

# 1 Termodinamika

- Koliki je iznos eksergije što se iz termoelektrane odvodi u okolicu ukoliko je temperatura rashladne vode  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a temperatura kondenzata (temperatura pare i vode u kondenzatoru)  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? U kondenzatoru TE se u jednom satu odvodi u okolicu 2000 MWh toplinske energije.
- Tlak i temperatura okolice iznose 1 bar i  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . U spremniku se volumena 2000 m<sup>3</sup> nalazi idealni plin ( $R=287\text{ } \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $c_p=1010\text{ } \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ) pod tlakom 50 bara i na temperaturi od  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Izračunajte maksimalni rad što se može dobiti iz energije plina u spremniku.
- 5000 GJ toplinske energije dovodi se u kružni proces. Koliki se maksimalni rad može dobiti iz tog procesa ako se temperature toplog i hladnog spremnika (okolice)  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
- Kamen mase 2 kg pao je na tlo s visine od x metara. Početna je temperatura tla i kamena  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ukoliko je promjena entropije adijabatskog sustava (kamen + okolica) zbog pada kamena na tlo  $1.34\text{ } \frac{\text{J}}{\text{K}}$ , s koje je visine pao kamen na tlo?
- Neki se energetska proces odvija kod konstantne temperature od 1000 K. Oslobađa li se pritom zbog trenja 10 MJ toplinske energije, koliki je gubitak mehaničkog rada? Temperatura je okolice 300 K, a tlak 1 bar.
- Adijabatski spremnik krutih stijeni podijeljen je adijabatskom pregradom na 2 jednaka dijela, 0.5 m<sup>3</sup> svaki. U jednom je dijelu idealni plin ( $R=287\text{ } \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $\kappa=1.4$ ), a drugi je zrakoprazan. Podigne li se pregrada koliki će zbog toga biti gubitak mehaničkog rada po 1 kg plina? Temperatura okolice je 300 K, a tlak 0.1 MPa.
- Kilogram idealnog plina ( $R=287\text{ } \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $\kappa=1.4$ ), tlaka 1.5 bar, temperature  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , promatrajte kao zatvoreni mirujući sustav koji se pri konstantnom tlaku (1.5 bar) hladi do temperature  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Odredite mehanički rad zatvorenog sustava i toplinsku energiju koju pritom sustav izmjenjuje s okolicom tlaka 1 bar i temperature  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Kompresor usisava  $2\text{ } \frac{\text{kg}}{\text{s}}$  zraka ( $c_p=1.0\text{ } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $\kappa=1.4$ ) tlaka  $p_1=1\text{ bar}$  i tlači ga do tlaka  $p_2=4\text{ bar}$ . Temperature su zraka pritom  $\vartheta_1=17\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $\vartheta_2=97\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a izmjenjena toplinska snaga s okolicom iznosi  $-60\text{ kW}$ . Promjena potencijalne i kinetičke energije može se zanemariti. Kolika je snaga kompresora?
- Jedan kmol idealnog plina ( $R_\mu=8314\text{ } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ) ekspandira izotermno u cilindru sa stapom od početnog tlaka 2 bara do konačnog tlaka 1 bar. Tlak je okolice također 1 bar, a temperatura okolice, s kojom je cilindar u toplinskoj ravnoteži, iznosi 300 K. Pretpostavlja se da zbog sile trenja stap polagano mijenja položaj, tj. da je akceleracija gibanja zanemariva i da su cilindar i stap vrlo dobri vodiči topline. Kolika je promjena entropije plina, okolice i ukupno? Je li proces povratljiv?
- Idealan plin ( $R=287.0\text{ } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $\kappa=1.4$ ) komprimira se od početnog tlaka 1 bar i početne temperature 293,15 K do konačnog tlaka 5 bara i temperature 600 K. Stanje okolice je 1 bar i 293,15 K. Odredite gubitak mehaničkog rada zbog realnog procesa komprimiranja idealnog plina?
- Kompresor komprimira zrak pod atmosferskim uvjetima (96.53 kPa, 288.7 K) na tlak  $4.82\cdot 10^5\text{ Pa}$  i temperaturu 322 K. Proces komprimiranja je proces stacionarnog strujanja. Izračunajte minimalni rad po kg zraka potreban za pogon kompresora. ( $c_p=1004\text{ } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $R=287\text{ } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ).
- Tri kilograma zraka ( $R=287\text{ } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ) početnog tlaka 100 kPa i temperature 300 K politropski se komprimira do konačnog tlaka 500 kPa. Pretpostavljajući konstantne specifične toplinske kapacitete, politropski koeficijent  $n=2.56$ , izračunajte promjenu entropije zraka. Poznati su  $c_p=1003.5\text{ } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$  i  $c_v=717\text{ } \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ .
- Na ulazu u plinsku turbinu vrijednosti su tlaka, temperature i brzine idealnog plina ( $c_p=1005\text{ } \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $\kappa=1.4$ ): 6 MPa,  $680\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $80\text{ } \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Plin izentropski ekspandira u turbini, a vrijednosti su temperature i brzine na izlazu iz turbine  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $140\text{ } \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Poznato je jo: snaga na osovini turbine 5 MW, temperatura okolice  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  i tlak 100 kPa. Odrediti:
  - maseni protok plina kroz turbinu (računati i promjenu kinetičke energije)
  - eksergiju kilograma plina na ulazu u turbinu. Promjena kinetičke i potencijalne energije je zanemariva.
- Zatvoreni sustav sadrži 2 kg zraka ( $c_p=1000\text{ } \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $\kappa=1.4$ ) stanja 20 bar i temperature  $\vartheta_1=317\text{ }^{\circ}\text{C}$  uz stanje okolice  $\vartheta_1=17\text{ }^{\circ}\text{C}$  i 1 bar. Koliko bi se najviše metara mogao podići teret mase 1 t korištenjem energije dobivene povratljivim uravnoteženjem zatvorenog sustava sa stanjem okolice?
- 2 kg idealnog plina ( $c_p=1005\text{ } \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $\kappa=1.4$ ) nalazi se u krutom spremniku. Temperatura plina je  $\vartheta_1=500\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a tlak 10 MPa.
  - Kolika je promjena entropije plina ohladi li se plin na temperaturu okolice ( $\vartheta_2=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) odvođenjem toplinske energije i okolicu?

