

## ZADANIA Z PODSTAW TERMODYNAMIKI

### LISTA NR 6

#### PODSTAWOWE PRAWA I WZORY

- 1) Stopień suchości pary  $x$

$$x = \frac{m_p}{m_p + m_c} = \frac{m_p}{m} \quad (1)$$

gdzie

$m_p$  masa pary nasyconej suchej, kg

$m_c$  masa cieczy nasyconej, kg

$m$  masa mieszaniny parowo-wodnej (para nasycona mokra), kg

- 2) Entalpia pary nasyconej mokrej  $I_x$

$$I_x = mi_x = i' + x(i'' - i') = i' + xr \quad (2)$$

gdzie

$i_x$  entalpia właściwa pary nasyconej mokrej, J/kg

$i'$  entalpia właściwa cieczy nasyconej, J/kg

$i''$  entalpia właściwa pary nasyconej suchej, J/kg

$r$  entalpia parowania, J/kg

- 3) Energia wewnętrzna pary nasyconej mokrej  $U_x$

$$U_x = mu_x = u' + x(u'' - u') \quad (3)$$

Wartości  $u'$  oraz  $u''$  oblicza się za pomocą równania Gibbsa

$$i = u + pv \quad (4)$$

- 4) Entropia pary nasyconej mokrej  $S_x$

$$S_x = ms_x = s' + x(s'' - s') \quad (5)$$

- 5) Objętość właściwa pary nasyconej mokrej  $v_x$

$$v_x = mv_x = v' + x(v'' - v') \quad (6)$$

- 6) Ciepło pobrane przez parę w przemianie izochorycznej

$$Q_{c1-2} = m(u_2 - u_1) = m[i_2 - i_1 - v(p_2 - p_1)] \quad (7)$$

- 7) Ciepło pobrane przez parę w przemianie izobarycznej

$$Q_{c1-2} = m(i_2 - i_1) \quad (8)$$

- 8) Ciepło pobrane przez parę w przemianie izotermicznej

$$Q_{c1-2} = mT(s_2 - s_1) \quad (9)$$

- 9) Moc turbiny

$$N = \dot{m}_p(i_1 - i_2) \quad (10)$$

## ZADANIA

1. Zbiornik o sztywnych ściankach zawiera  $V_c = 0,02 \text{ m}^3$  wrzącej wody i  $V_p = 0,97 \text{ m}^3$  pary suchej nasyconej w stanie równowagi przy ciśnieniu  $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$ . Obliczyć stopień suchości pary, entalpię i energię wewnętrzną pary.  **Odp:  $x = 0,029$ ,  $I_1 = 9534,4 \text{ kJ}$ ,  $U_1 = 9435,4 \text{ kJ}$ .**

2. Do 10 kg mokrej pary nasyconej o stopniu suchości  $x_1 = 0,9$  i ciśnieniu  $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$  dolano  $m_w = 10 \text{ kg}$  wody o temperaturze  $T_w = 293 \text{ K}$ . Obliczyć parametry stanu końcowego ( $U, I, x$ ), zakładając, że w procesie tym nie jest wymieniane ciepło z otoczeniem. Ile kg wody należałoby dolać, aby w stanie końcowym, aby otrzymać wyłącznie wrzącą ciecz (przy stałym ciśnieniu). Przyjąć ciepło właściwe wody  $c_p = 4,18 \text{ kJ/kg K}$ .  **Odp:  $U_2 = 23,81 \text{ MJ}$ ,  $x_2 = 0,376$ ,  $I_2 = 25,33 \text{ MJ}$ ,  $m'_w = 56,32 \text{ kg}$ .**

3. Suchą parę nasyconą o ciśnieniu  $p_1 = 0,4 \text{ MPa}$  podgrzano izobarycznie do temperatury  $T_2 = 823 \text{ K}$  a następnie ochłodzono izochorycznie, wskutek czego stopień suchości  $x_3 = 1$ . Obliczyć: a) całkowite ciepło pochłonięte przez parę w czasie przemian  $q_{c1-3}$ , b) pracę bezwzględną  $l_{1-3}$  wykonaną przez parę.  **Odp: a)  $q_{c1-3} = 167,8 \text{ kJ/kg}$ , b)  $l_{1-3} = 194,1 \text{ kJ/kg}$ .**

4. Dwa strumienie pary wodnej o parametrach:  $p_1 = 1,5 \text{ MPa}$ ,  $T_1 = 573 \text{ K}$  oraz  $p_2 = p_1$ ,  $x_2 = 0,95$  mieszają się ze sobą izobarycznie w doskonale zaizolowanym mieszalniku. Otrzymana para płynie do turbiny, w której rozpręża się izentropowo do ciśnienia  $p_4 = 10 \text{ kPa}$ . Masy strumieni pary wynoszą  $m_1 = 20 \text{ t/h}$ ,  $m_3 = 10 \text{ kg/s}$ . Oblicz moc turbiny.  **Odp:  $N = 7,83 \text{ MW}$ .**

