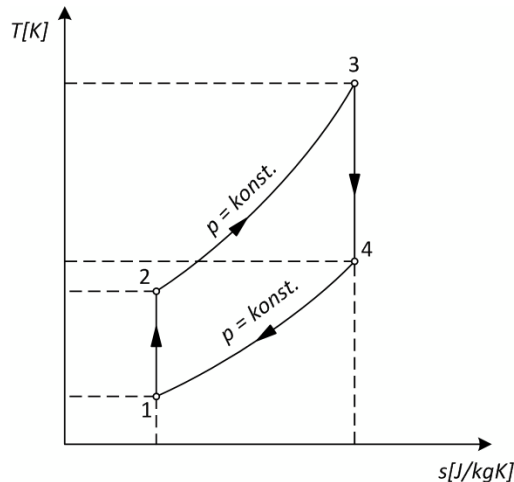


Задаци термоелектране са гасном турбином

8. У термоелектрани са гасном турбином одвија се идеални Jouleov (Braytonov) кружни процес. Температура идеалног гаса ($R=287\text{J/kgK}$ и $k=1,4$) на улазу у компресор је 25°C . Однос притисака гаса у кружном процесу је 6. Уколико је рад који се добија на осовини плинске турбина два пута већи од рада потребног за погон компресора, колике су минимална и максимална температура? Колики је степен корисног дејства процеса?



Решење: Потребно је нацртати замену шему и повезати је са тачкама на T-S дијаграму.

Такође потребно је упамтити односе притисака и температура у циклусу.

$$R=287 \text{ J/kgK}$$

$$k=1,4$$

$$T_1=25^\circ\text{C}=298,15\text{K}$$

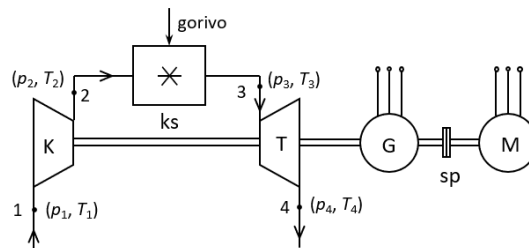
$$p_2/p_1=p_3/p_4=6$$

$$W_T/W_K=2$$

$$T_{\min}=T_1=298,15 \text{ K}$$

$$T_{\max}=T_3=?$$

$$h=c_p \cdot T$$



$$p_1 \approx p_4 \ll p_2 \approx p_3$$

$$T_3 \gg T_2 < T_4 \gg T_1$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{k_K} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow T_2 = T_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 298,5 \cdot 6^{\frac{0,4}{1,4}} = 497,5 \text{ K}$$

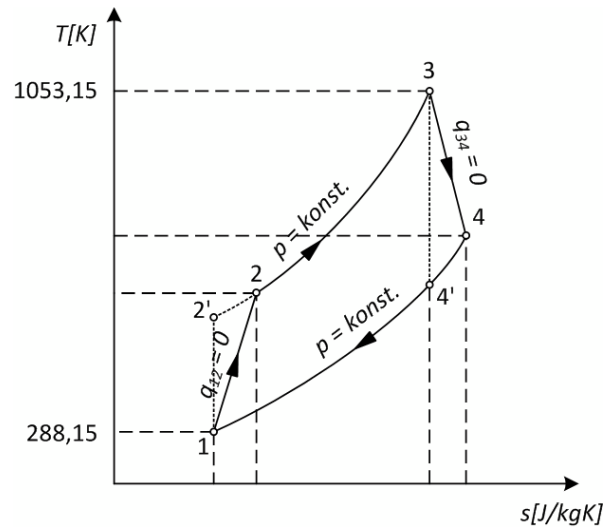
$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{k_K} = \left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{T_3}{T_4} = 6^{\frac{0,4}{1,4}}$$

$$\frac{W_T}{W_K} = \frac{c_p(T_3-T_4)}{c_p(T_2-T_1)} = 2 \rightarrow T_3 = \frac{2(T_2-T_1)}{1-\frac{T_1}{T_2}} = 995 \text{ K} = T_{\max}$$

$$\eta = \frac{W_T - W_K}{Q_1} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2} = \frac{(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)}{T_3 - T_2}$$

$$\eta = \frac{1 - \frac{T_1}{T_2} - \frac{T_2 - T_1}{T_3}}{1 - \frac{T_2}{T_3}} \approx 1 - \frac{T_1}{T_2} = \mathbf{0,401}$$

