

## ZADANIA Z PODSTAW TERMODYNAMIKI

### LISTA NR 4

#### PODSTAWOWE PRAWA I WZORY

1) Entropia

$$S = ms \quad (1)$$

$$S = \frac{Q}{T} \quad (2)$$

gdzie

m masa, kg

s entropia właściwa, J/(kg K)

Q ciepło, J

T, temperatura bezwzględna, K

2) Entropia właściwa

$$s - s_0 = c_v \ln \frac{T}{T_0} + R \ln \frac{v}{v_0} \quad (3)$$

$$s - s_0 = c_p \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{p}{p_0} \quad (4)$$

$$s - s_0 = c_v \ln \frac{p}{p_0} + c_p \ln \frac{v}{v_0} \quad (5)$$

gdzie indeksem „0” oznaczono parametry odniesienia.

3) Suma przyrostów entropii

$$\Sigma \Delta S = \Delta S_u + S_w - S_d + \Sigma \Delta S_{zr} \quad (6)$$

gdzie

$\Delta S_u$  przyrost entropii układu, J/K

$S_w, S_d$  entropia ciał doprowadzonych i wyprowadzonych z układu, J/K

$\Sigma \Delta S_{zr}$  suma przyrostów entropii zewnętrznych źródeł ciepła będących w kontakcie z układem, J/K.

#### ZADANIA

**1.** Obliczyć: a) wartość entropii dla 100 kg aluminium znajdującego się w temperaturze  $T_1 = 573$  K, jeżeli dla  $T_0 = 273$  K  $S(T) = 0$ . Średnie ciepło właściwe aluminium  $c_p = 0,955$  kJ/(kg K), b) entropię 65 m<sup>3</sup><sub>n</sub> metanu traktowanego jak gaz doskonały a znajdującego się w stanie określonym przez  $p_1 = 20$  MPa i  $T_1 = 350$  K. Przyjąć, że dla  $T_0 = 20$  K i  $p_0 = 0,1$  MPa  $S = 0$ . **Odp: a) S = 70,9 kJ/K, b) S = 148,53 kJ/K.**

**2.** Obliczyć przyrost entropii 1 kg argonu traktowanego jak gaz doskonały podczas realizacji przemiany izochorycznej, jeżeli wiadomo, że temperatury gazu wynoszą  $T_1 = 247$  K,  $T_2 = 895$  K. **Odp:  $\Delta s_{1-2} = 402,3$  kJ/(kg K).**

3. Gaz ziemny (traktowany jako metan  $\text{CH}_4$ ) przesyłany jest z kopalni do odbiorcy rurociągiem, w którym  $p_1 = 1,6 \text{ MPa}$ . By można było skierować go do urządzeń energetycznych należy obniżyć jego ciśnienie do  $p_2 = 0,105 \text{ MPa}$ . Proces dławienia zachodzi na stacjach redukcyjnych. Obliczyć przyrost entropii  $1000 \text{ m}^3_n$  metanu po przejściu przez stację redukcyjną. **Odp:  $\Delta S = 1011,05 \text{ kJ/K}$ .**

4. W butli o objętości  $V = 0,005 \text{ m}^3$  znajduje się tlen o parametrach  $p_1 = 1,5 \text{ MPa}$ ,  $T_1 = 300 \text{ K}$ . Butla podłączona jest do zbiornika, w którym panuje próżnia. Określić przyrost entropii gazu, gdy tlen poprzez zawór zostanie wpuszczony do zbiornika. Objętość końcowa zajmowana przez tlen  $V_2 = 1,5 \text{ m}^3$ . **Odp:  $\Delta S = 146,43 \text{ J/K}$ .**

5. Ciało realizuje przemianę  $\pi$ , której obrazem w układzie T-S jest krzywa opisana równaniem  $T = 0,75 e^{1,2S}$  gdzie  $[S] = \text{J/K}$ . Obliczyć ciepło przemiany, gdy ciało zostało ogrzane od  $T_1 = 300 \text{ K}$  do  $T_2 = 895 \text{ K}$ . **Odp:  $Q_{1-2} = 583,1 \text{ J}$ .**

6. W zbiorniku o objętości  $V = 5 \text{ m}^3$  znajduje się tlen o parametrach początkowych  $p_1 = 0,8 \text{ MPa}$ ,  $T_1 = 800 \text{ K}$ . Wskutek przepływu ciepła do otoczenia o temperaturze  $T_{ot} = 300 \text{ K}$  temperatura gazu w zbiorniku spadła do  $T_2 = 400 \text{ K}$ . Obliczyć sumę  $\pi$  przyrostów entropii wszystkich ciał uczestniczących w tym zjawisku. Tlen traktować jak gaz doskonały. **Odp:  $\pi = 8,01 \text{ kJ/K}$ .**

7. Powietrze jest sprężane przez sprężarkę o mocy  $12 \text{ kW}$  od ciśnienia  $p_1$  do  $p_2$ . Temperatura powietrza utrzymywana jest na stałym poziomie  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  za pomocą chłodzenia płaszczem wodnym o temperaturze  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Określ zmianę entropii powietrza. **Odp:  $\Delta s = -0,0403 \text{ kW/K}$ .**

8. Podczas izotermicznego procesu przekazywania ciepła w cyklu Carnota,  $900 \text{ kJ}$  ciepła jest przekazane do czynnika roboczego ze źródła o temperaturze  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ . Określ: 1) zmianę entropii czynnika roboczego, 2) zmianę entropii źródła, 3) całkowitą zmianę entropii układu. **Odp: 1)  $1,337 \text{ kJ/K}$ , 2)  $-1,337 \text{ kJ/K}$ , 3)  $0 \text{ kJ/K}$ .**

9. Zaizolowany zbiornik o objętości  $1,5 \text{ m}^3$  zawiera  $2,7 \text{ kg}$   $\text{CO}_2$  pod ciśnieniem  $100 \text{ kPa}$ . Następnie wykonana jest praca nad układem aż ciśnienie wzrośnie do  $150 \text{ kPa}$ . Określ zmianę entropii  $\text{CO}_2$ . Założyć, że ciepła właściwe  $c_p$  i  $c_v$  są stałe. **Odp:  $0,719 \text{ kJ/K}$ .**

10. W cylindrze zamkniętym tłokiem znajduje się  $1,2 \text{ kg}$  azotu pod ciśnieniem  $120 \text{ kPa}$  w temperaturze  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ . Następnie gaz jest sprężany w wolnym politropowym procesie podczas, którego  $pV^{1/3} = \text{const}$ . Proces kończy się w chwili gdy objętość początkowa zostanie zmniejszona o połowę. Określ zmianę entropii azotu. **Odp:  $-0,0617 \text{ kJ/K}$ .**

11. Powietrze jest sprężane przez sprężarkę o mocy  $5 \text{ kW}$  od ciśnienia  $100 \text{ kPa}$  temperatury  $17 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $600 \text{ kPa}$  i  $167 \text{ }^\circ\text{C}$ . Wydajność masowa sprężarki wynosi  $1,6 \text{ kg/min}$ . Podczas procesu sprężania następuje przekazanie ciepła do otoczenia o temperaturze  $17 \text{ }^\circ\text{C}$ . Określić zmianę entropii powietrza. **Odp:  $-0,0025 \text{ kW/K}$ .**