- (b) Kolika je promjena entropije okolice izazvana opisanim procesom?
16. Jedan kg idealnog plina u zatvorenom se sustavu komprimira povratljivim procesom od početnog stanja  $0,78 \frac{m^3}{kg}$  i  $\vartheta_1 = 25$  °C (stanje okolice) do konačnog stanja  $0,1 \frac{m^3}{kg}$  i  $\vartheta_1 = 267$  °C ( $R=0,26 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ ,  $c_v = 0,69 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ ). Odrediti minimalno obavljani rad.
  17. Ekspanzija  $200 \frac{kg}{h}$  plina odvija se od 9 bar i 400 °C do 1 bar. Kolika je konačna temperatura(K), volumen( $\frac{m^3}{h}$ ), dobivena snaga(kW) i izmjenjena toplina( $\frac{kJ}{h}$ ) i slijedeća dva slučaja:
    - (a) proces je izotermni
    - (b) proces je politropski s  $n=1.2$  ( $c_v = 718 \frac{J}{kg \cdot K}$ ,  $c_p = 1005 \frac{J}{kg \cdot K}$ )
  18. Zrak ulazi u kompresor pri atmosferskim uvjetima (293 K i 80 kPa) i izlazi brzinom od  $20 \frac{m}{s}$  kroz otvor promjera 10 cm (473 K i 0.8 MPa). Koliko iznosi uložena mehanička snaga ako je generira toplinska snaga u procesu -  $233 \frac{kJ}{s}$ . Specifična toplina zraka pri konstantnom volumenu  $713 \frac{J}{kg \cdot K}$  i plinska konstanta zraka  $287 \frac{J}{kg \cdot K}$
  19. Toplinski izolirani spremnik podijeljen je u 2 jednaka dijela: prvi dio ispunjen zrakom ( $R=287 \frac{J}{kg \cdot K}$ ) dok je drugi dio potpuno prazan. Koliko iznosi specifična promjena entropije zraka nakon uklanjanja pregrade u spremniku?
  20. Toplinski izoliran spremnik promjera 0.6 m i visie 0.8 m sadrži 0.2 kg zraka pod tlakom 100 kPa. Koliko rada treba za komprimiranje zraka na tlak od 5 MPa? ( $R = 287 \frac{J}{kg \cdot K}$ ,  $\kappa = 1.4$ )
  21. Dva medija imaju istu masu (10 kg) i temperaturu (300 K) te se nalaze na istom tlaku (0.1 MPa). Medij A ima toplinski kapacitet  $4 \frac{J}{kg \cdot K}$ , a medij B  $2 \frac{J}{kg \cdot K}$ . Odrediti razliku unutrašnje toplinske energije te iznos i smjer izmjenjene topline kada se mediji dovedu u kontakt.
  22. Dva medija imaju istu toplinski kapacitet  $2 \frac{J}{kg \cdot K}$  i temperaturu (300 K) te se nalaze na istom tlaku (0.1 MPa). Medij A ima masu 10 kg a medij B 1 kg. Odrediti razliku unutrašnje toplinske energije te iznos i smjer izmjenjene topline kada se mediji dovedu u kontakt.
  23. Plin u spremniku volumena  $333 m^3$  nalazi se na temperaturi okoline (299 K) i tlaku od  $11 \cdot 10^5$  Pa. Nakon otvaranja ventila na spremniku plin se adijabatski širi stružeći u okolinu od izjednačavanja tlaka s tlakom okoline  $1.0 \cdot 10^5$  Pa. Zatvaranjem ventila plin se zagrijava na temperaturu okoline postizući tlak od  $2 \cdot 10^5$  Pa. Koliko iznosi  $\kappa$  plina?
  24. Maseni protok zraka mjeri se preko razlike temperature uzrokovane grijačem između 2 mjerna mjesta. Temperatura zraka grijača iznosi 15 °C, a temperatura grijača 18.1 °C. Koliki je maseni protok zraka uz snagu grijanja od 0.75 kW i specifični toplinski kapacitet pri konstantnom tlaku od  $1010 \frac{J}{kg \cdot K}$ ?
  25. Rashladni uređaj hladi prostor na -50 °C prenošenjem topline na 200 °C. Izračunati koliko treba najmanje povećati potrebni mehaniki rad za hlađenje prostora na -250 °C.
  26. Maseni protok zraka mjeri se preko razlike temperature uzrokovane grijačem između 2 mjerna mjesta. Temperatura zraka prije grijača iznosi 300 K, a temperatura iza grijača 304 K. Koliki je maseni protok zraka ako se za 1h na grijanje utroši 2.02 kWh energije? Specifični toplinski kapacitet pri konstantnom tlaku je  $1010 \frac{J}{kg \cdot K}$ ?
  27. Razlika tlaka unutrašnjosti limenke ispunjene zrakom i okoline iznosi 276 kPa na temperaturi od 21 °C. Limenka može puknuti kod razlike tlaka od 1.38 MPa. Kod koje temperature može limenka puknuti ako je tlak okoline 101 kPa?
  28. Tlak u unutrašnjosti limenke ispunjene zrakom iznosi 350 kPa na temperaturi od 22 °C. Limenka može puknuti kod razlike tlaka prema okolini od 1.30 MPa. Koliko treba povećati specifičnu unutrašnju energiju zraka u limenci da limenka pukne, ako je tlak okoline 101 kPa i specifični toplinski kapacitet zraka  $720 \frac{J}{kg \cdot K}$ ?
  29. Hladnjak snage 1.5 kW radi otvorenih vrata u toplinski izoliranoj sobi. Tijekom 30 minuta hladnjak ohladi 5300 kJ i oslobodi 8000 kJ topline. Koliko se promjeni unutrašnja energija sobe?
  30. Tijekom 30 minuta klima uređaj električne snage 1.5 kW u toplinski izoliranoj sobi ohladi unutrašnjost sobe za 5.3 MJ. Koliko se topline preda u okolinu za 30 minuta i koliko se potroši električne energije za 6h rada klima uređaja?
  31. Energija se dodaje cilindru s plinom i stap se pomiče tako da vrijednost  $p \cdot V$  ostaje konstantna. Početni tlak je 200 kPa i volumen  $2 m^3$ . Koliko rad izvrši plin nas stapom ukoliko je konačni tlak 100 kPa?
  32. Vodom se hlade kočnice za ispitivanje (zaustavljanje) motora snage 50 kW. Voda početne temperature 15 °C treba preuzeti 75 % topline. Koji protok vode za hlađenje je dovoljan da ohladi kočnice na 50 °C?