5. Przegrzana para wodna o parametrach  $p_1 = 2,2 \text{ MPa}$ ,  $T_1 = 733 \text{ K}$  jest dławiona adiabatycznie izentalpowo do ciśnienia  $p_2 = 1 \text{ MPa}$  a następnie dopływa do turbiny, w której rozpręża się adiabatycznie odwracalnie do ciśnienia  $p_3 = 100 \text{ kPa}$ . Masa strumienia przepływającej pary ma wartość  $m = 0,92 \text{ kg/s}$ . Obliczyć moc turbiny oraz temperaturę  $T_3$  pary opuszczającej turbinę.  **Odp:  $N = 550 \text{ kW}$ ,  $T_3 = 428 \text{ K}$ .**

6. Mokra para wodna o parametrach początkowych  $p_1 = 3,5 \text{ MPa}$ ,  $x_1 = 0,8$ , rozpręża się izotermicznie do ciśnienia  $p_2 = 0,6 \text{ MPa}$ , a następnie ochładza się ją izobarycznie do stanu 3, w którym stopień suchości wynosi  $x_3 = 0,8$ . Obliczyć: a) ciepło całkowite  $q_{c1-2}$  pochłonięte przez parę podczas przemian, b) pracę techniczną przemian  $l_{t1-3}$ .  **Odp: a)  $q_{c1-3} = 279,3 \text{ kJ/kg}$ , b)  $l_{t1-3} = 391,1 \text{ kJ/kg}$ .**

7. Do doskonale zaizolowanego izobarycznego mieszalnika dopływa przegrzana para wodna o parametrach  $p_1 = 4 \text{ MPa}$ ,  $T_1 = 773 \text{ K}$  w ilości  $m_1 = 0,5 \text{ kg/s}$  oraz nasycona para wodna o parametrach  $p_2 = 4 \text{ MPa}$ ,  $x_2 = 0,8$ . Za mieszalnikiem para jest dławiona adiabatycznie izentalpowo do ciśnienia  $p_4 = 1,00 \text{ MPa}$ , a następnie płynie do turbiny parowej, w której rozpręża się izentropowo. Para opuszczająca turbinę ma parametry  $p_5 = 10 \text{ kPa}$ ,  $x_5 = 0,9$ . Obliczyć moc turbiny.  **Odp:  $N = 572,2 \text{ kW}$ .**

8. Mokra para nasycona o objętości właściwej  $v_{x1} = 0,18 \text{ m}^3/\text{kg}$  i stopniu suchości  $x_1 = 0,85$  jest ogrzewana izochorycznie do temperatury  $T_2 = 543 \text{ K}$ , po czym jest dławiona izentalpowo do ciśnienia  $p_3 = 0,18 \text{ MPa}$ , a następnie ogrzewana izobarycznie do temperatury  $T_4 = 623 \text{ K}$ . Określić: a) początkową temperaturę  $T_1$  pary, b) zmianę entalpii pary  $\Delta i_{1-4}$ , c) ciepło przemiany izochorycznej  $q_{v1-2}$  i d) izobarycznej  $q_{p3-4}$ .  **Odp: a)  $T_1 = 449 \text{ K}$ , b)  $\Delta i_{1-4} = 704 \text{ kJ/kg}$ , c)  $q_{v1-2} = 486 \text{ kJ/kg}$ , d)  $q_{p3-4} = 200 \text{ kJ/kg}$ .**

9. Parę wodną o temperaturze  $T_1 = 363 \text{ K}$  i entalpii  $i_1 = 2600 \text{ kJ/kg}$  zdławiono do ciśnienia  $p_2 = 6 \text{ kPa}$ , następnie sprężono izentropowo do ciśnienia  $p_3 = 50 \text{ kPa}$ , po czym schłodzono izochorycznie do temperatury  $T_4 = 333 \text{ K}$ . Określić:

- entropię, stopień suchości i ciśnienie pary na początku procesu,
- objętość właściwą i entropię po zdławieniu pary,
- temperaturę i objętość właściwą po sprężeniu,
- stopień suchości i entalpię pary na końcu procesu,
- pracę techniczną  $l_{2-3}$  sprężania izentropowego,
- ciepło  $q_{v3-4}$  przemiany izochorycznej.

**Odp: a)  $s_1 = 7,3 \text{ kJ/kg K}$ ,  $x_1 = 0,97$ ,  $p_1 = 0,07 \text{ MPa}$ , b)  $v_2 = 25 \text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $s_2 = 8,4 \text{ kJ/kg K}$ , c)  $T_3 = 543 \text{ K}$ ,  $v_3 = 5 \text{ m}^3/\text{kg}$ , d)  $x_4 = 0,67$ ,  $i_4 = 1840 \text{ kJ/kg}$  e)  $l_{2-3} = 420 \text{ kJ/kg}$ , f)  $q_{v3-4} = -255 \text{ kJ/kg}$ .**