

A

ZAD (4 boda)

Zatvoreni sustav, što sadrži 20 kg idealnog plina ($R = 0,287 \text{ kJ/kgK}$, $\kappa = 1,4$), podvrgnut je desnokretnom Carnotovom kružnom procesu. Temperature su granice procesa 300 i 1000 K. Tlak nakon adijabatske ekspanzije je 22 kPa, a nakon adijabatske kompresije 1700 kPa.

Odrediti:

- temperature i tlakove u četiri karakteristične točke i nacrtati proces u p,v dijagramu,
- dovedenu i odvedenu toplinsku energiju,
- dobiveni mehanički rad,
- termički stupanj djelovanja kružnog procesa.

ZAD (2 boda)

Binarna geotermalna TE u Costa Rici snage 15 MWe koristi Rankineov kružni proces u kome je specifična entalpija na ulazu u turbinu 530 kJ/kg, na izlazu iz kondenzatora 15,2 kJ/kg i na izlazu iz pojne pumpe 18,2 kJ/kg. Gubici električnog generatora su zanemarivi. Maseni protok radnog medija u kružnom procesu je 250 kg/s. Odrediti:

- specifičnu entalpiju na izlazu iz turbine,
- termički stupanj djelovanja kružnog procesa.

ZAD (3 boda)

Snaga termoelektrane s parnom turbinom je 45 MWe. Tlak je vodene pare na ulazu u turbinu 7 MPa, a temperatura 500 °C. Tlak u kondenzatoru je 10 kPa. Odredite:

- sadržaj pare na izlazu iz turbine,
- termički stupanj djelovanja Rankineovog kružnog procesa,
- porast temperature rashladne vode koja odvodi toplinu iz kondenzatora. Protok vode za hlađenje je 2000 kg/s, a njezin specifični toplinski kapacitet 4,18 kJ/kgK.

Proces u termoelektrani smatrajte stacionarnim i jednodimenzionalnim, a promjene kinetičke i potencijalne energije fluida zanemarite.

Iz parnih tablica očitane su ove vrijednosti:

- tlak 10 kPa: $v' = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$, $s' = 0,649 \text{ kJ/kgK}$, $s'' = 8,151 \text{ kJ/kgK}$, $h' = 191,8 \text{ kJ/kg}$, $h'' = 2584 \text{ kJ/kg}$
- tlak 7 MPa, 500 °C: $h = 3410 \text{ kJ/kg}$, $s = 7 \text{ kJ/kgK}$

ZAD (3 boda)

Tlak su i temperatura vodene pare na ulazu u visokotlačni dio turbine 8 MPa i 500 °C. Para ekspandira na tlak 2 MPa i zatim se izobarno zagrijava u međupregrijaču pare ponovno na 500 °C da bi zatim ekspandirala u niskotlačnom dijelu turbine do tlaka 100 kPa.

- Ukoliko je snaga turbine 50 MW, koliki je maseni protok vodene pare?
- Koliko se toplinske snage dovodi u međupregrijaču pare?
- Koliki bi morao biti maseni protok pare ako je unutrašnji stupanj djelovanja turbine 88%?

Opisani proces smatrajte stacionarnim i jednodimenzionalnim, a promjene potencijalne i kinetičke energije pare zanemarite. Iz parnih tablica očitane su ove vrijednosti:

- 8 MPa, 500 °C: $h = 3398 \text{ kJ/kg}$, $s = 6,726 \text{ kJ/kgK}$
- 2 MPa, $s = 6,726 \text{ kJ/kgK}$: $h = 3000 \text{ kJ/kg}$
- 2 MPa, 500 °C: $h = 3567 \text{ kJ/kg}$, $s = 7,432 \text{ kJ/kgK}$
- 100 kPa, $s = 7,432 \text{ kJ/kgK}$: $h = 2702 \text{ kJ/kg}$

B

ZAD (4 boda)

Zatvoreni sustav, što sadrži 30 kg idealnog plina ($R = 0,287 \text{ kJ/kgK}$, $\kappa = 1,4$), podvrgnut je desnokretnom Carnotovom kružnom procesu. Temperaturne su granice procesa 300 i 1000 K. Tlak nakon adijabatske ekspanzije je 20 kPa, a nakon adijabatske kompresije 1800 kPa.

