

1. MI Energijske tehnologije, 30.03.2009.

1. Promatrajte Rankineov kružni proces s nepromijenjenim tlakom u parnom kotlu i kondenzatoru. Povisi li se temperatura pregrijane pare, kako to utječe na sadržaj pare u kondenzatoru:

b) povećava se,

2. Promatrajte Rankineov kružni proces u konvencionalnoj termoelektrani. Ukoliko količina rashladne vode nije ograničavajući element, o kojoj veličini ovisi tlak u kondenzatoru:

a) temperatura rashladne vode,

3. Promatrajte Rankineov kružni proces sa suhom parom čiji se tlak i temperatura ne mijenjaju na ulazu u turbinu. Snizi li se tlak u kondenzatoru, kako to utječe na ukupno odvedenu toplinu iz kondenzatora:

a) smanjuje se,

4. Unutrašnja kalorička energija idealnog plina funkcija je:

c) temperature,

5. Površina krivulje kružnog procesa nije rad u:

d) h,s dijagramu,

6. Koja veličina nije veličina stanja:

c) toplina,

7. Promatrajte desnokretni kružni proces, koji se sastoji od četiri povratljiva procesa, a odvija se po dvije izoterme povezane dvijema adijabatama. Toplina od 1200 J/kg predaje se kružnom procesu pri 800 K. Odredi eksergijski stupanj djelovanja ovog procesa.

d) 1,00

8. Jedan kg idealnog plina u zatvorenom se sustavu komprimira povratljivim procesom od početnog stanja 0,78 m³/kg i 25 °C (stajnje okolice) do konačnog stanja 0,1 m³/kg i 267 °C ($R=0,26$ kJ/kgK, $c_v=0,69$ kJ/kgK). Odredite minimalno obavljeni rad:

b) 136 kJ/kg

TE Obavljeni je tehnički rad parne turbine termoelektrane u jednom satu jednak 1900 MWh, a termički stupanj djelovanja termoelektrane 0,40. Ukoliko je temperatura u kondenzatoru 30 °C, a temperatura rashladne vode 20 °C, odredite uz zanemarenje rada pumpanja:

9. TE koliko se u jednom satu, u kondenzatoru termoelektrane, odvodi u okolicu anergije, u GWh

a) 2,76

10. TE koliki je prirast entropije okolice, u MWh/K

b) 9,72

TE Rankineov se kružni proces provodi u termoelektrani snage 1200 MWe. Tlak je pare na ulazu u turbinu (unutrašnjeg stupnja djelovanja 1) 10 MPa, a temperatura 500 °C. Tlak je u kondenzatoru 10 kPa. Iz parnih tablica očitane su ove karakteristične vrijednosti Rankineovog kružnog procesa:

za tlak 10 kPa: 45,8 °C; $h'=191,8$ kJ/kg;

$h''=2585$ kJ/kg; $s'=0,649$ kJ/kgK; $s''=8,151$ kJ/kgK; $v'=0,0010$ m³/kg; $v''=14,67$ m³/kg

za tlak 10 MPa i temperaturu 500 °C: $h=3375$ kJ/kg; $s=6,600$ kJ/kgK. Odredite:

11. TE sadržaj pare na izlazu iz turbine

d) 0,793

12. TE termički stupanj djelovanja kružnog procesa

b) 0,402

13. TE maseni protok vode (pare), u kg/s

a) 934

HE. Srednji godišnji protok, u m³/s, na vodotoku aproksimira izraz $Q_{sr} = 120 - H/10$ (H je nadmorska visina u m). Odredite:

14. HE bruto energiju vodotoka, uz ukupne gubitke (vode i pada) od 20%, između nadmorske visine zahvata (1200 m n.v.) i ušća rijeke u more

b) $4,95 \cdot 10^9$ kWh

15. HE snagu derivacijske hidroelektrane koja uzima vodu na 500 m nadmorske visine, pri srednjem protoku, s 10 m³/s biološkog minimuma, 15 m visine vode ispred brane, 9% gubitaka u padu do turbinskog postrojenja smještenog na 400 m n.v. koje ima stupanj djelovanja turbine 88%

c) 54,2 MW

Bodovi: 0,6/-0,2 za 1. do 4. i 7.; 0,5/-0,16 za 5. i 6.; 2,5/-0,83 za 8.-15.; 0 za neodgovoreno.