33. Koliko iznosi promjena entropije 2 kg zraka volumena  $0.8 \text{ m}^3$  i tlaka 200 kPa nakon izobarnog zagrijavanja do temperature od  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ ? ( $c_p = 1.0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $R = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ )
34. Za cirkuliranje zraka u izoliranoj prostoriji koristi se ventilator snage 3.73 kW i efikasnosti 90 %. Koliko je promjeni unutrašnja energija u prostoriji nakon 60 minuta rada? Motor ventilatora je smješten izvan prostorije.
35.  $500 \text{ cm}^3$  zraka na  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  i 6 MPa izotermno ekspandira do tlaka od 200 kPa. Koliko iznosi promjena entropije zraka?
36. Voda masenog protoka  $200 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$  ulazi u pumpu kroz otvor promjera 20 cm i izlazi iz pumpe kroz otvor promjera 12 cm povećanog tlaka za 4 MPa. Specifični volumen je konstantan ( $0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ ). Treba odrediti minimalnu potrebnu snagu za pogon pumpe.
37. Nad zrakom volumena  $0.2 \text{ m}^3$  na  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  i 400 kPa u krutom izoliranom spremniku miješanjem se obavi 200 kJ rada. Koliko iznosi promjena entropije zraka?  $c_p = 1004 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $R = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ )
38. Cilindar sa stapom sadrži  $0.1 \text{ m}^3$  plina Freon-12 pri tlaku 500 kPa i temperaturi  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ . Stap je zakločen u početnom položaju sve dok tlak ne dostigne vrijednost 600 kPa. Održavanjem tlaka na toj vrijednosti stap se oslobađa, a plinu izmijeni toliko topline da postigne konačna temperatura od  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Izračunajte ukupno dovedenu toplinu za vrijeme navedenih procesa. Poznati su specifični volumeni i entalpije za sva stanja u procesu: na početku  $0.044184 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$  i  $231.161 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ , u sredini  $0.044184 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$  i  $272.231 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  i na kraju  $0.037653 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$  i  $237.027 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
39. Za neku prostoriju dimenzija  $20 \times 50 \times 5 \text{ m}$  odrediti omjer i razliku mase zraka u sobi zimi ( $17 \text{ }^\circ\text{C}$ ) i ljeti ( $27 \text{ }^\circ\text{C}$ ) uz jednaki tlak od 101 kPa.
40. Izračunati potrebnu mehaničku snagu za pogon hladnjaka koji ima koeficijent iskorištenja 4 i za hlađenje je potrebno odvoditi  $30 \frac{\text{MJ}}{\text{h}}$  topline.
41. Koliko iznosi rad komprimiranja zraka u spremniku (200 kPa i  $0.2 \text{ m}^3$ ) pri konstantnoj temperaturi ( $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ) na deset puta manji volumen?
42. Prostorija se zagrijava toplinskom snagom od 5800 W preko strujanja zraka. Tlak u prostoriji iznosi 0.1 MPa. Za zrak vrijedi  $c_v = 723 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$  i  $R = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ . Koliki volumni protok zraka je potreban uz ulaznu temperaturu od  $23 \text{ }^\circ\text{C}$  i izlaznu od  $19 \text{ }^\circ\text{C}$ ?
43. Odrediti ukupnu promjenu entropije nakon što dva toplinska spremnika izmjene 1 MJ topline. Topliji spremnik je na temperaturi od  $727 \text{ }^\circ\text{C}$  a hladniji na  $227 \text{ }^\circ\text{C}$ .
44. Kilogramu idealnog plina ( $R = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $\kappa = 1.4$ ) mijenja se stanje kod konstantnog tlaka (6 MPa) od  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ . Temperatura je okoline  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , a tlak 100 kPa. Odrediti eksergiju dovedene toplinske energije.
45. Automobil mase 850 kg kree se brzinom od  $80 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ . Prilikom kočenja kinetička energija vozila pretvara se trenjem u kočnicama u toplinu i predaje okolini. Koliko se topline izmijeni potpunim zaustavljanjem vozila, a koliko ako se brzina smanji na pola? Koliko bi se moglo zasićene (vrole) vode tom toplinom ispariti, ako za isparivanje kilograma vode treba 2260 kJ topline?
46. Skupina od 20 osoba boravi u toplinski izoliranoj prostoriji ploštine  $10 \text{ m} \times 25 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ . Izračunajte porast temperature zraka za 10 minuta i tlak zraka u tom trenutku ukoliko svaka osoba u prosjeku zauzima  $0.071 \text{ m}^3$  i u okolicu zrači toplinskom snagom  $395 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$ . Poznati su još: specifični toplinski kapacitet zraka pri konstantnom volumenu  $c_v = 718 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ , plinska konstanta  $R = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ , početni tlak  $1.0135 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  i temperatura  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ .
47. Cilindar sa stapom upotrebljava se za smanjivanje volumena plina mase 0.9 kg od volumena  $0.396 \text{ m}^3$  na volumen  $0.255 \text{ m}^3$  pri konstantnom tlaku od 95.76 kPa. Za vrijeme procesa došlo je do smanjenja unutrašnje kaloričke energije za 8135 J. Izračunajte količinu topline koja je dovedena ili odvedena plinu za vrijeme kompresije.
48. Kompresor usisava zrak tlaka 103 kPa i tlači ga do tlaka 680 kPa, specifični volumeni zraka pritom su  $v_1 = 0.124 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$  i  $v_2 = 0.0312 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ . Porast unutrašnje energije je  $93.25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ , a izvršeni tehnički rad  $164 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ . Promjena potencijalne i kinetičke energije je zanemariva. Koliki je iznos izmijenjene topline?
49. Promotrimo cilindar ispunjen idealnim plinom (tlaka 689476 Pa i temperature 294,3 K) sa stapom u ravnoteži tj. pri konstantnom tlaku. Dovođenjem topline u iznosu 105500 J volumen plina poveća se pomicanjem stapa sa  $0.01416 \text{ m}^3$  na  $0.0566 \text{ m}^3$ . Izračunajte promjenu unutrašnje kaloričke energije i konačnu temperaturu plina.

