

ZADANIA Z PODSTAW TERMODYNAMIKI

LISTA NR 3

PODSTAWOWE PRAWA I WZORY

- 1) I zasada termodynamiki

$$Q = \Delta U + L = \Delta I + L_t \quad (1)$$

gdzie

Q ciepło, J

ΔU zmiana energii wewnętrznej, J

L praca bezwzględna, J

I entalpia, J

L_t praca techniczna, J

- 2) Ogólny wzór na energię wewnętrzną

$$\Delta U = mc_v \Delta T \quad (2)$$

- 3) Ogólny wzór na pracę bezwzględną

$$L_{1-2} = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (3)$$

- 4) Ogólny wzór na pracę techniczną

$$L_{t1-2} = - \int_{p_1}^{p_2} V dp \quad (4)$$

- 5) Ogólny wzór na moc N maszyny przepływowej

$$N = \dot{m}_{cz} l_t \quad (5)$$

gdzie

\dot{m}_{cz} strumień masy czynnika roboczego, kg/s

l_t praca techniczna właściwa, J/kg

Tab. 1. Wzory dla przemian charakterystycznych gazów doskonałych

| Przemiana | Izobaryczna | Izotermiczna | Izochoryczna | Adiabatyczna | Politropowa |
|-----------------------------|---|--|---|---|---|
| Równanie ogólne | $\frac{v}{T} = const$ | $p v = const$ | $\frac{p}{T} = const$ | $p v^\kappa = const$ | $p v^n = const$ |
| Stosunek ciśnień | $\frac{p_1}{p_2} = 1$ | $\frac{p_1}{p_2} = \frac{v_2}{v_1}$ | $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$ | $\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^\kappa$ | $\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^n$ |
| Stosunek temperatur | $\frac{T_1}{T_2} = \frac{v_1}{v_2}$ | $\frac{T_1}{T_2} = 1$ | $\frac{T_1}{T_2} = \frac{p_1}{p_2}$ | $\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^\kappa = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{1-\kappa}$ | $\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^n = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{1-n}$ |
| Stosunek objętości | $\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}$ | $\frac{v_1}{v_2} = \frac{p_1}{p_2}$ | $\frac{v_1}{v_2} = 1$ | $\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\kappa-1} = \frac{T_2}{T_1}$ | $\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1} = \frac{T_2}{T_1}$ |
| Praca bezwzględna l_{1-2} | $p(v_2 - v_1)$ lub $R(T_2 - T_1)$ | $RT_1 \ln \frac{v_2}{v_1}$ lub $p_1 v_1 \ln \frac{p_1}{p_2}$ | 0 | $\frac{p_1 v_1 - p_2 v_2}{\kappa - 1}$ lub $\frac{RT_1}{\kappa - 1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$ | $\frac{p_1 v_1 - p_2 v_2}{n - 1}$ lub $\frac{RT_1}{n - 1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$ |
| Praca techniczna l_{t1-2} | 0 | l_{1-2} | $v(p_1 - p_2)$ lub $R(T_1 - T_2)$ | κl_{1-2} | $n l_{1-2}$ |
| Ciepło przemiany q_{1-2} | $c_p (T_2 - T_1)$ | $l_{1-2} = l_{t1-2}$ | $c_v (T_2 - T_1)$ | 0 | $c_v \frac{n - \kappa}{n - 1} (T_2 - T_1)$ |

ZADANIA

1. W zamkniętym zbiorniku podgrzano $m = 1,5$ kg azotu N_2 od ciśnienia początkowego $p_1 = 0,2$ MPa do końcowego $p_2 = 0,3$ MPa. Wiedząc, że gaz ogrzał się o 120 K, obliczyć objętość zbiornika V , ciepło przemiany Q_{1-2} , pracę absolutną L_{1-2} , zmianę energii wewnętrznej ΔU_{1-2} oraz zmianę entalpii ΔI_{1-2} .
Odp: $V = 0,543 \text{ m}^3$, $Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} = 133,629 \text{ kJ}$, $L_{1-2} = 0$, $\Delta I_{1-2} = 187,08 \text{ kJ}$.

2. W cylindrze zamkniętym tłokiem znajduje się $0,6 \text{ m}^3$ powietrza o parametrach początkowych $p_1 = 0,45$ MPa, $T_1 = 293$ K. Na skutek izobarycznego doprowadzenia ciepła, powietrze wykonało pracę $L_{1-2} = 15,7$ kJ. Przyjmując, że ciepło właściwe powietrza $c_p = 1000$ J/kg K, a stała gazowa $R = 287,04$ J/(kg K) oblicz temperaturę T_2 i objętość V_2 w stanie końcowym oraz zmianę energii wewnętrznej i entalpii. **Odp: $T_2 = 310$ K, $V_2 = 0,635 \text{ m}^3$, $\Delta U_{1-2} = 38,9$ kJ, $\Delta I_{1-2} = 54,4$ kJ.**

3. Idealna sprężarka izotermiczna chłodzona wodą zasysa $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ dwutlenku węgla CO_2 o parametrach początkowych $p_1 = 0,95 \text{ bar}$, $T_1 = 320 \text{ K}$ i spręża go do $p_2 = 8 \text{ bar}$. Znaleźć moc teoretyczną sprężarki oraz strumień \dot{m}_w wody chłodzącej sprężarkę, jeżeli woda ogrzewa się o $\Delta T = 15 \text{ K}$. **Odp: $N = 70,3 \text{ kW}$, $\dot{m}_w = 4030 \text{ kg/h}$.**

