



Ministerstwo
Edukacji Narodowej



**POLITECHNIKA
BYDGOSKA**
Wydział Telekomunikacji,
Informatyki i Elektrotechniki



**„EUROELEKTRA”
Ogólnopolska Olimpiada Wiedzy Elektrycznej i Energetycznej
Rok szkolny 2024/2025**

Rozwiązania zadań dla grupy energetycznej na zawody II stopnia

Zadanie 1

W elektrowni cieplnej wykorzystuje się kocioł parowy o sprawności $\eta_N = 88,0\%$, który wytwarza parę nasyconą suchą o ciśnieniu $p_1 = 10,0$ MPa i temperaturze $T_1 = 310$ °C. Woda zasilająca kocioł ma temperaturę $T_w = 40,0$ °C. Do wytworzenia pary potrzeba dostarczyć paliwo o wartości opałowej $Q_w = 30,0$ MJ/kg, przy czym rzeczywiste zużycie wynosi $m_f = 2,00$ kg/s.

Oblicz:

1. Moc cieplną dostarczaną paliwem Q_f .
2. Ilość pary wytwarzanej przez kocioł w ciągu godziny m_{para} zakładając, że cała energia cieplna przekształca się w energię pary nasyconej suchej.

Przyjmij, że ciepło właściwe wody wynosi $c = 4,18$ kJ/(kg · K) a entalpia pary nasyconej suchej przy $p_1 = 10$ MPa wynosi $h_{para} = 2805$ kJ/kg. Ponadto załóż liniową zależność entalpii wody od temperatury i ciśnienia.

Rozwiązanie:

1. Obliczenie mocy cieplnej paliwa

$$Q_f = m_f \cdot Q_w = 2,00 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 30,0 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 60,0 \frac{\text{MJ}}{\text{s}} = 60,0 \text{ MW}$$

2. Obliczenie ilości użytecznej energii przekazanej wodzie $Q_{uż}$

$$Q_{uż} = Q_f \cdot \eta_N = 60,0 \text{ MW} \cdot 0,880 = 52,8 \text{ MW}$$

3. Ilość pary wytwarzanej przez kocioł:

$$\dot{m}_{para} = \frac{Q_{uż}}{\Delta h}$$

gdzie: Δh – wzrost entalpii $\Delta h = h_{para} - h_w$

h_w – entalpia wody na wlocie:

$$h_w = c \cdot T_w = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 40,0 \text{ °C} = 167,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Delta h = h_{para} - h_w = 2805 - 167,2 = 2637,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{m}_{para} = \frac{Q_{uż}}{\Delta h} = \frac{52,8 \text{ MW}}{2637,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 20,02 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

4. Ilość pary wytwarzanej w ciągu godziny

$$\dot{m}_{para} = m_{para} \cdot 3600 \text{ s} = 20,02 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 3600 \text{ s} \approx 72\,072 \text{ kg}$$

Odpowiedź

Moc cieplna dostarczana paliwem Q_f wynosi 60 MW, a ilość pary wytwarzanej w ciągu godziny przez kocioł wynosi 72072 kg.

Zadanie 2

Silnik cieplny wykonuje cykl, w którym pobiera ciepło $Q_1 = 800 \text{ J}$ z wysokotemperaturowego źródła o temperaturze $T_1 = 500 \text{ K}$ oraz oddaje $Q_2 = 500 \text{ J}$ do otoczenia o temperaturze $T_2 = 300 \text{ K}$. Oblicz rzeczywistą sprawność tego silnika i maksymalną, teoretyczną sprawność silnika pracującego w idealnym cyklu Carnota dla tych samych warunków. Oblicz też, ile ciepła Q'_1 musiałby pobrać silnik pracujący w cyklu Carnota, aby wykonać tę samą pracę, co silnik rzeczywisty.

Rozwiązanie

1. Obliczenie sprawności silnika rzeczywistego:

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

gdzie: W - praca wykonana w cyklu Carnota (różnica między ciepłem pobranym i oddanym):

$$W = Q_1 - Q_2 = 800 \text{ J} - 500 \text{ J} = 300 \text{ J}$$

$$\eta = \frac{300 \text{ J}}{800 \text{ J}} = 0,375 = 37,5\%$$

2. Obliczenie maksymalnej, teoretycznej wartości sprawności cyklu Carnota

$$\eta_{teor} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300 \text{ K}}{500 \text{ K}} = 1 - 0,6 = 0,4 = 40\%$$

3. Obliczenie ciepła Q'_1 dla silnika pracującego w idealnym cyklu Carnota

Wykonana praca w cyklu Carnota $W = Q'_1 \cdot \eta_{teor}$

$$Q'_1 = \frac{W}{\eta_{teor}} = \frac{300 \text{ J}}{0,4} = 750 \text{ J}$$

Odpowiedź

Silnik musiałby pobrać 750 J ciepła pracując w cyklu Carnota, aby wykonać tę samą pracę, co silnik rzeczywisty.