Obavezno predati postupak. Točan odgovor bez postupka/obrazloženja se poništava i ocjenjuje kao netočan odgovor.

1. MI Energijske tehnologije, 30.03.2009.

1. Promatrajte Rankineov kružni proces s nepromijenjenim tlakom u parnom kotlu i kondenzatoru. Povisi li se temperatura pregrijane pare, kako to utječe na sadržaj pare u kondenzatoru:

b) povećava se,

2. Promatrajte Rankineov kružni proces u konvencionalnoj termoelektrani. Ukoliko količina rashladne vode nije ograničavajući element, o kojoj veličini ovisi tlak u kondenzatoru:

a) temperatura rashladne vode,

3. Promatrajte Rankineov kružni proces sa suhom parom čiji se tlak i temperatura ne mijenjaju na ulazu u turbinu. Snizi li se tlak u kondenzatoru, kako to utječe na ukupno odvedenu toplinu iz kondenzatora:

a) smanjuje se,

4. Unutrašnja kalorička energija idealnog plina funkcija je:

c) temperature,

5. Površina krivulje kružnog procesa nije rad u:

d) h,s dijagramu,

6. Koja veličina nije veličina stanja:

c) toplina,

7. Promatrajte desnokretni kružni proces, koji se sastoji od četiri povratljiva procesa, a odvija se po dvije izoterme povezane dvijema adijabatama. Toplina od 1200 J/kg predaje se kružnom procesu pri 800 K. Odredi eksergijski stupanj djelovanja ovog procesa.

d) 1,00

8. Jedan kg idealnog plina u zatvorenom se sustavu komprimira povratljivim procesom od početnog stanja 0,78 m³/kg i 25 °C (stajnje okolice) do konačnog stanja 0,1 m³/kg i 267 °C (R=0,26 kJ/kgK, c_v=0,69 kJ/kgK). Odredite minimalno obavljani rad:

b) 136 kJ/kg

Povećanje temperature povećava entalpiju i entropiju pare, što posljedično, nakon ekspanzije u turbini, rezultira manjim sadržajem vode u mokroj pari.

Ovo i sva slična pitanja u ostalim verzijama se mogu riješiti pomoću h,s ili T,s dijagrama za Rankineov proces.

Temperatura rashladne vode u kondenzatoru, uz potreban protok, određuje temperaturu u kondenzatoru koja predstavlja liniju stalnog tlaka. Manja temperatura u kondenzatoru znači manji tlak.

Smanjivanje tlaka u kondenzatoru pomiče liniju stalnog tlaka i temperature u kondenzatoru niže (u h,s i T,s dijagramima) i to predstavlja, na istoj entropiji područje većeg udjela vode. (Za više detalja pogledajte predavanje.)

Ovo je bio predmet Jouleova pokusa i vjerojatno najviše spominjana stvar na predavanjima, nakon toga da rad i toplina nisu veličine stanja. Ovo je napisano i kao prva formula u podsjetniku: $du=c_vdT$.

Rad u h,s dijagramu predstavlja upravo iznos promjene entalpije i to ne može biti površina.

Najviše spominjano na predavanjima uz to da rad nije veličina stanja i da ovise o načinu promjene stanja te da postoje samo tijekom procesa promjene stanja.

Opisani proces je Carnotov proces koji ima najveći termički stupanj djelovanja i prema tome pretvara svu eksergiju u mehanički rad te je eksergetski stupanj djelovanja 1.