9. Деснокретни Браутонов кружни процес са идеалним гасом састоји се од реалне адијабатске компресије и експанзије. На улазу у компресор гас има температуру 15°C и притисак 1 bar, а на излазу из компресора притисак 5 bara. Температура гаса на улазу у турбину износи 780°C . Степен корисног дејства за компресора износи 0,83, а за турбину 0,85. Колико износи степен корисног дејства целог кружног процеса?



Решење:

$$R=287 \text{ J/kgK}$$

$$k=1,4$$

$$p_1=p_4=1 \text{ bar}$$

$$p_2=p_3=5 \text{ bar}$$

$$T_1=15^\circ\text{C}=288,15\text{K}$$

$$T_3=780^\circ\text{C}=1053,15\text{K}$$

$$\eta_{ik}=0,83$$

$$\eta_{it}=0,85$$

$$\eta = \frac{W_T - W_K}{Q_1} = \frac{h_3 - h_4 - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2} = \frac{C_p T_3 - T_4 - (T_2 - T_1)}{C_p T_3 - T_2} = ?$$

$$T_2 = ? \quad T_4 = ?$$

$$\eta_{iT} = \frac{W_{\text{realni ciklus}}}{W_{\text{idealni ciklus}}} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4'}} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{4'}} = 0,85$$

$$\frac{T_{4'}}{T_3} = \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{k_K} = \left(\frac{1}{5}\right)^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow T_{4'} = 1053,15 \cdot \left(\frac{1}{5}\right)^{\frac{0,4}{1,4}} = 664,9K$$

$$T_4 = T_3 - \eta_{iT}(T_3 - T_{4'}) = 1053,15 - 0,85(1053,15 - 664,9) = \mathbf{723,1K}$$

$$\eta_{iK} = \frac{W_{realni\ ciklus}}{W_{idealni\ ciklus}} = \frac{T_1 - T_{2'}}{T_1 - T_2} = 0,85$$

$$T_{2'} = 288,15 \cdot (5)^{\frac{0,4}{1,4}} = 456,4K$$

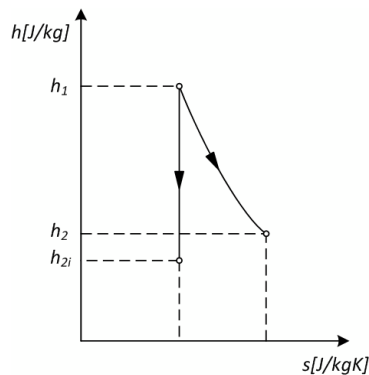
$$T_2 = T_1 - (T_1 - T_{2'})/\eta_{iT} = 288,15 - (288,15 - 456,4)/0,83 = \mathbf{490,9K}$$

$$\eta = \frac{C_p T_3 - T_4 - (T_2 - T_1)}{C_p T_3 - T_2} = \frac{1053,15 - 723,1 + 288,15 - 490,9}{1053,15 - 490,9} = \mathbf{0,226}$$

Ако би процес био идеалан онда важи:

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_{2'}} = 0,369$$

- 10.** Идеални гас ($c_p=1,005\text{kJ/kgK}$, $k=1,4$) експандира у гасној турбини од 7 бара и 600°C на 1 бар и 250°C . За време експанзије 9kJ/kg топлотне енергије прешло је у околину притиска 1бар и температуре 15°C . Одредите степен корисног дејства турбине. Занемарите промену кинетичке и потенцијалне енергије идеалног гаса за време процеса у турбини.