Zadanie 3

Para wodna znajduje się w zamkniętym, sztywnym naczyniu o objętości 1 m^3 . W początkowym stanie para ma temperaturę 300 K i ciśnienie 400 kPa . Zmieniono temperaturę pary, podgrzewając ją do 500 K . Zakładając, że para zachowuje się jak gaz doskonały i indywidualna stała gazowa $R = 83,1 \frac{\text{hPa} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}$ oblicz:

1. ciśnienie pary po podgrzaniu do 500 K ,
2. wewnętrznej energii pary w wyniku tego procesu,
3. wykonaną pracę, wiedząc, że proces odbywa się izochorycznie.

Należy przyjąć, że molowe ciepło właściwe pary wodnej wynosi $c_v = 36,3 \frac{\text{J}}{(\text{mol} \cdot \text{K})}$

Rozwiązanie

1. Ciśnienie po podgrzaniu do 500 K

Należy zacząć od obliczenia liczby moli gazu w początkowym stanie z równania gazu doskonałego:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T_1$$
$$n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T_1} = \frac{4000 \text{ hPa} \cdot 1000 \text{ dm}^3}{83,1 \frac{\text{hPa} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 300 \text{ K}} = 160,45 \text{ mol}$$

gdzie: $p = p_1 = 400 \text{ kPa} = 4000 \text{ hPa}$; $V = 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$;

$$R = 83,1 \frac{\text{hPa} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}; T_1 = 300 \text{ K}$$

Następnie, wykorzystując to, można obliczyć ciśnienie w stanie końcowym przy temperaturze $T_2 = 500 \text{ K}$, stosując ponownie równanie gazu doskonałego:

$$p_2 \cdot V = n \cdot R \cdot T_2$$
$$p_2 = \frac{n \cdot R \cdot T_2}{V} = \frac{160,45 \text{ mol} \cdot 83,1 \frac{\text{hPa} \cdot \text{dm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 500 \text{ K}}{1000 \text{ dm}^3} = 6667 \text{ hPa} = 666,7 \text{ kPa}$$

2. Zmiana energii wewnętrznej pary

$$\Delta U = n \cdot c_v \cdot (T_2 - T_1)$$
$$\Delta U = 160,45 \text{ mol} \cdot 36,3 \frac{\text{J}}{(\text{mol} \cdot \text{K})} \cdot (500 \text{ K} - 300 \text{ K}) = 1165 \text{ kJ}$$

3. Wykonana praca w procesie izochorycznym

W procesie izochorycznym, ponieważ objętość naczynia nie zmienia się, nie zachodzi praca mechaniczna, zatem

$$W = 0$$

Odpowiedź

Po podgrzaniu pary do 500 K ciśnienie wyniesie $666,7 \text{ kPa}$, natomiast zmiana energii wewnętrznej pary wyniesie 1165 kJ . W procesie izochorycznym, ponieważ objętość naczynia nie zmienia się, nie zachodzi praca mechaniczna.

Zadanie 4

Dany jest układ składający się z napowietrznej linii elektroenergetycznej o napięciu nominalnym 15 kV typu AFL-6 o przekroju 70 mm² o długości 10 km, obciążanej na końcu odbiornikiem o mocy $\underline{S} = (500 + j300)$ kVA. Należy obliczyć moc baterii kondensatorów dołączonych równolegle do odbiornika, aby przy wzroście mocy pobieranej przez odbiornik do $\underline{S}_1 = (800 + j480)$ kVA spadek napięcia pozostał niezmienny. Do obliczeń należy przyjąć, że rezystywność materiału przewodzącego wynosi $2,82 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, a reaktancja jednostkowa linii typu AFL-6 70 mm² wynosi 0,4 Ω/km . Układ zasilany jest napięciem $U = 15$ kV.

