

## Teoria Maszyn Ciepłych

### Lista 5

#### A. Tłokowe

1. Silnik cieplny pracuje według obiegu Lenoira składającego się z izentropy 1-2, izobary 2-3 i izochory 3-1. Czynnikiem obiegowym jest dwuatomowy gaz doskonały, którego skrajne temperatury mają wartości:  $T_1 = 1973 \text{ K}$ ,  $T_3 = 288 \text{ K}$ . Strumień ciepła pobieranego przez silnik wynosi  $50 \text{ kW}$ . Obliczyć: a) temperaturę  $T_2$ , stosunek ciśnień  $p_1/p_2$  oraz stosunek objętości właściwych  $v_2/v_1$ , b) sprawność termiczną obiegu, c) moc silnika.

**Odp. a)  $T_2 = 1139 \text{ K}$ ,  $p_1/p_2 = 6,85$ ,  $v_2/v_1 = 3,96$ , b)  $\eta_t = 0,293$ , c)  $N = 14,65 \text{ kW}$**

2. Silnik pracuje wg obiegu Otto, dla którego  $T_1 = 373 \text{ K}$ ,  $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$ ,  $\varepsilon = V_1/V_2 = 6$ ,  $\lambda = p_3/p_2 = 1,6$ . Czynnikiem obiegowym jest powietrze traktowane jako gaz doskonały. Określić brakujące parametry w poszczególnych stanach oraz jednostkowe ciepło dostarczone i odebrane, właściwą pracę obiegu oraz jego sprawność.

**Odp.  $q_d = 329,7 \text{ kJ/kg}$ ,  $q_w = -162 \text{ kJ/kg}$ ,  $l_{ob} = 167,7 \text{ kJ/kg}$ ,  $\eta_t = 0,51$**

3. Określić brakujące parametry obiegu Diesla oraz jednostkowe ciepło dodatnie i ujemne, właściwą pracę obiegu i jego sprawność, jeżeli:  $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$ ,  $T_1 = 293 \text{ K}$ ,  $\varepsilon = V_1/V_2 = 12,7$ ,  $\rho = V_3/V_2 = 2$ . Czynnikiem roboczym jest powietrze traktowane jak gaz doskonały.

**Odp.  $q_d = 818 \text{ kJ/kg}$ ,  $q_w = -347 \text{ kJ/kg}$ ,  $l_{ob} = 471 \text{ kJ/kg}$ ,  $\eta_t = 0,576$**

4. Powietrze jest czynnikiem roboczym w silniku tłokowym pracującym wg obiegu Otto. Przed sprężaniem izentropowym ciśnienie gazu wynosi  $1 \text{ bar}$  temperatura  $300 \text{ K}$  a objętość  $1 \text{ m}^3$ . W tej przemianie gaz sprężany jest do ciśnienia  $8,5 \text{ bar}$ . Następnie podczas izochorycznego podnoszenia ciśnienia doprowadza się  $670 \text{ kJ}$  ciepła. Obliczyć ciepło odprowadzone, pracę obiegu i sprawność oraz moc teoretyczną silnika gdy wykonuje on 100 cykli na minutę.

**Odp.  $Q_w = -365 \text{ kJ}$ ,  $L_{ob} = 305 \text{ kJ}$ ,  $\eta_t = 0,455$ ,  $N_t = 508 \text{ kW}$**

5. Silnik Diesla posiada stopień sprężania  $\varepsilon = 16$ . Parametry powietrza przed sprężaniem wynoszą ciśnienie  $1 \text{ bar}$  i temperatura  $77^\circ\text{C}$ . Jednostkowe ciepło doprowadzone wynosi  $339 \text{ kJ/kg}$ . Oblicz parametry gazu w punktach charakterystycznych obiegu, jednostkowe ciepło odprowadzone i pracę obiegu, a także moc teoretyczną, jeśli strumień masy gazu przepływającego przez silnik wynosi  $1000 \text{ kg/h}$ .

**Odp.  $q_w = -118,3 \text{ kJ/kg}$ ,  $l_{ob} = 220 \text{ kJ/kg}$ ,  $N_t = 61,3 \text{ kW}$**

6. Oblicz parametry powietrza w punktach charakterystycznych obiegów Otto i Diesla posiadających wspólne następujące parametry: ciśnienie  $1 \text{ bar}$  i temperatura  $327 \text{ K}$  na początku sprężania izentropowego; ciśnienie  $30 \text{ bar}$  i temperatura  $1900 \text{ K}$  na początku rozprężania izentropowego. Oblicz jednostkowe ciepło doprowadzone i odprowadzone oraz właściwą pracę obiegów i ich sprawności.