Minimalno obavljani rad je jednak maksimalnom (povratljivom radu koji se može dobiti promjenom stanja plina od konačnog do početnog (jednakog stanju okolice). Ovo je zadatak maksimalnog rada zatvorenog sustava (Podsjetnik):

$$|w_{min}| = eks_{25} = w_{povratljivo} = u - u_{ok} - T_{ok}(s - s_{ok}) + p_{ok}(v - v_{ok})$$

početno stanje je stanje okolice (1), a konačno stanje (2),

$$|w_{min}| = u_2 - u_1 - T_1(s_2 - s_1) + p_1(v_2 - v_1)$$

promjena unutrašnje kaloričke energije je (Podsjetnik):

$$u_2 - u_1 = c_v(T_2 - T_1) = 0,69(267 - 25) = 167 \text{ kJ/kg}$$

$$(s_2 - s_1) = c_v \ln(T_2/T_1) + R \ln(v_2/v_1)$$

$$= 0,69 \ln((267 + 273)/(25 + 273)) + 0,26 \ln(0,1/0,78) = -0,124 \text{ kJ/kgK}$$

$$T_1(s_2 - s_1) = (25 + 273) \cdot (-0,124) = -37 \text{ kJ/kg}$$

$$p_1(v_2 - v_1) = RT_1/v_1 \cdot (v_2 - v_1) = 100(0,1 - 0,78) = -68 \text{ kJ/kg}$$

$$|w_{min}| = 167 - (-37) - 68 = 136 \text{ kJ/kg}$$

TE Obavljeni je tehnički rad parne turbine termoelektrane u jednom satu jednak 1900 MWh, a termički stupanj djelovanja termoelektrane 0,40. Ukoliko je temperatura u kondenzatoru 30 °C, a temperatura rashladne vode 20 °C, odredite uz zanemarenje rada pumpanja:

- 9.TE** koliko se u jednom satu, u kondenzatoru termoelektrane, odvodi u okolicu anergije, u GWh
a) 2,76

- 10.TE** koliki je prirast entropije okolice, u MWh/K
b) 9,72

TE Rankineov se kružni proces provodi u termoelektrani snage 1200 MWe. Tlak je pare na ulazu u turbinu (unutrašnjeg stupnja djelovanja 1) 10 MPa, a temperatura 500 °C. Tlak je u kondenzatoru 10 kPa. Iz parnih tablica očitane su ove karakteristične vrijednosti Rankineovog kružnog procesa:
za tlak 10 kPa: 45,8 °C; $h'=191,8$ kJ/kg; $h''=2585$ kJ/kg; $s'=0,649$ kJ/kgK; $s''=8,151$ kJ/kgK; $v'=0,0010$ m³/kg; $v''=14,67$ m³/kg
za tlak 10 MPa i temperaturu 500 °C: $h=3375$ kJ/kg; $s=6,600$ kJ/kgK.
Odredite:

- 11.TE** sadržaj pare na izlazu iz turbine
d) 0,793
12.TE termički stupanj djelovanja kružnog procesa
b) 0,402
13.TE maseni protok vode (pare), u kg/s
a) 934

Oznake: **1** – izlaz iz kondenzatora;
2 – izlaz iz pumpe;
3 – ulaz u turbinu; **4**– izlaz iz turbine

(h,s dijagram i shema su na drugoj stranici)

Toplina koja se odvodi u okolicu iz kondenzatora je anergija i eksnergija: $Q_{odv} = \text{anergija} + \text{eksnergija}$

$$\text{anergija} = Q_{odv} - \text{eksnergija}$$

odvedena toplina se može odrediti iz snage i stupnja djelovanja, najprije vrijedi da je $W = Q_{dov} - Q_{odv}$ te

$$\eta = \frac{W}{Q_{dov}} \rightarrow Q_{odv} = Q_{dov} - W = \frac{W}{\eta} - W = W \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)$$

$$Q_{odv} = 1900 \left(\frac{1}{0,4} - 1 \right) = 2850 \text{ MWh}$$

eksnergija je jednaka mehaničkom radu koji bi mogli dobiti iz topline koja se odvodi iz kondenzatora (Carnotov stupanj djelovanja između 30 i 20 °C),