50. Zrak volumena  $0.3 \text{ m}^3$  hladi se kod konstantnog tlaka  $551.58 \text{ kPa}$ . Početna temperatura zraka je  $82 \text{ }^\circ\text{C}$ , a konačna temperatura nakon hlađenja  $38 \text{ }^\circ\text{C}$ . Izračunajte: utrošeni rad za hlađenje plina, promjenu unutrašnje kaloričke energije i odvedenu toplinu. Poznati su jo sljedeći podaci:  $c_p = 1004.8 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $c_v = 717.8 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$  i  $R = 287 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ .
51. Maseni je protok vodene pare kroz turbinu  $5 \frac{\text{t}}{\text{h}}$ , a snaga turbine na osovini  $500 \text{ kW}$ . Odredite iznos izmijenjene topline u jednom satu ako su ulaz i izlaz turbine na istoj visini. Promjena specifične entalpije pare iznosi  $-490 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ , brzina na ulazu  $60 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , a na izlazu  $360 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Da li se toplina dovodi u turbinu ili odvodi iz turbine?
52. Para tlaka  $1.4 \text{ MPa}$  i temperature  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  ulazi u izmjenjivač topline gdje se kondenzira. Kondenzirana para napušta izmjenjivač topline kao tekućina tlaka  $1.4 \text{ MPa}$  i temperature  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  s prosječnim masenim protokom od  $5000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ . Para se kondenzira uz pomoć vode koja struji kroz cijevi izmjenjivača topline. Voda za hlađenje ulazi u izmjenjivač topline temperature  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  i prolaskom se zagrije na  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pretpostavljajući da je izmjenjivač topline adijabatski sustav odredite maseni protok vode za hlađenje kroz izmjenjivač. Entalpija pare na ulazu u izmjenjivač je  $3040.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ , kondenzata na izlazu iz izmjenjivača  $632.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ , rashladne vode na ulazu  $83.96 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  i rashladne vode na izlazu  $167.57 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ .
53. Izračunati tehnički rad potreban za pokretanje kompresora ako je ulazna entalpija  $745 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ , izlazna  $2562 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ , a unutarnji stupanj djelovanja kompresora  $0.83$
54. Izolirani cilindar sa stapom (pomicanje stapa drži konstantan tlak) sadrži  $428$  litara zraka na temperaturi  $25.2 \text{ }^\circ\text{C}$  pod tlakom  $130 \text{ kPa}$ . Zrak se grije  $13$  minuta pomoću električnog grijača snage  $184 \text{ W}$  ugrađenog u unutrašnjost spremnika. Kolika je promjena entropije zraka?  $R=287 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $c_p=1020 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
55.  $1 \text{ kg}$  idealnog plina ( $R=287 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $\kappa=1.4$ ) ekspandira izentropski u zatvorenom sustavu od  $1 \text{ MPa}$ ,  $327 \text{ }^\circ\text{C}$  do  $100 \text{ kPa}$ . Tlak je okolice  $100 \text{ kPa}$ , a temperatura  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ . Koliki je korisni rad obavio plin?
56. Spremnik obujma  $1 \text{ m}^3$  sadrži idealni plin ( $R=287 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $\kappa=1.4$ ) tlaka  $1 \text{ Mpa}$  i temperatura  $327 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ukoliko je tlak okolice  $100 \text{ kPa}$ , a temperatura  $300 \text{ K}$  koliki je maksimalan rad što može obaviti plin?
57. Tlak pare je na ulazu u turbinu  $3 \text{ MPa}$ , temperatura  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ , a brzina  $15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Kolika je specifična eksergija pare? Tlak je okolice  $100 \text{ kPa}$ , a temperatura  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Iz parnih tablica je očitano:  $h=3117.55 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ ,  $s=6.75 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $h_{ok}=83.95 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  i  $s_{ok}=0.296 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
58.  $1 \text{ kg}$  idalnog plina ( $R=287 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ,  $\kappa=1.4$ ) tlaka  $100 \text{ kPa}$ , temperatura  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ , komprimira se adijabatski na tlak  $900 \text{ kPa}$  zagrijavajući se pritom na temperaturu  $327 \text{ }^\circ\text{C}$ . Koliki je gubitak mehaničkog rada uzrokovan takvim procesom?

## 2 Termoelektrane i kružni procesi (Carnot, (Brayton) & Rankine)

59. TE koristi idealni Rankineov ciklus s zasićenom vodenom parom. Tlak u parnom kotlu je 40 bar, a tlak u kondenzatoru je 0.075 bar. Toplinska snaga kotla je 100 MW. Izračunajte:

- potrebni protok radnog medija
- efikasnost toplinskog ciklusa
- snagu turbine
- specifičnu potrošnju pare (broj kilograma pare potrebnih za proizvodnju 1 kWh neto meh. rada u procesu)

Iz parnih tablica poznati su sljedeći podaci:

temperatura zasićenja na višem tlaku:  $T_v=523.728$  K, entalpija zasićene vode:  $h_{fv}=1087.42 \frac{kJ}{kg}$ , entalpija zasićene pare:  $h_{gv}=2800.913 \frac{kJ}{kg}$ , temperatura zasićenja na nižem tlaku:  $T_n=313.465 \frac{kJ}{kg}$ , entalpija zasićene vode  $h_{fn}=168.74 \frac{kJ}{kg}$ , entalpija zasićene pare:  $h_{gn}=2575 \frac{kJ}{kg}$ , gustoća zasićene vode  $\rho_{fn}=992.1 \frac{kg}{m^3}$ , gustoća zasićene vodene pare:  $\rho_{gn}=0.052 \frac{kg}{m^3}$ .  
Entalpija pare na kraju ekspanzije je  $1890.2 \frac{kJ}{kg}$ .

60. Tlak je pregrijane pare 5 MPa, a tlak u kondenzatoru 15 kPa. Sadržaj vodene pare na izlazu iz turbine je 0.95. Snaga je parne turbine 7.5 MW. Kolika je temperatura pregrijane pare i njezin maseni protok?

61. Rankineov se kružni proces odvija u termoelektrani s pregrijanom parom tlaka 40 bar i temperature 320 °C. Temperatura je kondenzata 15 °C. Odredite termički stupanj djelovanja procesa ako su svi procesi:

- povratljivi
- unutrašnji stupanj djelovanja turbine 0.85, a pumpe 0.9

62. Izgaranjem u kotlu oslobađa se toplina  $40000 \frac{kJ}{kg}$  pri temperaturi 1800 °C, a pritom dobivena vodena para ima temperaturu 600 °C. Temperatura okolice je 17 °C. Kolika je eksergija topline produkata izgaranja i pare u  $\frac{kJ}{kg}$ ? Koliki je gubitak eksergije ( $\frac{kJ}{kg}$ ) pri prijelazu topline s plinova izgaranja na vodu?