Odrediti:

- temperature i tlakove u četiri karakteristične točke i nacrtati proces u p,v dijagramu,
- dovedenu i odvedenu toplinsku energiju,
- dobiveni mehanički rad,
- termički stupanj djelovanja kružnog procesa.

ZAD (2 boda)

Binarna geotermalna TE u Costa Rici snage 15 MWe koristi Rankineov kružni proces u kome je specifična entalpija na ulazu u turbinu 530 kJ/kg, na izlazu iz kondenzatora 15,2 kJ/kg i na izlazu iz pojne pumpe 18,2 kJ/kg. Gubici električnog generatora su zanemarivi. Maseni protok radnog medija u kružnom procesu je 210 kg/s. Odrediti:

- specifičnu entalpiju na izlazu iz turbine,
- termički stupanj djelovanja kružnog procesa.

ZAD (3 boda)

Snaga termoelektrane s parnom turbinom je 45 MWe. Tlak je vodene pare na ulazu u turbinu 7 MPa, a temperatura 500 °C. Tlak u kondenzatoru je 10 kPa. Odredite:

- sadržaj pare na izlazu iz turbine,
- termički stupanj djelovanja Rankineovog kružnog procesa,
- porast temperature rashladne vode koja odvodi toplinu iz kondenzatora. Protok vode za hlađenje je 2000 kg/s, a njezin specifični toplinski kapacitet 4,18 kJ/kgK.

Proces u termoelektrani smatrajte stacionarnim i jednodimenzionalnim, a promjene kinetičke i potencijalne energije fluida zanemarite.

Iz parnih tablica očitane su ove vrijednosti:

- tlak 10 kPa: $v' = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$, $s' = 0,649 \text{ kJ/kgK}$, $s'' = 8,151 \text{ kJ/kgK}$, $h' = 191,8 \text{ kJ/kg}$, $h'' = 2584 \text{ kJ/kg}$
- tlak 7 MPa, 500 °C: $h = 3410 \text{ kJ/kg}$, $s = 6,799 \text{ kJ/kgK}$

ZAD (3 boda)

Tlak su i temperatura vodene pare na ulazu u visokotlačni dio turbine 8 MPa i 500 °C. Para ekspandira na tlak 2 MPa i zatim se izobarno zagrijava u međupregrijaču pare ponovno na 500 °C da bi zatim ekspandirala u niskotlačnom dijelu turbine do tlaka 100 kPa.

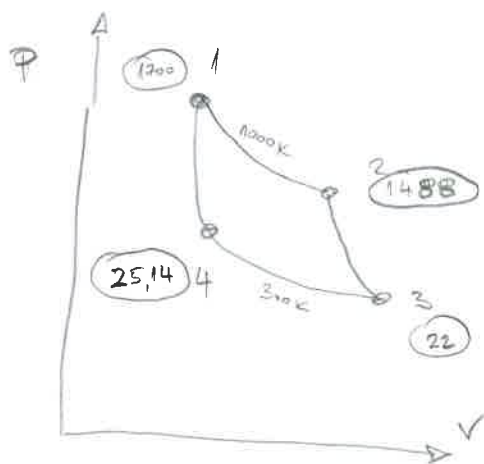
- Ukoliko je snaga turbine 80 MW, koliki je maseni protok vodene pare?
- Koliko se toplinske snage dovodi u međupregrijaču pare?
- Koliki bi morao biti maseni protok pare ako je unutrašnji stupanj djelovanja turbine 84%?

Opisani proces smatrajte stacionarnim i jednodimenzionalnim, a promjene potencijalne i kinetičke energije pare zanemarite. Iz parnih tablica očitane su ove vrijednosti:

- 8 MPa, 500 °C: $h = 3398 \text{ kJ/kg}$, $s = 6,726 \text{ kJ/kgK}$
- 2 MPa, $s = 6,726 \text{ kJ/kgK}$: $h = 3000 \text{ kJ/kg}$
- 2 MPa, 500 °C: $h = 3467 \text{ kJ/kg}$, $s = 7,432 \text{ kJ/kgK}$
- 100 kPa, $s = 7,432 \text{ kJ/kgK}$: $h = 2702 \text{ kJ/kg}$

Zus!