Решење:

$$p_1=p_4=1\text{ bar}$$

$$p_2=p_3=7\text{ bar}$$

$$T_1=250^\circ\text{C}=523,15\text{K}$$

$$T_3=600^\circ\text{C}=873,15\text{K}$$

$$T_{\text{OK}}=15^\circ\text{C}=288,15\text{K}$$

$$Q_{\text{OK}}=9\text{kJ/kg}$$

$$p_{\text{OK}}=1\text{ bar}$$

$$W_{Tidealno} = h_3 - h_{4'} = C_p(T_3 - T_{4'})$$

$$W_{Trealno} = Q_{OK} + h_3 - h_4 = Q_{OK} + C_p(T_3 - T_4)$$

$$W_{Trealno} = 9 + 1,005 \cdot (873,15 - 523,15) = \mathbf{360,75}$$

$$\frac{T_{4'}}{T_3} = \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{k_K} = \left(\frac{1}{7}\right)^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow T_{4'} = 873,15 \cdot \left(\frac{1}{7}\right)^{\frac{0,4}{1,4}} = 500,8K$$

$$W_{Tidealno} = C_p(T_3 - T_{4'}) = 1,005 \cdot (873,15 - 500,15) = \mathbf{374,86}$$

$$\eta_{iT} = \frac{W_{realni\ ciklus}}{W_{idealni\ ciklus}} = \frac{360,75}{375,86} = \mathbf{0,96}$$

- 11.** Термоелектрана као гориво користи угаљ топлотне моћи 26MJ/kg са садржајем сумпора од 1%. Снага генератора износи 400MW, ефикасност конверзије топлотне енергије у електричну 33% и фактор оптерећења је 0,74. Колика је маса сумпордиоксида (SO₂) испуштеног из електране током једне године?

Решење:

$E_{el} = 400 \cdot 10^6 W \cdot 365 \cdot 24 h \cdot 3600 s/h \cdot 0,74 = 9334,656 \cdot 10^{12} J$ енергија коју термоелектрана произведе

$E_{top} = E_{el} / \eta = 9334,656 \cdot 10^{12} / 0,33 = 28286,836 \cdot 10^{12} J$ енергија коју термоелектрана користи сагоревањем угља

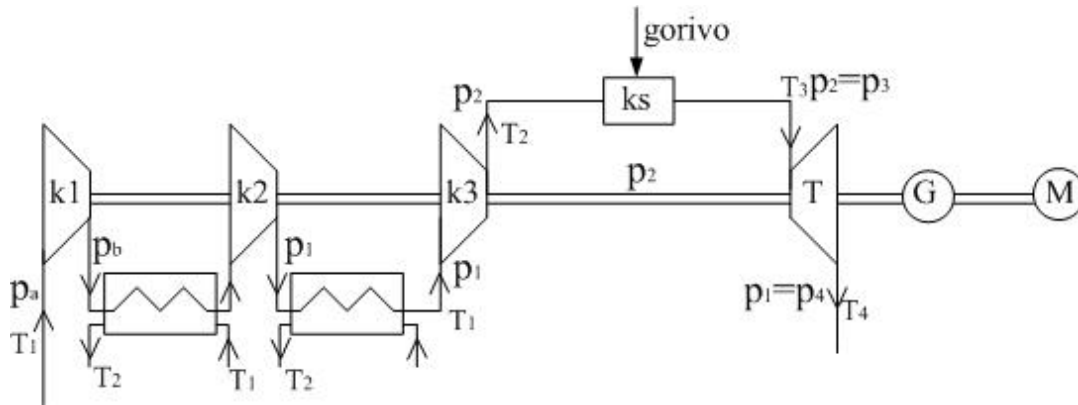
$m_g = E_{top} / H = 28286,836 \cdot 10^{12} J / 26 \cdot 10^6 J/kg = 1087,955 \cdot 10^6 kg$ маса урошеног угља, где је Н топлотна моћ угља који се користи у термоелектрани

$m(S) = m_g \cdot CO(S) = 10,88 \cdot 10^6 kg$ маса сумпора садржаног у годишњој утросњи угља

$1\text{ Kmol S} + 1\text{ Kmol O}_2 = 1\text{ Kmol SO}_2$

$32\text{ kg S} + 32\text{ kg O}_2 = 64\text{ kg SO}_2 \rightarrow 10,88 \cdot 10^6\text{ kg S} \times 2 = \mathbf{21\ 760\ t/god\ SO}_2$

- 12.** За постројење са гасном турбином одредити максималну температуру. Температура идеалног гаса ($R=287J/kgK$, $k=1,4$) на изласку из компресора k_3 је $T_2=200^\circ C$. Однос притисака на улазу и излазу из компресора је $p_1:p_2=1:216$. Уколико је рад који се добија на осовини гасне турбине два пута већи од рада потребног за погон компресора, колики је степен корисног дејства?