63. Koliki bi se mogao dobiti maksimalan rad u  $\frac{kJ}{kg}$  u zatvorenom sustavu ako se zrak ( $c_v = 718 \frac{kJ}{kgK}$ ,  $R=287 \frac{kJ}{kgK}$ ) stanja 20 bar i temperature 350 °C dovodi povratljivim procesom u ravnotežu s okolicom stanja 17 °C i 1 bar? Razlika entropije je  $s_1 - s_0 = -0.09 \frac{kJ}{kgK}$

64. U komori izgaranja plinsko-turbinskog postrojenja zagrijava se  $1100 \frac{kg}{h}$  zraka pri tlaku 7 bar. Početna je temperatura 520 °C, a konačna 1200 °C. Koliko iznose promjena entropije i promjena unutrašnje kaloričke energije? Kolika se toplinska snaga dovodi u komoru izgaranja?

Pretpostavite da ispušni plinovi imaju svojstva zraka i računajte s  $c_p = 1005 \frac{kJ}{kgK}$  i  $c_v = 718 \frac{kJ}{kgK}$ . Koliko je  $\frac{kg}{h}$  mazuta potrebno osigurati za ovaj proces? Ogrjevna moć mazuta je  $q_m = 40683 \frac{kJ}{kg}$  i radi se o zatvorenom plinskom procesu.

65. Vrela voda ( $\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$ ) masenog protoka  $150 \frac{t}{h}$  isparava i pregrijava se u kotlu do 540 °C pri tlaku 80 bar. Koliko iznose: dovedena toplinska snaga, promjena unutrašnje kaloričke energije, te jedinični rad promjene volumena i tehnički rad? U donjem postupku rješavanja navedeni su slijedno podaci očitani iz parnih tablica:  $h_2 = 3498 \frac{kJ}{kg}$ ,  $v_2 = 0.04450 \frac{m^3}{kg}$ ,  $h_1 = 1317 \frac{kJ}{kg}$ ,  $v_1 = 0.001385 \frac{m^3}{kg}$

66. Kondenzacijska termoelektrana daje električnu snagu 285 MWe. Kotao proizvodi pregrijanu paru početnog stanja 150 bar i 560 °C. Tlak u kondenzatoru je 0.04 bar. Para u turbini ekspandira do linije zasićenja, kvaliteta pare  $x = 1$ . Koliko  $\frac{t}{h}$  pare proizvodi kotao? Koliko se snage troši za pogon pojne pumpe? Koliko iznosi termički stupanj djelovanja? Poznati su još: entalpija na izlazu iz kotla  $3477 \frac{kJ}{kg}$ , entalpija na izlazu iz turbine  $2554 \frac{kJ}{kg}$ , entalpija na izlazu iz kondenzatora  $121.4 \frac{kJ}{kg}$ , specifični volumen na izlazu iz kondenzatora  $v_3 = 0.001004 \frac{m^3}{kg}$

67. Termoelektrana s kružnim procesom s vodom/vodenom parom (prema T-s dijagramu na slici) projektirana je za pogon između tlakova 10 kPa i 2 MPa i najvećom temperaturom u krunom procesu od 400 °C. Koliko iznosi stupanj energetskog djelovanja ovog krunog procesa?

Iz parnih tablica očitani su:  $h_1 = 191.8 \frac{kJ}{kg}$ ,  $v_1 = 0.001010 \frac{m^3}{kg}$ ,  $h_3 = 3248 \frac{kJ}{kg}$ ,  $s_3 = 7.129 \frac{kJ}{kgK}$ ,  $h_4 = 2259 \frac{kJ}{kg}$ .

68. U kotao (generator pare) ulazi voda (1) pod tlakom 10 MPa i temperature 30 °C ( $h_1 = 134.2 \frac{kJ}{kg}$ ,  $v_1 = 0.001 \frac{m^3}{kg}$ ) kroz cijev promjera 30 mm pri protoku  $3 \frac{l}{s}$ . Para napušta generator pare (2) s tlakom 9 MPa i 400 °C ( $h_2 = 3118 \frac{kJ}{kg}$ ,  $v_2 = 0.02995 \frac{m^3}{kg}$ ). Odredite toplinsku snagu generatora pare.