Rozwiązanie

$$R_l = \rho \cdot \frac{1 \cdot 1000}{s \cdot 10^{-6}} = 4,0286 \Omega$$

$$X_l = x_l \cdot l = 4 \Omega$$

$$\Delta U_l = \frac{P \cdot R_l + Q \cdot X_l}{U_n} = 214,2857 \text{ V}$$

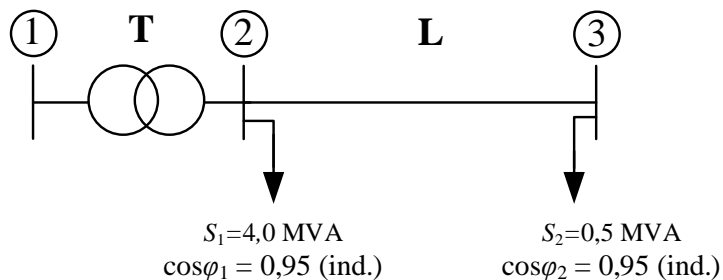
$$Q_c = \frac{P_l \cdot R_l + Q_l \cdot X_l}{X_l} - \frac{\Delta U_l \cdot U_n}{X_l} = 4,8214 \cdot 10^5 \text{ var}$$

Odpowiedź

Do układu należy podłączyć baterię kondensatorów o wartości 482 kvar, aby spadek napięcia po wzroście obciążania nie uległ zmianie.

Zadanie 5

W układzie elektroenergetycznym przedstawionym na rysunku 1 należy wyznaczyć całkowite straty mocy czynnej i biernej.



Dane układu:

Transformator T $S_n = 6,3 \text{ MVA}$, $U_{1n} = 115 \text{ kV}$, $U_{2n} = 16,5 \text{ kV}$, $u_k\% = 11\%$, $\Delta P_o = 42 \text{ kW}$,
 $\Delta P_j = 8,0 \text{ kW}$, $\Delta Q_j = 31,5 \text{ kvar}$, $\Delta Q_o = 693 \text{ kvar}$, $i_o = 0,5\%$

Linia L $\text{AFL-6 } 70 \text{ mm}^2$, $U_n = 15,0 \text{ kV}$, $l = 10 \text{ km}$; $\rho = 2,82 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, $x_L = 0,4 \Omega/\text{km}$

Rozwiązanie

W pierwszej kolejności można obliczyć straty mocy występujące w linii elektroenergetycznej typu AFL-6 70 mm². W tym celu należy wyznaczyć parametry tej linii.

$$R_l = \rho \cdot \frac{1 \cdot 1000}{S \cdot 10^{-6}} = 4,0286 \Omega$$
$$X_l = x_l \cdot l = 4 \Omega$$
$$\Delta P_l = \frac{S_1}{U_n^2} \cdot R_l = 4476,1905 \text{ W}$$
$$\Delta Q_l = \frac{S_1}{U_n^2} \cdot X_l = 4444,4444 \text{ var}$$

W kolejnym kroku można wyznaczyć straty występujące w transformatorze. W tym celu najpierw należy wyznaczyć całkowite obciążenie transformatora.

$$P_{\text{obc}} = s_1 \cdot \cos\varphi_1 + s_2 \cdot \cos\varphi_2 + \Delta P_l = 4,2795 \cdot 10^6 \text{ W}$$
$$Q_{\text{obc}} = s_1 \cdot \sin(\arccos(\cos\varphi_1)) + s_2 \cdot \sin(\arccos(\cos\varphi_2)) + \Delta Q_l = 1,4096 \cdot 10^6 \text{ var}$$
$$S_{\text{obc}} = \sqrt{P_{\text{obc}}^2 + Q_{\text{obc}}^2} = 4,5056 \cdot 10^6 \text{ VA}$$

Straty występujące w transformatorze przy obciążeniu go mocą S_{obc} .

$$\Delta P_{\text{TR}} = \Delta P_j + \Delta P_o \cdot \left(\frac{S_{\text{obc}}}{S_n}\right)^2 = 29482,3293 \text{ W}$$
$$\Delta Q_{\text{TR}} = \Delta Q_j + \Delta Q_o \cdot \left(\frac{S_{\text{obc}}}{S_n}\right)^2 = 3,8596 \cdot 10^5 \text{ var}$$

Całkowite straty mocy czynnej i biernej w układzie wynoszą:

$$\Delta P = \Delta P_l + \Delta P_{\text{TR}} = 33958,5198 \text{ W}$$
$$\Delta Q = \Delta Q_l + \Delta Q_{\text{TR}} = 3,904 \cdot 10^5 \text{ var}$$

Odpowiedź

Całkowite straty mocy czynnej wynoszą 34,0 kW, natomiast straty mocy biernej wynoszą 390 kVar.