Решење:

$$p_a/p_2 = 1/216$$

$$T_2 = 200^\circ\text{C} = 473\text{K}$$

$$R = 287 \text{ J/kgK}$$

$$k = 1,4$$

$$W_t = 2W_k$$

$$\frac{p_b}{p_a} = \frac{p_1}{p_b} = \frac{p_2}{p_1}$$

$$\frac{p_{n+1}}{p_a} = \frac{p_2}{p_a} = \left(\frac{p_b}{p_a}\right)^3 = \frac{216}{1} = 6^3 \rightarrow \frac{p_2}{p_1} = 6$$

$$\eta = \frac{W_T - W_K}{Q_1} = \frac{h_3 - h_4 - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2} = \frac{C_p T_3 - T_4 - (T_2 - T_1)}{C_p T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{k_K} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 6^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 6^{0,285} \rightarrow T_1 = T_2/6^{0,285} = 473/1,66 = 284 \text{ K}$$

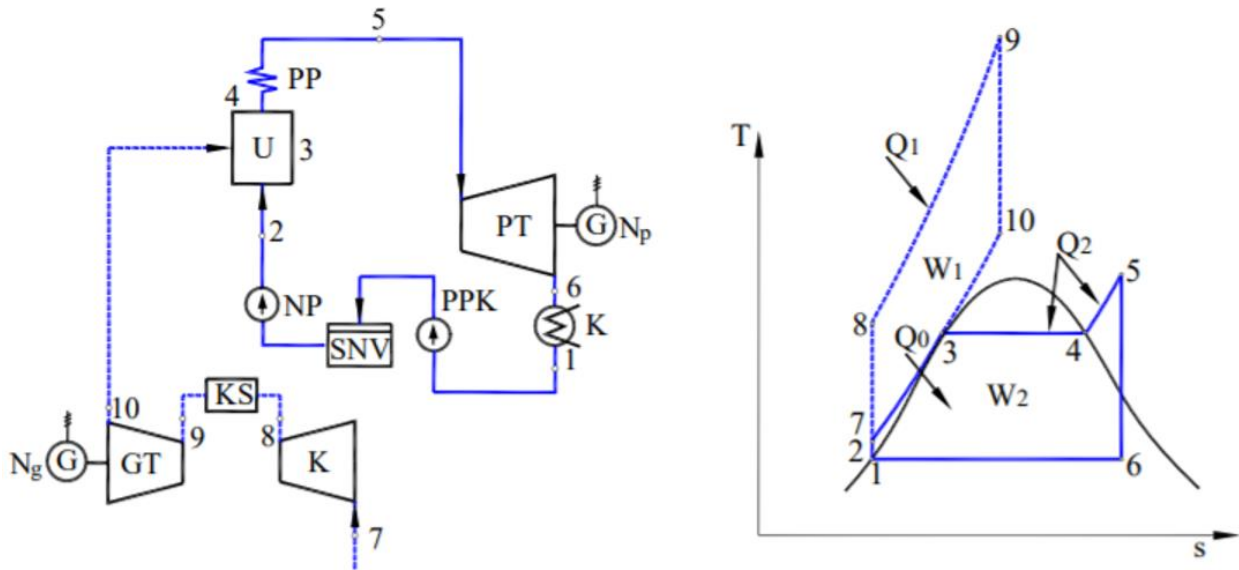
$$\frac{W_T}{W_K} = \frac{T_3 - T_4}{T_2 - T_1} = 2 \rightarrow T_3 = \frac{2(T_2 - T_1)}{1 - \frac{T_1}{T_2}} = 945 \text{ K}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{k_K} = \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{T_4}{T_3} = 6^{\frac{0,4}{1,4}} \rightarrow T_4 = 567 \text{ K}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{567 - 284}{945 - 473} = 0,4$$