69. Pregrijana para ulazi u turbinu s tlakom 15 MPa, 600 °C ( $h_1 = 3583 \frac{kJ}{kg}$ ) i masenim protokom  $100 \frac{kg}{s}$ . U srednjoj sekciji turbine odvodi se  $20 \frac{kg}{s}$  pare pri 2 MPa i 350 °C ( $h_2 = 3137 \frac{kJ}{kg}$ ), a ostatak pare ekspandira do stanja kvalitete pare 95% na izlazu iz turbine (75 kPa,  $h_3 = 2548 \frac{kJ}{kg}$ ). Odredite snagu turbine ako nema prijelaza topline (adijabatski proces) i nema promjene kinetičke energije.
70. U kondenzator termoelektrane ulazi mokra para kvalitete 90% s masenim protokom  $5 \frac{kg}{s}$  te predaje toplinu pri konstantnom tlaku 15 kPa rashladnoj vodi iz rijeke koja je na srednjoj temperaturi 17 °C. Izračunajte toplinsku snagu koja se prenosi na okoliš (rijeku) i brzinu promjene ukupne entropije. Iz parnih tablica poznato je još:  $h_1 = 2361 \frac{kJ}{kg}$ ,  $s_1 = 7.282 \frac{kJ}{kgK}$ ,  $h_2 = 225.9 \frac{kJ}{kg}$ ,  $s_2 = 0.7549 \frac{kJ}{kgK}$
71. Temperatura je vodene pare na ulazu u turbinu 923 K. U slučaju izentropskog procesa u turbini temperatura bi pare na izlazu iz turbine bila 303 K. Međutim zbog nesavršenosti procesa u turbini, stvarna je temperatura pare na izlazu iz turbine 323 K. Porast je entropije zbog toga  $250 \frac{kJ}{kgK}$ . Koiki je tehnički rad turbine? Zanemari promjenu potencijalne i kinetičke energije, a vodena para se smatra idealnim plinom.
72. U kondenzatoru se ukalupljuje 1500 kg pare na sat, temperature 100 °C, tlaka 1 bar, tako da se miješa sa  $14300 \frac{kg}{h}$  rashladne vode. Kondenzat nastao miješanjem temperature je 75 °C. Kolika je temperatura rashladne vode?  $c_{vode} = 4186 \frac{J}{kg}$ , entalpija isparavanja  $h_{isp} = 2257 \frac{kJ}{kg}$
73. Za termoelektranu poznati su tlakovi i specifične entalpije u karakterističnim točkama postrojenja: izlaz iz kotla 2.76 MPa i  $3039.85 \frac{kJ}{kg}$ ; ulaz turbine 2.62 MPa i  $2989.37 \frac{kJ}{kg}$ ; ulaz kondenzatora 13.8 kPa i  $2430 \frac{kJ}{kg}$ , ulaz pumpe 13.1 kPa i  $192.83 \frac{kJ}{kg}$ . Jedinični rad pumpanja pojne vode iznosi  $6978 \frac{J}{kg}$ . Izračunajte sljedeće vrijednosti po jedinici mase:
- toplinu dovedenu u kotlu
  - rad turbine
  - toplinu odvedenu u kondenzatoru
  - gubitak topline između kotla i turbine
74. Idealni se Rankineov kruni proces provodi s pregrijanom parom tlaka 3 MPa, temperature 350 °C. Tlak je u kondenzatoru 50 kPa. Nacrtati T-s dijagram i odrediti termički stupanj djelovanja procesa. Računati s radom pumpanja vode u kotao. Vodu smatrati nestlačivom. Karakteristične su vrijednosti stanja kružnog procesa:
- za tlak 3 MPa i 350 °C:  $h = 3116.3 \frac{kJ}{kg}$ ,  $s = 6.74 \frac{kJ}{kg}$
  - za tlak 50 kPa:  $v' = 0.001 \frac{m^3}{kg}$ ,  $h'' = 2645 \frac{kJ}{kg}$ ,  $h' = 340.5 \frac{kJ}{kg}$ ,  $s' = 1.1 \frac{kJ}{kgK}$ ,  $s'' = 7.59 \frac{kJ}{kgK}$
75. Rankineov se kruni proces provodi u termoelektrani snage 1200 MWe. Tlak je pare na ulazu u turbinu (unutarnjeg stupnja djelovanja 1) 10 MPa, a temperatura 500 °C. Tlak je u kondenzatoru 10 kPa. Iz parnih tablica očitane su ove karakteristične vrijednosti:
- za tlak 10 MPa i 500 °C:  $h = 3375 \frac{kJ}{kg}$ ,  $s = 6.6 \frac{kJ}{kg}$
  - za tlak 10 kPa:  $T = 45.8 \text{ °C}$ ,  $v' = 0.001 \frac{m^3}{kg}$ ,  $v'' = 14.67 \frac{m^3}{kg}$ ,  $h'' = 2585 \frac{kJ}{kg}$ ,  $h' = 191.8 \frac{kJ}{kg}$ ,  $s' = 0.649 \frac{kJ}{kgK}$ ,  $s'' = 8.151 \frac{kJ}{kgK}$
- Odredite:
- sadržaj pare na izlazu iz turbine
  - termički stupanj djelovanja kružnog procesa
  - maseni protok vode (pare)
76. Idealni se Rankineov kružni proces provodi s pregrijanom parom tlaka 3 MPa, temperature 400 °C. Tlak je u kondenzatoru 50 kPa. Kolika je snaga toplinske energije koja se dovodi u kružni proces, ako je snaga termoelektrane 1000 MW? Proces nacrtajte u h,s dijagramu. Računajte s radom pumpanja vode u kotao. Vodu smatrajte nestlačivom. Karakteristične su vrijednosti stanja kružnog procesa:
- za tlak 3 MPa i 400 °C:  $h = 3231.69 \frac{kJ}{kg}$ ,  $s = 6.92 \frac{kJ}{kgK}$ ;
  - za tlak 50 kPa:  $v' = 0.001 \frac{m^3}{kg}$ ,  $h'' = 2645 \frac{kJ}{kg}$ ,  $h' = 340.5 \frac{kJ}{kg}$ ,  $s' = 1.1 \frac{kJ}{kgK}$ ,  $s'' = 7.59 \frac{kJ}{kgK}$ .
77. Tlak je pare na ulazu u turbinu 3 MPa, a temperature 400 °C. Na izlazu iz turbine tlak je pare 50 kPa, a temperature 100 °C. Ako je snaga turbine 2 MW, odredi:
- izentropski (idealni) unutrašnji stupanj djelovanja turbine
  - maseni protok pare kroz turbinu

Proces pare u turbini smatraj jednodimenzionalnim i stacionarnim. Također se može zanemariti promjena kinetičke i potencijalne energije. Iz parnih tablica očitane su ove vrijednosti:

$$h_1=3232.5084 \frac{kJ}{kg}, s_1=6.9547 \frac{kJ}{kg}$$

$$\text{realni proces: } p_2=50 \text{ kPa, } T_2=100 \text{ }^\circ\text{C, } h_{2R}=2682.5677 \frac{kJ}{kg}$$

$$\text{idealni proces: } p_2=50 \text{ kPa, } h_2'=340.5661 \frac{kJ}{kg}, h_2''=2645.9959 \frac{kJ}{kg}, s_2'=1.0912 \frac{kJ}{kgK}, s_2''=7.5948 \frac{kJ}{kgK}$$

78. Procese u dvije kondenzacijske termoelektre (TE) razmatramo kao idealne Rankineove. Prvu TE opisuju entalpije na izlazu iz: kondenzatora ( $195 \frac{kJ}{kg}$ ), kotla ( $3300 \frac{kJ}{kg}$ ) i turbine ( $2400 \frac{kJ}{kg}$ ).

Drugu TE, sa međupregrijanjem, opisuju entalpije na izlazu iz kondenzatora ( $195 \frac{kJ}{kg}$ ) i kotla ( $3300 \frac{kJ}{kg}$ ) te na ulazu u kondenzator ( $2400 \frac{kJ}{kg}$ ). Uz zanemarivanje rada pumpanja kondenzata odrediti:

- termički stupanj djelovanja prve TE,
- potreban iznos dovedene topline u međupregrijanju da bi druga TE imala 25% veći termički stupanj djelovanja od prve TE.

79. Tlak je pare na ulazu u turbinu 4 MPa i temperatura 500 °C. Na izlazu iz turbine (realni proces) tlak je 100 kPa i sadržaj pare 1.

Poznato je za paru na ulazu u turbinu:  $h=3445 \frac{kJ}{kg}$  i  $s=7,091 \frac{kJ}{kgK}$  i veličine zasićenog stanja na donjem tlaku:  $h'=418 \frac{kJ}{kg}$ ,  $s'=1,303 \frac{kJ}{kgK}$ ,  $h''=2675 \frac{kJ}{kg}$ ,  $s''=7,360 \frac{kJ}{kgK}$ .

