

12. (3b) Jedan kilogram idealnog plina ( $c_v = 718 \text{ J/kgK}$ ,  $R = 287 \text{ J/kgK}$ ) tlaka 100 kPa i temperature 600 K **izobarno** se komprimira na temperaturu 400 K. Toplinsku energiju pritom izmjenjuje s okolicom. Temperatura okolice je 300 K. Koliki je gubitak mehaničkog rada (eksergije) za vrijeme ovog procesa?
13. (5b) **Realni** se Rankineov kružni proces provodi u termoelektrani snage turbine 1000 MW. Tlak je pare na ulazu u turbinu 8,5 MPa, a temperatura 650 °C. Tlak je u kondenzatoru 10 kPa. Unutrašnji stupanj djelovanja turbine iznosi 0,9, a pumpe 0,85. Iz parnih su tablica očitane sljedeće karakteristične vrijednosti:
- za tlak 10 kPa:  $h' = 191,8 \text{ kJ/kg}$ ,  $h'' = 2585 \text{ kJ/kg}$ ,  $v' = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$ ;
  - za tlak 8,5 MPa i temperaturu 650 °C:  $h = 3756 \text{ kJ/kg}$ ,  $s = 7,121 \text{ kJ/kgK}$ ;
  - za tlak 10 kPa i entropiju 7,121 kJ/kgK:  $h = 2256 \text{ kJ/kg}$ .
- Izračunajte:
- a) termički stupanj djelovanja Rankineovog kružnog procesa (uzeti u obzir rad pumpanja),
  - b) sadržaj pare na izlazu iz turbine,
  - c) maseni protok pare kroz turbinu.
14. (5b) Desnokretni Braytonov kružni proces s idealnim plinom ( $\kappa = 1,4$  i  $R = 287 \text{ J/kgK}$ ) sastoji se od **realne** adijabatske kompresije i ekspanzije te izobarnog dovođenja i odvođenja topline. Na ulazu u kompresor plin ima temperaturu 350 K i tlak 1 bar, a na izlazu iz kompresora tlak 10 bara. Temperatura plina na ulazu u turbinu iznosi 1400 K. Unutrašnji stupanj djelovanja kompresora iznosi 0,85, a turbine 0,9. Izračunati:
- a) tehnički rad turbine,
  - b) tehnički rad kompresora,
  - c) dovedenu toplinsku energiju,
  - d) termički stupanj djelovanja Braytonovog kružnog procesa.
15. (5b) Nuklearna elektrana PWR tipa s 2 rashladne petlje ima maseni protok primarnog hladioca po petlji 6 t/s. Snaga je primarne pojne pumpe 5 MW. Ukupna snaga pumpi pojne vode na sekundarnoj strani je 9 MW. Entalpije primarne vode na ulazu i izlazu iz generatora pare su 1510 kJ/kg i 1340 kJ/kg. U kondenzatoru se predaje toplinska snaga riječnoj vodi u iznosu od 1350 MW. Srednji neutronske tok u jezgri je  $3 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2\text{s}$ . Izračunati:
- a) snagu jezgre,
  - b) električnu snagu na priključnicama generatora ako je stupanj djelovanja generatora 0,97, a turbine 0,98,
  - c) masu 3% obogaćenog  $\text{UO}_2$  goriva efektivnog udarnog presjeka za fisiju  $580 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$  ako se po fisiji proizvede 200 MeV toplinske energije,
  - d) toplinsku snagu jezgre 2 dana nakon obustave, ako je reaktor prije obustave radio 18 mjeseci na punoj snazi (uzeti da mjesec ima 30 dana).



**TEORIJSKA PITANJA**

**Napomena:** Teorijska pitanja treba slijedno rješavati na tri slobodne stranice košuljice (ne na vlastitim papirima).

1. **(1b)** U čemu je razlika između toplinske i unutrašnje kaloričke energije? Formulirajte drugi glavni stavak termodinamike preko pojmova eksergije i anergije.
2. **(2b)** Skicirati izentropsku i adijabatsku ekspanziju u T-s dijagramu iz iste točke. U kome slučaju je izmijenjena veća količina toplinske energije? Skicirati izotermnu i adijabatsku ekspanziju u p-v dijagramu. Za isti omjer kompresije, u kome slučaju se dobije veći tehnički rad?
3. **(1b)** Što je to pravac okoline i koja je njegova jednačba u h-s sustavu? U čemu je razlika između maksimalnog i povratljivog rada zatvorenog sustava?
4. **(1b)** Objasniti termodinamički i eksergijski stupanj djelovanja te koliki je njihov teorijski maksimum?
5. **(2b)** Kako se stupanj djelovanja Rankineovog kružnog procesa mijenja kada raste tlak u kondenzatoru? Zašto se koriste grijači pojne vode, objasniti? Gdje je veći gubitak eksergije toplinske energije, u parnom kotlu ili kondenzatoru? Što je to specifični potrošak pare?
6. **(1b)** Kada kažemo da je termoelektrana kombinirana, a kada da je kogeneracijska? Kada kažemo da je parna turbina kondenzacijska, a kada protutlačna i koja ima veći tehnički rad za isti protok radnog medija i parametre pare na ulazu u turbinu?
7. **(2b)** Što je to geotermalni gradijent i koji je mehanizam prijenosa geotermalne energije do površine? Koje su vrste geotermalnih elektrana i o čemu ovisi izbor tipa elektrane? Kako po načinu izvedbe dijelimo toplinske pumpe i kojim parametrom opisujemo njihovu efikasnost?
8. **(2b)** Nacrtati i označiti dijagram kružnog procesa termoelektrane s idealnom plinskom turbinom u T-s i p-v koordinatnom sustavu. Što je to regenerativni izmjenjivač topline i kako on utječe na snagu plinske turbine, a kako na efikasnost kružnog procesa?
9. **(2b)** Nacrtati dijagram ovisnosti energije veze po nukleonu o masenom broju atomske jezgre. Što je energija aktivacije? Definirajte mikroskopski udarni presjek za reakcije s neutronima? Što je reaktivnost?
10. **(2b)** Navesti kombinaciju, gorivo, moderator, hladilac korištenu u PWR reaktoru. Što je to kritična masa goriva, a što obogaćenje? Čemu služi tlačnik? Kako se regulira snaga nuklearnog reaktora?

**NUMERIČKI ZADACI**

**Napomena:** Numeričke zadatke treba slijedno rješavati na vlastitim papirima tako da je na svakoj stranici po jedan zadatak (sa svake strane lista papira po jedan zadatak).

11. **(4b)** Idealni plin ( $c_v = 718 \text{ J/kgK}$ ,  $R = 287 \text{ J/kgK}$ ) tlaka 5 bara i temperature  $200^\circ\text{C}$  expandira u vertikalno postavljenoj turbini na tlak 1 bar i temperaturu  $100^\circ\text{C}$ . Brzina plina na ulazu u turbinu je  $30 \text{ m/s}$ , a na izlazu  $200 \text{ m/s}$ . Ulaz u turbinu je smješten  $5 \text{ m}$  iznad izlaza iz turbine. U okolicu iz turbine prelazi  $10 \text{ kJ/kg}$  toplinske energije. Maseni je protok plina  $10 \text{ kg/s}$ . Izračunati snagu turbine.