13. Когенерацијско постројење приказано на слици је комбиновано од парне турбине и гасне турбине. У циклусу са парном турбином одвија се идеални Ранкинеов кружни процес са прегрејаном паром (PP). На улазу у турбину параметри паре су: притисак 5 МПа

и енталпија 3500 kJ/kg . Проток паре је 136 kg/s. На излазу из турбине параметри мокре паре су: притисак 5 kPa и енталпија 2300 kJ/kg. Енталпија воде на улазу у котао износи 300 kJ/kg. Прорачун извршити с константном специфичном запремином кондензата (воде) $v = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$. Температура гасова пред гасном турбином једнака $800 \text{ }^\circ\text{C}$, а температура гаса на изласку из компресора је $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Одредити степен корисног дејства комплетног когенерационог постројења ако је енергија $Q_0 \approx h_3 - h_2$? Одредити снагу искоришћене парне турбине? Специфична топлота гаса у гасном делу постројења је $C_p = 1005 \text{ J/kgK}$.



Решење:

$$R = 287 \text{ J/kgK}$$

$$k = 1,4$$

$$p_8 \approx p_9 = 25 \text{ Мра}$$

$$p_7 \approx p_{10} \approx p_2 \approx p_3 \approx p_4 \approx p_5 = 5 \text{ Мра}$$

$$p_1 \approx p_6 = 0,5 \text{ Мра}$$

$$T_9 = 800 \text{ }^\circ\text{C} = 1073 \text{ K}$$

$$T_8 = 200 \text{ }^\circ\text{C} = 473 \text{ K}$$

$$h_5 = 3500 \text{ kJ/kg}$$

$$q = 150 \text{ [kg/s]} \text{ проток паре}$$

$$V = 0,001 \text{ [m}^3/\text{kg]}$$

$$h_6 = 2300 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 500 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 300 \text{ kJ/kg}$$

Гасно постројење:

$$\eta = \frac{W_T - W_K}{Q_1} = \frac{h_3 - h_4 - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2} = \frac{C_p T_3 - T_4 - (T_2 - T_1)}{C_p (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$Wg = W_{TG} - W_{KG} = h_9 - h_{10} - (h_8 - h_7) = C_p(T_9 - T_{10} - (T_8 - T_7))$$

$$Q_1 = C_p(T_9 - T_{10}) = 780 \text{ J/kgK} (1073 - 769,1) \text{ K} = 237,042 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{T_8}{T_7} = \left(\frac{p_8}{p_7}\right)^{k_K} = \left(\frac{p_9}{p_{10}}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{T_9}{T_{10}} = 5^{\frac{0,4}{1,4}} = 1,58$$

$$T_{10} = T_9 / 1,58 = 1073 / 1,58 = 769,1 \text{ K}$$

$$T_7 = T_8 / 1,58 = 473 / 1,58 = 299,4 \text{ K}$$

$$Q_1 = C_p(T_9 - T_{10}) = 1005 \text{ J/kgK} (1073 - 769,1) \text{ K} = 305,42 \text{ kJ/kg}$$

$$W_1 = Wg = 1005 (1073 - 769,1 - 473 + 299,4) = 130,95 \text{ kJ/kg}$$

Парни део постројења:

$$Q_2 = h_5 - h_3 = 3000 \text{ kJ/kg}$$

$$Wp = W_{PT} - W_K = h_5 - h_6 - h_2 + h_1$$

$$A_{56} = h_5 - h_6 = 3500 - 2300 = 1200 \text{ kJ/kg}$$

$$P_i = A_{56} \times q = 1200 \text{ kJ/kg} \times 150 \text{ kg/s} = \mathbf{180 \text{ MW}} \text{ снага парне турбине}$$

$$A_{21} = V \times (p_2 - p_1) = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg} \times (5 - 0,5) = 4,5 \text{ kJ/kg}$$

$$W_2 = W_{PT} - W_K = h_5 - h_6 - h_2 + h_1 = 1200 - 4,5 = 1195,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = \frac{W_1 + W_K}{Q_1 + Q_2} = \frac{1195,5 + 130,95}{3000 + 305,42} = \mathbf{0,401}$$