**Odp. Otto:  $q_d = 306 \text{ kJ/kg}$ ,  $q_w = -125 \text{ kJ/kg}$ ,  $l_{ob} = 181 \text{ kJ/kg}$ ,  $\eta_t = 0,592$**

**Diesel:  $q_d = 321 \text{ kJ/kg}$ ,  $q_w = -125 \text{ kJ/kg}$ ,  $l_{ob} = 196 \text{ kJ/kg}$ ,  $\eta_t = 0,610$**

7. Silnik wykorzystujący powietrze jako czynnik roboczy pracuje wg obiegu Sabathego. Parametry przed sprężaniem wynoszą: ciśnienie  $1 \text{ bar}$  i temperatura  $47^\circ\text{C}$ . Stopień sprężania wynosi  $\varepsilon = 15$ , a stopień podwyższania ciśnienia  $\alpha = 1,6$  oraz stopień obciążenia  $\rho = 1,3$ . Oblicz parametry w punktach charakterystycznych oraz jednostkowe ciepło doprowadzone i odprowadzone, właściwą pracę obiegu i sprawność.

**Odp.  $q_d = 896 \text{ kJ/kg}$ ,  $q_w = -300 \text{ kJ/kg}$ ,  $l_{ob} = 596 \text{ kJ/kg}$ ,  $\eta_t = 0,665$**

8. Silnik wysokoprężny pracuje wg obiegu Sabathego. Charakteryzują go: temperatura na początku procesu sprężania  $T = 293 \text{ K}$ , stopień sprężania  $\varepsilon = 12$ , a stopień podwyższania ciśnienia  $\alpha = 1,7$  oraz stopień obciążenia  $\rho = 1,5$ . Strumień dostarczanego w obiegu ciepła wynosi  $4,185 \cdot 10^5 \text{ kJ/h}$ . Obliczyć strumień masy powietrza (traktowanego jak gaz doskonały).

**Odp.  $\dot{m} = 0,1012 \text{ kg/s}$**

## B. Turbinowe

9. Obieg porównawczy turbiny gazowej z izobaryczną komorą spalania (obieg Braytona) działa przy następujących parametrach:  $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$ ,  $T_1 = 293 \text{ K}$ ,  $T_3 = 973 \text{ K}$ , spręż  $\sigma = p_2/p_1 = 6$ , sprawność wewnętrzna turbiny  $\eta_{it} = 0,87$ , sprężarki  $\eta_{is} = 0,85$ . Czynnikiem obiegowym jest powietrze, które można traktować jak gaz doskonały. Sprężarka zasysa  $\dot{m} = 2 \cdot 10^5 \text{ kg/h}$  powietrza. Obliczyć: a) temperaturę w charakterystycznych punktach obiegu, b) moc wewnętrzną turbiny  $N_{it}$  i sprężarki  $N_{is}$ , c) sprawność termiczna obiegu.

**Odp.  $T_{2s} = 489 \text{ K}$ ,  $T_2 = 524 \text{ K}$ ,  $T_{4s} = 583 \text{ K}$ ,  $T_4 = 634 \text{ K}$ ,  $N_{it} = 19,02 \text{ MW}$ ,  $N_{is} = 12,96 \text{ MW}$ ,  $\eta_B = 0,4$**

10. W obiegu turbiny gazowej z izobaryczną komorą spalania zastosowano regenerację ciepła. Czynnik obiegowy (o właściwościach powietrza) ma parametry  $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$ ,  $T_1 = 288 \text{ K}$ ,  $T_3 = 1053 \text{ K}$ . Stosunek sprężania wynosi  $\sigma = 4,8$ , sprawności wewnętrzne turbiny i sprężarki wynoszą odpowiednio  $\eta_{it} = 0,85$ ,  $\eta_{is} = 0,83$ . Obliczyć: a) sprawność obiegu bez regeneracji  $\eta_B$ , b) sprawność obiegu z regeneracją  $\eta_r$ .

**Odp.  $\eta_r = 0,393$ ,  $\eta_B = 0,223$**

11. W zespole turbiny gazowej zastosowano regenerację ciepła. Obieg porównawczy składa się z dwu izentrop i dwu przemian izobarycznych. Czynnikiem obiegowym jest argon (gaz doskonały). Parametry czynnika w poszczególnych punktach obiegu wynoszą:  $T_1 = 300 \text{ K}$ ,  $T_3 = 900 \text{ K}$ ,  $T_{IV} = T_4 - 70 \text{ K}$ ,  $\sigma = 2,5$ . Moc całego agregatu  $N = 5000 \text{ kW}$ . Założyć, że sprawność mechaniczna maszyn  $\eta_m = 1,0$ . Obliczyć: a) strumień  $\dot{n}$  gazu, b) sprawność termiczna obiegu, c) strumień ciepła doprowadzonego z zewnętrznego źródła cieplejszego, ciepła odprowadzanego do zimniejszego źródła zewnętrznego oraz ciepła regenerowanego w wymienniku, d) moc turbiny i sprężarki, e) przyrost sprawności termicznej obiegu w porównaniu z obiegiem bez regeneracji ciepła.