A



$$\left(\frac{P_1}{P_4}\right) = \left(\frac{T_1}{T_4}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = \frac{1,4}{0,4} = 3,5$$

$$\frac{P_1}{P_4} = 67,62$$

$$P_4 = 25,14 \text{ kPa}$$

$$\frac{P_2}{P_3} = 67,62 \Rightarrow P_2 = 1488$$

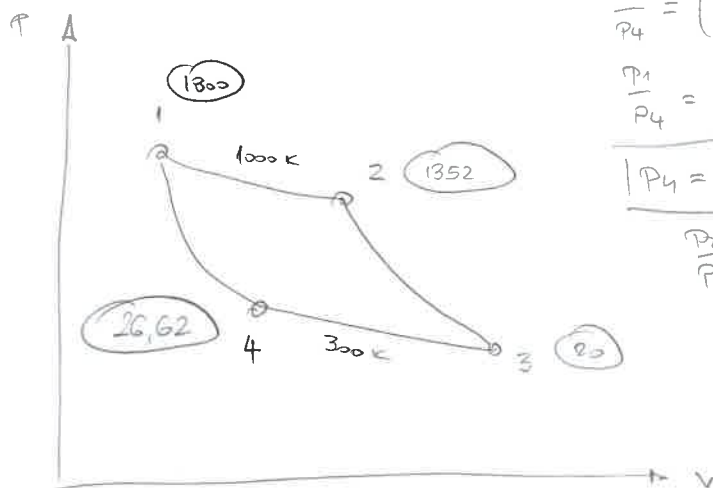
$$Q_{12} = RT \ln \frac{P_1}{P_2} = 1000 \cdot 0,287 \cdot \ln \frac{1700}{1488} = 38,23 \text{ kJ/kg} \times 20 = 764 \text{ kJ}$$

$$Q_{34} = RT \ln \frac{P_3}{P_4} = -300 \cdot 0,287 \cdot \ln \frac{25,14}{22} = -11,43 \text{ kJ/kg} \times 20 = -228 \text{ kJ}$$

$$W = Q_{12} + Q_{34} = 26,75 \text{ kJ/kg} = 535 \text{ kJ}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{300}{1000} = 0,7 = \frac{535}{764} = 0,7$$

B



$$\frac{P_1}{P_4} = \left(\frac{T_1}{T_4}\right)^{3,5}$$

$$\frac{P_1}{P_4} = 67,62$$

$$P_4 = 26,62 \text{ kPa}$$

$$\frac{P_2}{P_3} = 67,62 \Rightarrow P_2 = 1352 \text{ kPa}$$

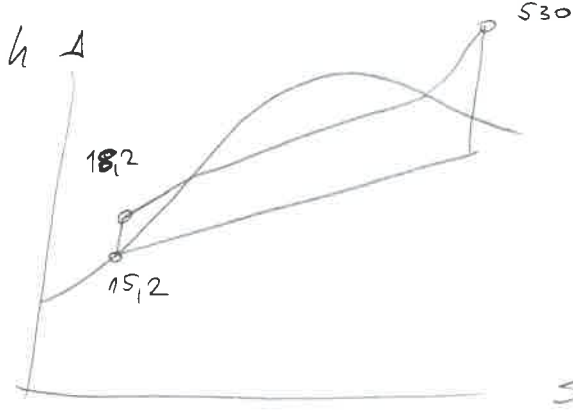
$$Q_{12} = RT \ln \frac{P_1}{P_2} = 1000 \cdot 0,287 \cdot \ln \frac{1800}{1352} = 82,14 \text{ kJ/kg} \times 30 = 2464 \text{ kJ}$$

$$Q_{34} = RT \ln \frac{P_3}{P_4} = -300 \cdot 0,287 \cdot \ln \frac{26,62}{20} = -24,62 \text{ kJ/kg} \times 30 = -739 \text{ kJ}$$

$$W = Q_{12} + Q_{34} = 57,52 \text{ kJ/kg} = 1,73 \text{ kJ}$$

$$\eta = 1 - \frac{300}{1000} = 0,7 = \frac{1,73}{2,46} = 0,7$$

7AD2



$$\boxed{A} \quad P = \dot{m} \Delta h \Rightarrow \Delta h = P / \dot{m} = 15 \cdot 10^6 / 250 = 60 \text{ kJ/kg}$$
$$h_{it} = 530 - 60 = 470 \text{ kJ/kg}$$