Temperatura je okolice 25 °C. Odrediti:

- toplinu odvedenu iz kondenzatora
- unutrašnji stupanj djelovanje turbine
- realni rad turbine
- eksergiju pare na ulazu u turbinu

80. Odredite tlak  $p_2$  (nakon izotermne ekspanzije) u desnokretnom Carnotovom kružnom procesu s idealnim plinom koji se odvija između temperatura 410 °C i 52 °C, ako najviši i najniži tlak u procesu iznose  $p_1=9.1 \text{ MPa}$  i  $p_3=0.1 \text{ MPa}$ ,  $R=287 \frac{J}{kg \cdot K}$ ,  $\kappa = 1.4$

81. Ljevokretnim Carnotovim kružnim procesom (LJCKP) grije se kuća na konstantnu temperaturu od 22 °C toplinom iz rijeke na temperaturi od 4 °C. Koliki je iznos dobavljene topline za grijanje i koliki je učinak dizalice topline (faktor preobrazbe) ako utrošak mehaničkog rada iznosi 3.8 kWh i uz pretpostavku da se radi o idealnom kružnom procesu?

82. Izračunajte toplinsku snagu koju je potrebno dovesti desnokretnom Carnotovom kružnom procesu koji se odvija između temperatura 415 °C i 34 °C, a najviši i najniži tlak iznose 10.7 MPa i 0.11 MPa. Maseni protok fluida je  $10 \frac{kg}{s}$  ( $R=287 \frac{J}{kg \cdot K}$ ,  $\kappa = 1.4$ )

83. Izračunajte mehaničku snagu desnokretnog Carnotovog kružnog procesa koji se odvija između temperatura 428 °C i 71 °C, a najviši i najniži tlak iznose 8.1 MPa i 0.11 MPa. Maseni protok fluida je  $17 \frac{kg}{s}$  ( $R=287 \frac{J}{kg \cdot K}$ ,  $\kappa = 1.4$ )

84. Toplinski stroj s Carnotovim kružnim procesom ima efikasnost 75% s temperaturom donjeg spremnika od 0 °C. Koliki bi koeficijent izvođenja imao hladnjak s istim procesom između istih temperatura?

85. Dva Carnotova toplinska stroja rade u nizu između temperature 500 K i 300 K. Toplina odvedena iz prvog stroja dovodi se drugom stroju. Ukoliko drugi toplinski stroj ima 25% veću efikasnost od prvoga kolika je vrijednost međutemperature.

86. Rankineov kružni proces s temperaturom u kondenzatoru od 80 °C i temperaturom u kotlu od 500 25 °C ima entalpije: na izlazu iz kotla  $3468 \frac{kJ}{kg}$ , na ulazu u kondenzator:  $2580 \frac{kJ}{kg}$  i na ulazu u kotao  $335 \frac{kJ}{kg}$ . Treba odrediti stupanj djelovanja opisanog Rankineovog kružnog procesa i Carnotovog kružnog procesa s istim temperaturama.

87. Izračunajte toplinsku snagu koju je potrebno dovesti Jouleovom kružnom procesu koji se odvija između najviše i najniže temperature 789 K i 292 K, a tlakova 0.54 MPa i 0.14 MPa. Protok idealnog plina je  $14 \frac{kg}{s}$  ( $R=287 \frac{J}{kg \cdot K}$ ,  $\kappa = 1.4$ )

88. Jouleov (Braytonov) ciklus sa zrakom ( $c_p = 1005 \frac{J}{kg \cdot K}$ ,  $\kappa = 1.4$ ) ima maksimalnu temperaturu u ciklusu 1000 K, a minimalnu 300 K. omjer tlakova u procesu je 6, a unutrašnja efikasnost kompresora i plinske turbine iznose 85%. Kolika je:

