

**II zasada termodynamiki. Entropia. Obiegi termodynamiczne**

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

2. Gaz ziemny /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  $1000 \text{ m}^3$  metanu po przejściu przez stację redukcyjną.  
**Odp:  $\Delta S = 1011 \text{ kJ/K}$ .**

3. 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:  $\Delta S = 146 \text{ J/K}$ .**

4. 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:  $\pi = 8,01 \text{ kJ/K}$ .**

5. 1 kg tlenku węgla CO realizuje obieg teoretyczny utworzony przez ciąg przemian: 1-2 izochora, 2-3 izoterma, 3-1 izobara. Mając dane  $T_1 = 400 \text{ K}$ ,  $p_3 = 0,2 \text{ MPa}$ ,  $v_3 = 5v_2$  oblicz sprawność teoretyczną obiegu i porównaj ją ze sprawnością obiegu Carnota zrealizowanego w zakresie maksymalnej i minimalnej temperatury obiegu.  
**Odp:  $\eta_t = 0,224$ ,  $\eta_c = 0,8$ .**

6. 1 kg azotu  $\text{N}_2$  realizuje obieg składający się z przemian: 1-2 izentropa, 2-3 izobara, 3-1 politropa. Mając dane:  $p_1 = 90 \text{ kPa}$ ,  $T_1 = 300 \text{ K}$ ,  $T_2 = 900 \text{ K}$ ,  $T_3 = 1900 \text{ K}$  obliczyć sprawność teoretyczną obiegu.  
**Odp:  $\eta_t = 0,35$ .**

7. 1 kg wodoru  $\text{H}_2$  realizuje obieg Carnota. Najniższa temperatura obiegu wynosi  $T_{II} = T_3 = T_4 = 300 \text{ K}$ , zaś najwyższa  $T_I = T_1 = T_2 = 800 \text{ K}$ . Najwyższe ciśnienie w obiegu ma wartość  $p_1 = 5 \text{ MPa}$ , najniższe zaś  $p_3 = 100 \text{ kPa}$ . Obliczyć parametry w charakterystycznych punktach obiegu, sprawność obiegu, pracę obiegu, ciepło doprowadzone oraz wyprowadzone.  
**Odp: a)  $v_1 = 0,66 \text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $p_2 = 3,1 \text{ MPa}$ ,  $v_2 = 1,06 \text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $v_3 = 12,4 \text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $p_4 = 0,17 \text{ MPa}$ ,  $v_4 = 7,28 \text{ m}^3/\text{kg}$ , b)  $\eta_c = 0,625$ ,  $l_{ob} = 978 \text{ kJ/kg}$ ,  $q_d = 1,56 \text{ MJ/kg}$ ,  $q_w = 586 \text{ kJ/kg}$ .**

8. Dwuatomowy gaz doskonały podlega obiegowi prawobieżnemu składającemu się z trzech następujących przemian: 1-2 izobara, 2-3 izochora i przemiany 3-1, której obrazem w układzie p-V jest odcinek linii prostej. Parametry gazu w poszczególnych punktach obiegu wynoszą:  $p_1 = 100 \text{ kPa}$ ,  $V_1 = 2 \text{ m}^3$ ,  $p_3 = 200 \text{ kPa}$ ,  $T_3 = 600 \text{ K}$ ,  $V_3 = 1 \text{ m}^3$ . Obliczyć sprawność i pracę obiegu.  
**Odp: a)  $\eta_t = 0,125$ , b)  $L_{ob} = 50 \text{ kJ}$ .**

9. Silnik Carnota o temperaturze źródła górnego  $T_{\max} = 1000 \text{ K}$  uruchomiono na Saharze, gdzie  $T_{\text{ot}} = 340 \text{ K}$ , a następnie na Antarktydzie gdzie  $T_{\text{ot}} = 200 \text{ K}$ . Przyjmując, że temperatura otoczenia jest temperaturą źródła dolnego obliczyć sprawność termodynamiczną silnika w obydwu miejscach.

**Odp:  $\eta_{t_S} = 0,66$ ,  $\eta_{t_A} = 0,80$ .**

10. 1 kg powietrza realizuje prawobieżny obieg Carnota między źródłami ciepła o temperaturach  $T_1 = 600 \text{ K}$  i  $T_3 = 300 \text{ K}$ . Najwyższe ciśnienie w obiegu wynosi  $p_{\max} = 2 \text{ MPa}$ , a najniższe  $p_{\min} = 120 \text{ kPa}$ . Określić parametry powietrza w poszczególnych punktach charakterystycznych obiegu oraz policzyć ile wynosi  $L_{\text{ob}}$ ,  $\eta_t$ ,  $Q_d$ ,  $Q_w$ .

**Odp:  $V_1 = 0,086 \text{ m}^3$ ,  $V_2 = 0,127 \text{ m}^3$ ,  $V_3 = 0,717 \text{ m}^3$ ,  $V_4 = 0,486 \text{ m}^3$ ,  $p_2 = 1,35 \text{ MPa}$ ,  $p_4 = 177 \text{ kPa}$ ,  $L_{\text{ob}} = 282 \text{ kJ}$ ,  $\eta_t = 0,50$ ,  $Q_d = 564 \text{ kJ}$ ,  $Q_w = 282 \text{ kJ}$ .**

11. Określić przyrost entropii układu podczas mieszania się 3 kg azotu i 2 kg dwutlenku węgla. Temperatury i ciśnienia gazów przed zmieszaniem były sobie równe. Gazy należy traktować jak doskonałe.

**Odp:  $\Delta S = 773 \text{ J/K}$ .**

12. Ciało realizuje przemianę  $\pi$ , której obrazem w układzie T-s jest krzywa opisana równaniem  $T = 0,75 \cdot e^{1,2S}$  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:  $Q_{1-2} = 583 \text{ J}$ .**

13. Powietrze jest sprężane przez sprężarkę o mocy 12 kW od ciśnienie  $p_1$  do  $p_2$ . Temperatura powietrza utrzymywana jest na stałym poziomie  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  za pomocą chłodzenia płaszczem wodnym o temperaturze  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Określić zmianę entropii powietrza.

**Odp:  $\Delta s = -0,0403 \text{ kW/K}$ .**

14. Podczas izotermicznego procesu przekazywania ciepła w cyklu Carnota, 900 kJ ciepła jest przekazane do czynnika roboczego ze źródła o temperaturze  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ . Określić: 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)  $0 \text{ kJ/K}$ .**

15. Zaizolowany zbiornik o objętości  $1,5 \text{ m}^3$  zawiera  $2,7 \text{ kg CO}_2$  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:  $0,719 \text{ kJ/K}$ .**

16. 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  $pV^{1/3} = \text{idem}$ . Proces kończy się w chwili gdy objętość początkowa zostanie zmniejszona o połowę. Określ zmianę entropii azotu.

**Odp:  $-0,0617 \text{ kJ/K}$ .**

17. 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:  $-0,0025 \text{ kW/K}$ .**