**Odp.  $\dot{n} = 1,68 \text{ kmol/s}$ ,  $\eta_t = 0,41$ ,  $\dot{Q}_d = 12,07 \text{ MW}$ ,  $\dot{Q}_w = 7,07 \text{ MW}$ ,  $\dot{Q}_r = 4,22 \text{ MW}$ ,  $N_t = 9,63 \text{ MW}$ ,  $N_s = 4,63 \text{ MW}$ ,  $\eta_t = 0,11$**

12. Do napędu pompy użyto silnika Braytona o mocy  $50 \text{ kW}$  opalanego gazem. Czynnikiem roboczym jest powietrze traktowane jak gaz doskonały. Określić strumień masy spalanego gazu  $\dot{m}_g$ , gdy jego wartość opałowa wynosi  $W_d = 25000 \text{ kJ/m}_n^3$ . Sprawność pieca  $\eta_p = 0,7$ , sprawność wewnętrzną sprężarki  $\eta_{is} = 0,75$ , rozprężarki  $\eta_{nr} = 0,78$ . Ciśnienie w wymiennikach jest stałe i wynosi odpowiednio  $p_{max} = 0,8 \text{ MPa}$ ,  $p_{min} = 0,1 \text{ MPa}$ . Temperatura na wlocie do sprężarki wynosi  $T_1 = 330 \text{ K}$  a na wylocie z rozprężarki  $T_4 = 780 \text{ K}$ . Jaki jest strumień objętości  $\dot{V}_n$  przepływającego przez silnik powietrza ?

**Odp.  $\dot{V}_n = 85,1 \text{ m}_n^3/\text{h}$ ,  $\dot{m}_g = 0,804 \text{ kg/s}$**

13. W turbinowej siłowni spalinowej z izobaryczną komorą spalania spalane jest  $\dot{m}_{pal} = 0,3883 \text{ kg/s}$ . Powietrze do spalania dostarcza sprężarka z otoczenia o parametrach  $p_1 = 0,1 \text{ MPa}$ ,  $T_1 = 290 \text{ K}$  w ilości  $1,65 \text{ kmol/s}$  i spręża je do  $p_2 = 0,4 \text{ MPa}$ . Do turbiny dopływa  $\dot{n}_{sp} = 4,4 \text{ kmol/(kg pal)}$  spalin o temperaturze  $T_3 = 900 \text{ K}$ . Rozprężanie w turbinie przebiega do  $p_4 = p_1 = 0,1 \text{ MPa}$ . Przyjąć sprawność  $\eta_{is} = 0,85$ ,  $\eta_{it} = 0,87$ ,  $\eta_m = 0,98$  – sprawność mechaniczna maszyn,  $Mc_p \text{ spalin} = 29,8 \text{ kJ/(kmol K)}$ ,  $Mc_p \text{ pow.} = 29,44 \text{ kJ/(kmol K)}$ . Obliczyć moc efektywną siłowni  $N_e$ .

**Odp.  $N_e = 3170,7 \text{ kW}$**

14. Turbozespół gazowy charakteryzują następujące wielkości: spręż  $\sigma = 4$ , sprawności sprężarki  $\eta_{is} = 0,85$ , turbiny  $\eta_{it} = 0,87$ , oraz mechaniczna obu maszyn  $\eta_m = 0,95$ . Sprężarka zasysa  $\dot{m}_{pow} = 50 \text{ t/h}$  powietrza o ciśnieniu  $0,98 \text{ bar}$  i temperaturze  $300 \text{ K}$ . Do komory spalania doprowadza się  $\dot{m}_{pal} = 896 \text{ kg/h}$  oleju o wartości opałowej  $W_d = 42 \text{ MJ/kg}$ , sprawność komory spalania wynosi  $\eta_k = 0,98$ . Obliczyć sprawność użyteczną i moc użyteczną turbozespołu przyjmując że własności spalin są takie same jak powietrza.

**Odp.  $\eta_u = 0,132$ ,  $N_u = 1,33 \text{ MW}$**

15. Obliczyć sprawność turbozespołu z **zad. 14** w przypadku zastosowanie regeneracyjnego wymiennika ciepła. Stopień odzysku ciepła wynosi:  $\psi = c_{p_{sp}}(T_3 - T_6)/c_{p_{sp}}(T_3 - T_4) = 0,6$ . Przyjąć temperaturę spalin przed turbiną  $1200 \text{ K}$  i powietrza przed sprężarką  $273 \text{ K}$ .

**Odp.  $\eta_t = 0,525$**