$$\text{eksnergija} = Q_{odv} \left(1 - \frac{T_{odv}}{T_{dov}} \right) = 2850 \left(1 - \frac{293}{303} \right) = 94 \text{ MWh}$$

$$\text{anergija} = 2850 - 94 = 2756 \text{ MWh} = 2,76 \text{ GWh}$$

Promjena entropije iznosi $ds = dq/T$ za uvjete konstantne temperature u okolini vrijedi

$$\Delta S = Q_{odv} / T_{ok}$$

$$\Delta S = 2850 / (20+273,15) = 9,72 \text{ MWh/K}$$

Sadržaj pare na izlazu iz turbine se može odrediti preko poznatih vrijednosti za entropiju na izlazu iz turbine (unutrašnji stupanj djelovanja turbine 1 znači izentropsku adijabatsku ekspanziju pare, tj. da je entropija pare na ulazu u turbinu s_3 jednaka entropiji mješavine vode i pare na izlazu iz turbine s_4)

$$s_3 = s_4 = s_{voda.kond} + x'(s_{para.kond} - s_{vod.kond})$$

$$x = \frac{s_4 - s_{voda.kond}}{s_{para.kond} - s_{voda.kond}} = \frac{s_4 - s'}{s'' - s'} = \frac{6,6 - 0,649}{8,151 - 0,649} = 0,793$$

Termički stupanj djelovanja određuje omjer neto dobivenog mehaničkog rada i dovedene topline (ovo je dobro nacrtati shematski ili u T,s dijagramu) i prema oznakama:

$$\eta = \frac{w_t - w_p}{q_{dov}} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{h_3 - h_2}$$

nedostaju h_4 i h_2 , entalpiju h_4 na izlazu iz turbine nalazimo preko entalpija pare i vode u kondenzatoru korištenjem udjela pare:

$$h_4 = h_{voda.kond} + x'(h_{para.kond} - h_{vod.kond}) \text{ ili}$$

$$h_4 = h' + x'(h'' - h') = 191,8 + 0,793(2585 - 191,8) = 2090 \text{ kJ/kg}$$

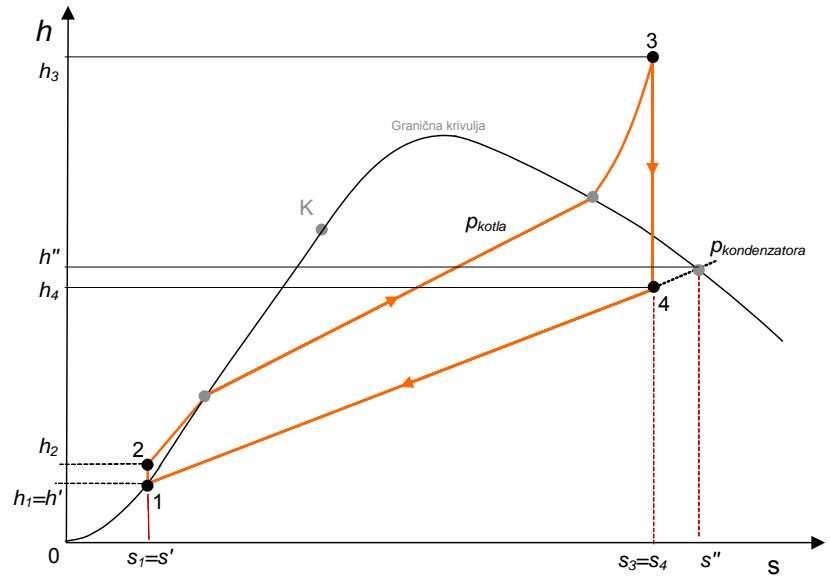
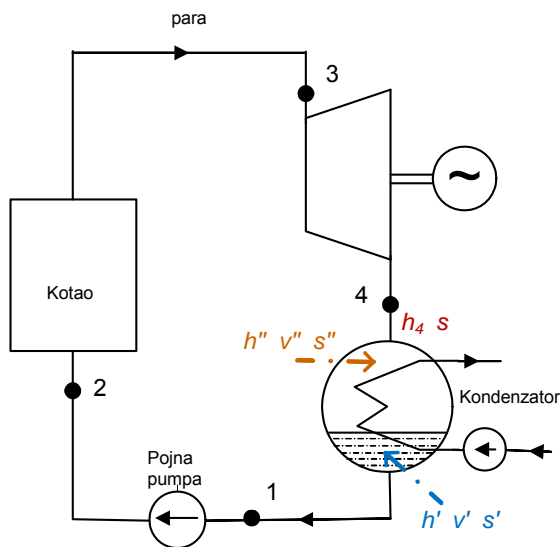
entalpiju h_2 na izlazu iz pumpe nalazimo preko rada pumpanja i entalpije h_1 , dok je rad pumpanja određen specifičnim volumenom i razlikom tlaka između kondenzatora i kotla:

$$h_2 = h_1 + w_p = h' + v'(p_{kotla} - p_{kond}) = 191,8 + 10^{-3}(10^4 - 10) = 202 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = \frac{(3375 - 2090) - (202 - 191,8)}{3375 - 202} = 0,402$$

Maseni protok određuje omjer snage i specifične snage:

$$\dot{m} = \frac{P_t}{w_t} = \frac{1200 \text{ MW}}{h_3 - h_4} = \frac{1200000 \text{ kJ/s}}{(3375 - 2090) \text{ kJ/kg}} = 934 \text{ kg/s}$$



HE. Srednji godišnji protok, u m^3/s , na vodotoku aproksimira izraz $Q_{sr} = 120 - H/10$ (H je nadmorska visina u m). Odredite:

Bruto energija vodotoka je određena godišnjom energijom koju možemo dobiti na nekom vodotoku, to je integral H, Q dijagrama (podsjetnik):

$$W = 8760 \cdot 9,81 \cdot \eta \int_{Hu}^{Hi} Q_{sr} dH [kWh]$$

Ovo možete integrirati, ili obzirom da se radi o trokutu izračunati površinu kao: $H_i \cdot Q_{max} / 2$

$$W = 8760 \cdot 9,81 \cdot \eta \int_0^{1200} \left(120 - \frac{H}{10}\right) dH$$

$$W = 8760 \cdot 9,81 \cdot 0,8 \frac{1200 \cdot 120}{2}$$

$$W = 4,95 \cdot 10^9 kWh$$

14.HE bruto energiju vodotoka, uz ukupne gubitke (vode i pada) od 20%, između nadmorske visine zahvata (1200 m n.v.) i ušća rijeke u more

b) $4,95 \cdot 10^9 kWh$

15.HE snagu derivacijske hidroelektrane koja uzima vodu na 500 m nadmorske visine, pri srednjem protoku, s $10 m^3/s$ biološkog minimuma, 15 m visine vode ispred brane, 9% gubitaka u padu do turbinskog postrojenja smještenog na 400 m n.v. koje ima stupanj djelovanja turbine 88%

c) $54,2 MW$

Snagu određuje izraz $P = 9,81 \cdot \rho \cdot Q \cdot H \cdot \eta [W]$

Protok je za 500 m n. v. prema H, Q umanjen za biološki minimum

$$Q = Q(500) - Q_{bm} = 120 - 500/10 - 10 = 60 m^3/s$$

korisna visina je suma visine ispred brane i visine pada umanjene za gubitke:

$$H = (H_b + H_{pad}) (1 - gub.) = (15 + 500 - 400) (1 - 0,09) = 115 \cdot 0,91 = 104,7 m$$

snaga se sada može izračunati uvrštavanjem

$$P = 9,81 \cdot 1000 \cdot 60 \cdot 104,7 \cdot 0,88 = 54,2 \cdot 10^6 W$$