> powietrza o parametrach  $p_{ot} = 760$  mm Hg i  $T_{ot} = 285$  K. Po jakim czasie  $\Delta t$  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  $V_n = 40$  m<sup>3</sup><sub>n</sub> 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,  $V = 30,2$  m<sup>3</sup>,  $p_{H2} = 523$  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/m<sup>3</sup> 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  $\rho_{sp}$  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/m<sup>3</sup>,  $A = 0,58$  m<sup>2</sup>.**

11. W normalnych warunkach fizycznych zmieszano  $n_1 = 0,04$  kmol tlenku węgla  $CO$ ,  $V_n = 0,98$  m<sup>3</sup><sub>n</sub> 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  $V_2 = 2$  m<sup>3</sup>. **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.**