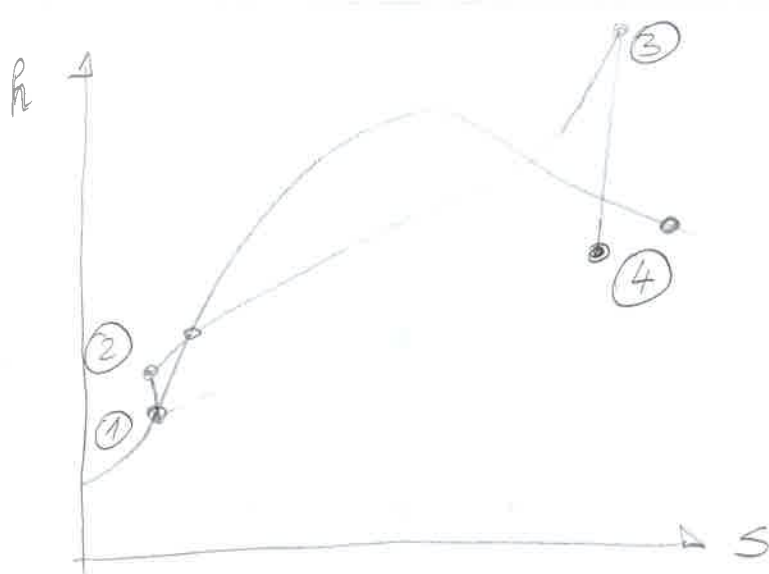
$$\boxed{B} \quad P = \dot{m} \Delta h \Rightarrow \Delta h = 15 \cdot 10^6 / 210 = 71,43 \text{ kJ/kg}$$
$$h_{it} = 530 - 71,43 = 458,6 \text{ kJ/kg}$$

$$\boxed{A} \quad \eta = \frac{60 - 3}{530 - 18,2} = \frac{57}{511,8} = 0,111$$

$$\boxed{B} \quad \eta = \frac{71,43 - 3}{511,8} = 0,134$$

7.10.3 //

A



$$x_4 (s'' - s') = s_4 - s'$$

$$x_4 (h'' - h') = h_4 - h'$$

$$x_4 = \frac{7 - 0,649}{8,151 - 0,649} = 0,847$$

$$h_4 = 0,847 (2584 - 191,3) + 191,3$$

$$h_4 = 2213 \text{ J/kg}$$

1192

$$\eta_+ = \frac{3410 - 2213 - 6,99}{3410 - 198,79} = 0,363$$

3211,21

$$w_p = vdp = 0,001 \cdot (7 \cdot 10^6 - 10 \cdot 10^3) = 6,99 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_1 + 6,99 = 191,3 + 6,99 = 198,79 \text{ J/kg}$$

$$\dot{m} = \frac{45 \cdot 10^6}{(3410 - 2213) \cdot 10^3} = 37,75 \text{ kg/sec}$$

$$\dot{Q}_{odu} = \dot{m} \cdot \Delta h = 37,75 \cdot (2213 - 191,3) = \dot{m} \cdot c \Delta T = 2000 \cdot 4,18 \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{76489}{8360} = 9,15 \text{ K}$$

B

$$x_4 (s'' - s') = s_4 - s'$$

$$x_4 (h'' - h') = h_4 - h'$$

$$x_4 = \frac{6,799 - 0,649}{8,151 - 0,649} = 0,82$$

$$h_4 = 0,82 (2584 - 191,3) + 191,3$$

$$h_4 = 2153 \text{ kJ/kg}$$

$$w_p = vdp = 0,001 \cdot (7 \cdot 10^6 - 10 \cdot 10^3) = 6,99 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_1 + 6,99 = 198,79 \text{ J/kg}$$

1257

$$\eta_+ = \frac{3410 - 2153 - 6,99}{3410 - 198,79} = 0,389$$

3211,21

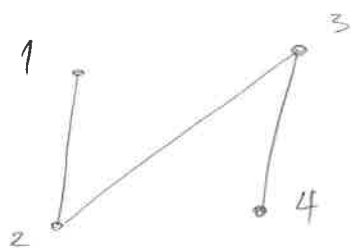
$$\dot{m} = \frac{45 \cdot 10^6}{(3410 - 2153) \cdot 10^3} = 35,8 \text{ kg/sec}$$

$$\dot{Q}_{odu} = 35,8 \cdot (2153 - 191,3) = 2000 \cdot 4,18 \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{70211}{8360} = 8,4 \text{ K}$$

