

Do zbiornika o objętości  $5 \text{ m}^3$  zawierającego azot  $\text{N}_2$  (28) o ciśnieniu 5 bar i temperaturze  $35^\circ\text{C}$  w czasie 30 sekund wtłoczono 1,2 kmol azotu o temperaturze  $12^\circ\text{C}$ . Podczas wtłaczania gaz w zbiorniku był podgrzewany grzałką o mocy 1,3 kW, a strumień strat ciepła do otoczenia był równy 40 W. Obliczyć ciśnienie w zbiorniku po wtłoczeniu gazu.

### DANE

$$V = 5 \text{ m}^3$$

$$M = 28 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$p_1 = 5 \text{ bar} = 5 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$t_1 = 35^\circ\text{C}$$

$$T_1 = t_1 + 273,15 = 35 + 273,15 = 308,15 \text{ K}$$

$$\tau = 30 \text{ s}$$

$$n_r = 1,2 \text{ kmol}$$

$$t_r = 12^\circ\text{C}$$

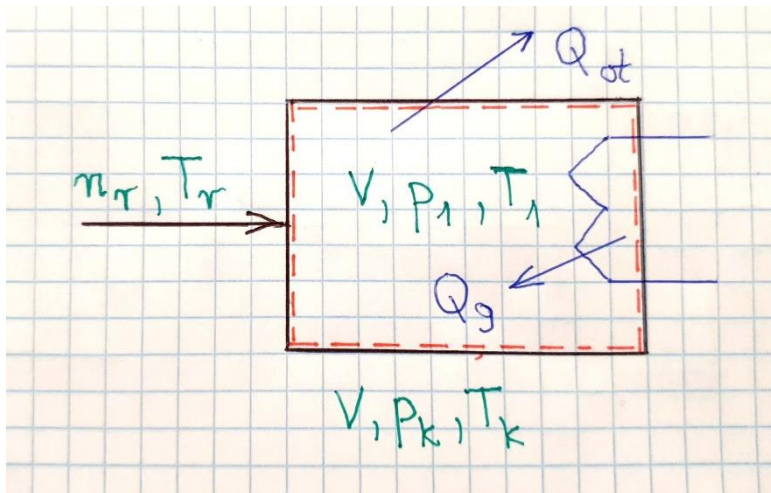
$$T_r = t_r + 273,15 = 12 + 273,15 = 285,15 \text{ K}$$

$$\dot{Q}_g = 1,3 \text{ kW} = 1300 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{ot} = 40 \text{ W}$$

$$p_2 = ? [\text{bar}]$$

### ROZWIĄZANIE



Układem termodynamicznym jest gaz w zbiorniku. Układ jest układem otwartym, który nie jest w stanie ustalonym (stacjonarnym). Energia układu podczas przemiany ulega zmianie.

Bilans energii

$$E_d = E_{u2} - E_{u1} + E_w \quad (1)$$

Energia doprowadzona do układu

$$E_d = I_r + Q_g = m_r c_p T_r + \dot{Q}_g \tau \quad (2)$$

Energia układu w stanie początkowym

$$E_{u1} = U_1 = m_1 c_v T_1 \quad (3)$$

Energia układu w stanie końcowym

$$E_{u2} = U_2 = m_2 c_v T_k \quad (4)$$

Energia wyprowadzona z układu

$$E_w = Q_{ot} = \dot{Q}_{ot} \tau \quad (5)$$

Ilość kilogramów substancji doprowadzonej do zbiornika rurociągiem

$$m_r = n_r M = 1,2 \cdot 28 = 33,6 \text{ [kg]} \quad (6)$$

Ilość kilogramów gazu w zbiorniku na początku przemiany

$$m_1 = \frac{p_1 V}{RT_1} = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 5}{296,9 \cdot 308,15} = 27,32 \text{ [kg]} \quad (7)$$

$$R = \frac{(MR)}{M} = \frac{8314}{28} = 296,9 \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

$$\left[ \frac{\frac{J}{kmol \cdot K}}{\frac{kg}{kmol}} = \frac{J}{kmol \cdot K} \cdot \frac{kmol}{kg} = \frac{J}{kg \cdot K} \right] \quad (8)$$

Ilość kg gazu w zbiorniku po doprowadzeniu  $m_r$  kg gazu rurociągiem

$$m_2 = m_1 + m_r = 27,32 + 33,6 = 60,92 [kg] \quad (9)$$

Ciepło właściwe gazu przy stałej objętości

$$c_v = \frac{1}{2} f R = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 296,9 = 742,25 \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right] \quad (10)$$

Gaz o cząsteczce dwuatomowej  $f = 5$

Ciepło właściwe gazu przy stałym ciśnieniu

$$c_p = c_v + R = 742,25 + 296,9 = 1039,15 \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right] \quad (11)$$

Do ogólnego równania bilansu energii (1) podstawiamy prawe strony równań (2)-(5)

$$m_r c_p T_r + \dot{Q}_g \tau = m_2 c_v T_k - m_1 c_v T_1 + \dot{Q}_{ot} \tau \quad (12)$$

Z równania (12) wyznaczamy temperaturę końcową  $T_k$

$$m_2 c_v T_k = m_r c_p T_r + \dot{Q}_g \tau + m_1 c_v T_1 - \dot{Q}_{ot} \tau \quad (13)$$

$$T_k = \frac{m_r c_p T_r + \dot{Q}_g \tau + m_1 c_v T_1 - \dot{Q}_{ot} \tau}{m_2 c_v}$$

$$= \frac{33,6 \cdot 1039,15 \cdot 285,15 + 1300 \cdot 30 + 27,32 \cdot 742,25 \cdot 308,15 - 40 \cdot 30}{60,92 \cdot 742,25} = 359,21 [K] \quad (14)$$

Ciśnienie w zbiorniku po wtłoczeniu gazu

$$p_k = \frac{m_2 R T_k}{V}$$

$$= \frac{33,6 \cdot 296,9 \cdot 359,21}{5} = 7,167 \cdot 10^5 \left[ \frac{N}{m^2} \right] = 7,167 \text{ bar} \quad (15)$$

$$\left[ \frac{kg \cdot \frac{N \cdot m}{kg \cdot K} \cdot K}{m^3} = \frac{N}{m^2} = Pa \right]$$