- temperatura na izlazu iz turbine
- dovedene toplina u proces

(c) efikasnost procesa

89. Kružni proces s idealnim plinom ( $\kappa = 1.4$  i  $R = 287 \frac{J}{kg \cdot K}$ ) sastoji se od realne adijabatske kompresije i ekspanzije te izobarnog dovođenja i odvođenja topline. Na ulazu u kompresor plin ima temperaturu  $15^\circ C$  i tlak 1 bar, a na izlazu iz kompresora tlak 5 bara. Temperatura plina na ulazu u turbinu iznosi  $780^\circ C$ . Unutrašnji stupanj djelovanja realne adijabatske kompresije iznosi 0.83, a realne adijabatske ekspanzije 0.85. Koliko iznosi termički stupanj djelovanja Jouleovog kružnog procesa?
90. Veći se generatori hlade vodikom. Vodik je pritom podvrgnut (Jouleovom) LJKP: u generatoru se predaje toplina vodikom za vrijeme izobarnog procesa (temperatura s kojom vodik napušta generator iznosi 333.15 K), da bi se zatim vodik adijabatski komprimirao i odveo do izmjenjivača topline u kojem pri izobarnom procesu predaje toplinu. Adijabatskom ekspanzijom zatvara se kružni proces. Tlak je vodika na ulazu u generator 1 bar, a temperatura 293.15 K. Temperatura vodika na izlazu iz izmjenjivača topline iznosi 353.15 K. Koliko iznose: tlak vodika na ulazu u izmjenjivač topline, specifična toplina predana izmjenjivaču topline i faktor preobrazbe?  
Poznati su specifični toplinski kapacitet vodika pri konstantnom tlaku  $14.2 \frac{J}{kg \cdot K}$  i adijabatski koeficijent  $\kappa = 1.4$ .
91. U Jouleovom procesu, između tlakova  $10^5$  Pa i  $2.5 \cdot 10^5$ , sudjeluje  $200 \frac{kg}{h}$  zraka. Temperatura na ulazu u cilinar je 290 K, a temperatura ispušnih plinova 480 K. Izračunajte: maksimalnu temperaturu u procesu (K), toplinsku snagu koja se dovodi u komori izgaranja ( $\frac{kJ}{h}$ ), dobivenu snagu (kW) i termodinamički stupanj iskorištenja (%). Računajte s  $R=287 \frac{J}{kg \cdot K}$ ,  $c_p = 1000 \frac{J}{kg \cdot K}$  i  $\kappa = 1.4$ .
92. Potrebno je odrediti termički stupanj djelovanja Rankineovog kružnog procesa sa međupregrijanjem. Poznate su vrijednosti entalpija vode/vodene pare:  
- na izlazu iz kotla:  $3379 \frac{kJ}{kg}$   
- na izlazu iz visokotlačne turbine:  $2686 \frac{kJ}{kg}$   
- na izlazu iz međupregrijača:  $3075 \frac{kJ}{kg}$   
- na izlazu iz niskotlačne turbine:  $2144 \frac{kJ}{kg}$   
- na izlazu iz kondenzatora:  $190.5 \frac{kJ}{kg}$   
- na izlazu iz pumpe:  $195.4 \frac{kJ}{kg}$
93. Potrebno je odrediti snagu turbine kod Rankineovog kružnog procesa ako su poznati sljedeći podaci:  
- termički stupanj djelovanja: 0.34  
- entalpija pare na ulazu u turbinu:  $3358 \frac{kJ}{kg}$   
- entalpija vode na ulazu u kotao:  $194.1 \frac{kJ}{kg}$   
- tlak u kotlu: 3.7 MPa  
- tlak u kondenzatoru: 0.01 MPa  
- protok pare:  $124 \frac{kg}{s}$
94. Proces u termoelektrani, promatran kao idealni Rankineov kružni proces, opisuju sljedeći parametri: stacionarno se u kotlu dovodi 2500 MW topline, na osovini turbine dobiva se 900 MW, maseni protok vode (pare) u procesu iznosi  $2600 \frac{kg}{s}$ , tlak u kondenzatoru iznosi 5 kPa, uz termički stupanj iskoristivosti od 35%. Odrediti tlak u kotlu. Računati s konstantnim specifičnim volumenom kondenzata (vode) što ga pojna pumpa vraća u kotao ( $v=0.001 \frac{m^3}{kg}$ ).
95. Rankineov kružni proces ima maseni protok  $4.6 \frac{t}{h}$ , paru na izlazu iz kotla entalpije  $3345 \frac{kJ}{kg}$  i vodu na izlazu iz kondenzatora entalpije  $137.8 \frac{kJ}{kg}$ . Odrediti termodinamički stupanj djelovanja procesa ako je snaga turbine 1368 MW?
96. Izračunati stupanj djelovanja Rankineovog kružnog procesa u kome para izlazi iz kotla kod tlaka 4 MPa i temperature  $400^\circ C$ , tlak u kondenzatoru iznosi 10 kPa i gustoća kondenzata iznosi  $1000 \frac{kg}{m^3}$ . Procese u pumpi i turbini razmatrati kao povratljive i adijabatske. Zadane su entalpije: na izlazu iz kondenzatora  $191.8 \frac{kJ}{kg}$ , na izlazu iz kotla  $3214 \frac{kJ}{kg}$ , na izlazu iz turbine  $2144 \frac{kJ}{kg}$ .
97. Koliko specifične topline se dovodi generatoru pare u Rankienovom kružnom procesu koji ima termički stupanj djelovanja 35%, entalpiju na ulazu u generator pare  $145 \frac{kJ}{kg}$ , entalpiju na izlazu iz turbine  $2.2 \frac{MJ}{kg}$  i rad pojne pumpe  $10 \frac{kJ}{kg}$ ?
98. Obavljeni je tehnički rad parne turbine termoelektrane u jednom satu jednak 1900 MWh, a termički stupanj djelovanja termoelektrane 0.4. Ukoliko je temperatura u kondenzatoru  $30^\circ C$ , a temperatura rashladne vode  $20^\circ C$ , odredite uz zanemarenja rada pumpanja:  
(a) koliko se u jednom satu, u kondenzatoru termoelektrane, odvodi u okolicu anergije (u GWh)  
(b) koliko je prirast entropije okolice (u  $\frac{MWh}{K}$ )



99. Idealni Rankineov kružni proces bi imao na turbini snagu 1000 MW uz snagu pumpanja 15 MW i termički stupanj djelovanja 32,8%. Koliko iznosi unutrašnji stupanj djelovanja realne turbine ako bi termički stupanj djelovanja tada iznosio 29,5%?
100. Rankineov kružni proces ima protok pare  $136 \frac{kg}{s}$ , tlaka 6.89 MPa, temperature  $516 ^\circ C$ , entalpije  $3449.3 \frac{kJ}{kg}$  i brzine  $30,48 \frac{m}{s}$  na ulazu u turbinu s početnom, a izlazi brzinom  $91,44 \frac{m}{s}$ , tlakom 20,68 kPa i entalpijom  $2262.54 \frac{kJ}{kg}$ . Entalpija na ulazu u kotao iznosi  $261,4 \frac{kJ}{kg}$ . Koliko iznosi stupanj iskoritenja kružnog procesa i snaga turbine?
101. Proces u termoelektrani odvija se kao idealni Rankineov kružni proces. Stacionarna je snaga kotla 3250 MW, a turbine 990 MW. Koliko iznosi tlak u kotlu uz tlak u kondenzatoru od 0.05 bar, konstantni maseni protok pare/vode u procesu od  $2129 \frac{kg}{s}$ , te termički stupanj djelovanja od 0.3? Računajte s konstantnim specifičnim volumenom kondenzata (vode) što ga pojna pumpa vraća u kotao,  $v = 0,001 \frac{m^3}{kg}$ .
102. Para tlaka 3 MPa, temperature  $300 ^\circ C$  napušta kotao i ulazi u visokotlačnu (VT) turbinu gdje ekspandira do tlaka 300 kPa. Para se zatim dodatno zagrijava do  $300 ^\circ C$  te ekspandira u niskotlačnoj (NT) turbini do tlaka 10 kPa. Poznate su vrijednosti entalpija: na izlazu iz pumpe  $194 \frac{kJ}{kg}$ , na izlazu iz kotla  $3069 \frac{kJ}{kg}$ , na izlazu VT turbine  $2542 \frac{kJ}{kg}$ , na izlazu meugrijaa  $2993 \frac{kJ}{kg}$ , na izlazu NT turbine  $2147 \frac{kJ}{kg}$  i na izlazu kondenzatora  $191 \frac{kJ}{kg}$ . Izračunati termički stupanj djelovanja kružnog procesa.
103. Toplina se dovodi u cilindar sa stapom volumena  $5 m^3$  koji sadri  $0.05 m^3$  vode u zasićenom stanju i  $4.95 m^3$  zasićene vodene pare kod tlaka 0.1 MPa, sve dok se cijeli cilindar ne ispuni zasićenom parom. Izračunajte količinu topline koja se dovodi za vrijeme procesa. Za tlak od 0.1 MPa poznato je još: specifični volumen i specifična unutrašnja energija zasićene vode su  $0.001043 \frac{m^3}{kg}$  i  $417.36 \frac{kJ}{kg}$ , specifični volumen i specifična unutrašnja energija zasićene pare su  $1,6940 \frac{m^3}{kg}$  i  $2506,1 \frac{kJ}{kg}$ .