2004

A



$$\dot{m} [h_1 - h_2 + h_3 - h_4] = 50 \cdot 10^3$$

$$\dot{m} = \frac{50 \cdot 10^3}{3398 - 3000 + 3567 - 2702} = 39,6 \text{ kg/sec}$$

$$\dot{Q}_m = \dot{m} \cdot (h_3 - h_2) = 39,6 \cdot (3567 - 3000) = 22,45 \text{ MW}$$

$$\dot{m} = \frac{39,6}{0,88} = 45 \text{ kg/sec}$$

B

$$\dot{m} = \frac{80 \cdot 10^3}{3398 - 3000 + 3467 - 2702} = 68,79 \text{ kg/sec}$$

$$\dot{Q}_m = \dot{m} \cdot (h_3 - h_2) = 68,79 \cdot (3467 - 3000) = 32,12 \text{ MW}$$

$$\dot{m} = \frac{68,79}{0,84} = 81,9 \text{ kg/sec}$$

20.5

A

$$\Delta S = C_p \ln \frac{T_{\text{kon}}}{T_{\text{pod}}} - R \ln \frac{P_{\text{kon}}}{P_{\text{pod}}}$$

$$T_{\text{kon}} = 523,15$$

$$T_{\text{pod}} = 873,15$$

$$T_{02} = 288,15$$

$$\Delta S = 1005 \ln \frac{523,15}{873,15} - 287 \ln \frac{1}{7} = 135,4 \text{ J/kgK}$$

$$\Delta S_{02} = \frac{8000}{288,15} = 27,76 \text{ J/kgK}$$

$$\Delta S_{02} = 163,16 \text{ J/kgK}$$

$$G_{\text{subito}} = T_{02} \cdot \Delta S_{02} = 163,16 \cdot 288,15 = 47 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{\text{max}} = h_1 - h_2 - T_{02} (s_1 - s_2)$$

$$W_{\text{max}} = C_p \Delta T - T_{02} \cdot (-\Delta S_T)$$

$$W_{\text{max}} = 1005 \cdot (600 - 300) - 288,15 \cdot (-135,4)$$

$$W_{\text{max}} = 340,52 \text{ kJ/kg}$$

B

$$\Delta S = C_p \ln \frac{T_{\text{kon}}}{T_{\text{pod}}} - R \ln \frac{P_{\text{kon}}}{P_{\text{pod}}}$$

$$T_{\text{kon}} = 523,15 \text{ K}$$

$$T_{\text{pod}} = 873,15 \text{ K}$$

$$T_{02} = 288,15 \text{ K}$$

$$\Delta S_T = 1005 \ln \frac{523,15}{873,15} - 287 \ln \frac{1}{7} = 43,68 \text{ J/kgK}$$

$$\Delta S_{02} = \frac{9000}{288,15} = 31,23 \text{ J/kgK}$$

$$\Delta S_{02} = 74,91 \text{ J/kgK}$$

$$G_{\text{subito}} = T_{02} \cdot \Delta S_{02} = 288,15 \cdot 74,91 = 21,6 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{\text{max}} = h_1 - h_2 - T_{02} \cdot (s_1 - s_2)$$

$$W_{\text{max}} = 1005 \cdot (600 - 250) - 288,15 \cdot (-43,68)$$

$$W_{\text{max}} = 364,34 \text{ kJ/kg}$$

7AD 6
A

$$P_p = \dot{m} \cdot v \cdot dp$$

$$6000 = 80 \cdot \frac{1}{1000} \cdot \Delta p$$

$$\Delta p = 75 \text{ kPa}$$

$$P_{it} = 75 + p_{at} = 75 + 6 = 81 \text{ kPa}$$

$$\Delta W_p = g \Delta z = 9,81 \times 2 = 19,62 \text{ J/kg}$$

$$\Delta W_p = 19,62 \cdot 80 = 1,57 \text{ kW}$$

$$\Delta W_m = \frac{1,57}{0,8} = 1,96 \text{ kW}$$

B

$$5000 = 100 \cdot \frac{1}{1000} \cdot \Delta p$$

$$\Delta p = 50 \text{ kPa}$$

$$P_{it} = 56 \text{ kPa} \quad 19,62 \text{ J/kg}$$

$$\Delta W_p = 100 \cdot 9,81 \times 2 = 1,96 \text{ kW}$$

$$\Delta W_m = \frac{1,96}{0,75} = 2,61 \text{ kW}$$