4. Masa $m = 0,018 \text{ kg}$ helu (gaz doskonały) podlega dwu kolejnym przemianom termodynamicznym: izotermie 1-2 oraz izobarze 2-3. Parametry gazu w poszczególnych stanach wynoszą: $p_1 = 1 \text{ MPa}$, $V_1 = 0,01 \text{ m}^3$, $p_3 = 50 \text{ kPa}$, $T_3 = 350 \text{ K}$. Obliczyć: a) pracę bezwzględną L_{1-3} oraz techniczną L_{t1-3} wykonaną przez gaz, b) ciepło całkowite Q_{c1-3} pochłonięte przez gaz podczas przemiany. **Odp: a) $L_{1-3} = 32,7 \text{ kJ}$, $L_{t1-3} = 30 \text{ kJ}$; b) $Q_{c1-3} = 36,8 \text{ kJ}$.**

5. Dwuatomowy gaz doskonały podlega trzem kolejnym przemianom charakterystycznym: izochorze 1-2, izotermie 2-3, oraz izobarze 3-4. Parametry gazu w poszczególnych stanach są następujące: $p_1 = 100 \text{ kPa}$, $V_1 = 0,1 \text{ m}^3$, $T_2 = 800 \text{ K}$, $p_4 = 120 \text{ kPa}$, $V_4 = 0,13 \text{ m}^3$. Ilość gazu biorącego udział w przemianach wynosi $n = 0,005 \text{ kmol}$. Obliczyć: a) pracę bezwzględną L_{1-4} i techniczną L_{t1-4} przemian, b) ciepło całkowite Q_{c1-4} . **Odp: a) $L_{1-4} = 16,2 \text{ kJ}$, $L_{t1-4} = 10,6 \text{ kJ}$; b) $Q_{c1-4} = 30,2 \text{ kJ}$.**

6. Gaz doskonały w ilości $m = 2 \text{ kg}$ sprężono izentropowo ($\kappa = 1,5$) od ciśnienia $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$ do ciśnienia $p_2 = 0,24 \text{ MPa}$, wykonując przy tym pracę techniczną $L_{t1-2} = 180 \text{ kJ}$. Obliczyć pracę bezwzględną tej przemiany, zmianę energii wewnętrznej gazu, temperaturę początkową i końcową oraz objętość początkową i końcową gazu. Stała gazowa dla tego gazu wynosi $R = 300 \text{ J/(kg K)}$. **Odp: $L_{1-2} = -120 \text{ kJ}$, $\Delta U_{1-2} = 120 \text{ kJ}$, $T_1 = 300 \text{ K}$, $T_2 = 400 \text{ K}$, $V_1 = 1,8 \text{ m}^3$, $V_2 = 1,01 \text{ m}^3$.**

7. Powietrze o parametrach początkowych $V_1 = 100 \text{ m}^3$, $T_1 = 293 \text{ K}$, $p_1 = 100 \text{ kPa}$ sprężono izentropowo do ciśnienia $p_2 = 981 \text{ kPa}$, a następnie rozprężono izotermicznie do pierwotnej objętości. Obliczyć końcową temperaturę i ciśnienie, całkowitą zmianę energii wewnętrznej oraz sumaryczną pracę bezwzględną przemian L_{1-3} . **Odp: $T_k = T_2 = 562,6 \text{ K}$, $p_k = p_3 = 191 \text{ kPa}$, $\Delta U_{1-3} = 22,76 \text{ MJ}$, $L_{1-3} = 8,57 \text{ MJ}$.**

8. Roztwór gazów doskonałych, zawierający hel He oraz metan CH_4 , podlega przemianie izentropowej. Początkowa temperatura roztworu wynosi $T_1 = 500 \text{ K}$, końcowa zaś $T_2 = 300 \text{ K}$. Praca bezwzględna przemiany $L_{1-2} = 500 \text{ kJ}$ a techniczna $L_{t1-2} = 750 \text{ kJ}$. Obliczyć: a) ilość kmol roztworu, b) udziały molowe składników roztworu. **Odp: a) $n = 0,15 \text{ kmol}$, b) $z_{\text{He}} = 66,7\%$, $z_{\text{CH}_4} = 33,3\%$.**

9. Powietrze (gaz doskonały) rozpręża się politropowo wykonując pracę bezwzględną $L_{1-2} = 260 \text{ kJ}$. W czasie przemiany do czynnika dopływa ciepło w ilości $Q_{1-2} = 350 \text{ kJ}$. Obliczyć: a) wykładnik politropy ν , b) pracę techniczną L_{t1-2} przemiany. **Odp: a) $\nu = 0,86$, b) $L_{t1-2} = 224 \text{ kJ}$.**

10. Sprężarka zasysa $V_1 = 100 \text{ m}^3/\text{h}$ powietrza o ciśnieniu $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$ i temperaturze $T_1 = 300 \text{ K}$ i spręża je do ciśnienia końcowego $p_2 = 0,8 \text{ MPa}$. Obliczyć moc teoretyczną silnika do napędu sprężarki przyjmując, że sprężanie przebiega politropowo (wykładnik $\nu = 1,2$). Ponadto wyznaczyć strumień \dot{m}_w wody chłodzącej sprężarkę, przyjmując przyrost temperatury wody $\Delta T = 13 \text{ K}$ (ciepło właściwe wody $c_w = 4,19 \text{ kJ/(kg K)}$). **Odp: $N = 6,9 \text{ kW}$, $\dot{m}_w = 190 \text{ kg/h}$.**