

**Napomena:** Teorijska pitanja rješavajte slijedno na tri slobodne stranice košuljice (ne na vlastitim papirima). Svako teorijsko pitanje vrijedi **4 boda**.

1. Je li toplinska energija veličina stanja i zašto? Za koji proces s idealnim plinom vrijedi da su tehnički i mehanički rad jednak? U kakvom su odnosu obavljeni rad i izmijenjena toplinska energija za realni kružni proces? Koji je predznak promjene entropije u adijabatskom procesu?
2. Koji su načini za povećanje stupnja djelovanja Rankineovog kružnog procesa? Kada kažemo da je termoelektrana kombi, a kada kogeneracijska? Da li je po absolutnoj vrijednosti realni rad kompresora u Brayton-Joule procesu veći ili manji od idealnoga rada? Kako se geotermalne elektrane dijele s obzirom na parametre radnoga fluida?
3. Što je to biološki minimum i da li je njegovo postojanje više primjerno pribranskoj ili derivacijskoj elektrani? Čemu služi vodna komora i koja je njena uloga u protočnoj hidroelektrani? Što je aspirator i zašto mu je duljina ograničena? U čemu se razlikuju Peltonova i Kaplanova vodna turbina?
4. Što je reaktivnost? Prikažite ovisnost mikroskopskog udarnog presjeka za fisiju U-235 o energiji? Kako nastaju zakašnjeli neutroni i zašto su važni? Navedite kombinaciju gorivo/moderator/hladilo korištenu u jezgri PWR reaktora.
5. Koje su prednosti trofaznog sustava u odnosu na jednofazni? Definirajte vrijeme korištenja maksimalne snage. Što je vozni red elektrana i zašto postoji? Ako nam u sustavu dolazi do smanjenja frekvencije, da li se radi o višku proizvodnih kapaciteta ili povećanoj potrošnji električne energije?
6. Kako se zove uređaj za mjerjenje insolacije? Navedite vrste solarnih termoelektrana. Nacrtajte i označite I-U karakteristiku fotonaponske (FN) ćelije. Kako je definiran stupanj djelovanja, a kako faktor punjenja FN ćelije?
7. Što je Betzov koeficijent i koja dva oblika energije on veže? Nacrtajte i označite karakteristiku snage vjetroagregata. Što znači kada kažemo da vjetar ima veliku varijabilnost, a malu predvidljivost? Što znači kada kažemo da agregat ima indirektni pogon, a direktni spoj na mrežu?
8. Koja su dva najvažnija izvora biomase? Što je esterifikacija, a što fermentacija i koje se vrste biogoriva dobivaju kao rezultat tih procesa? Navedite osnovnu prednost i osnovnu manu biomase? Da li biomasa uzrokuje zagađenje sa stajališta  $\text{CO}_2$ ?
9. Koji oblik energetske pretvorbe je realiziran u gorivnom članku? Koji su mu osnovni dijelovi? Prikažite radnu karakteristiku gorivnog članaka? Što je to neposredna energetska pretvorba?
10. Zašto skladištimo električnu energiju? Navesti neke značajke koje opisuju spremnik energije. Navesti jedan primjer spremnika za koji je karakteristična velika količina spremljene energije, i jedan za veliku gustoču spremljene energije. Koji će dalekovod proizvesti veće magnetsko polje na rubu koridora za istu prenesenu snagu, dalekovod naponske razine 400 kV ili 110 kV?

#### NUMERIČKI ZADACI

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

11. (7b) U termoelektrani se odvija idealni Rankineov kružni proces. Para tlaka 7 MPa i temperature 500 °C napušta kotao i ulazi u visokotlačni (VT) dio turbine gdje ekspandira do tlaka 0,9 MPa. Para se zatim dodatno zagrijava do temperature 450 °C te ekspandira u niskotlačnom (NT) dijelu turbine do tlaka 10 kPa. Iz parnih su tablica očitane vrijednosti entalpija: na izlazu iz kotla 3411 kJ/kg, na izlazu iz VT dijela turbine 2856 kJ/kg, na izlazu iz međupregrijača 3372 kJ/kg, na izlazu iz NT dijela turbine 2431 kJ/kg i na izlazu iz kondenzatora 192 kJ/kg. Gustoča vode što ju pumpa ubrizgava u kotao je 1000 kg/m<sup>3</sup>. Protok fluida u Rankineovom kružnom procesu je 300 kg/s. Izračunati:
  - a) termički stupanj djelovanja Rankineovog kružnog procesa (uzeti u obzir rad pumpanja),
  - b) porast temperature rashladne vode koja odvodi toplinu iz kondenzatora. Protok rashladne vode je 20 000 kg/s, a njezin specifični toplinski kapacitet 4,18 kJ/kgK.
12. (7b) Nuklearna elektrana PWR tipa ima 3 rashladne petlje. Snaga jezgre je 3 GW. Masa  $\text{UO}_2$  goriva u jezgri je 80 tona, a srednji neutronski tok  $3 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2\text{s}$ . Mikroskopski udarni presjek za fisiju je  $580 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$ . Maseni protok primarnog hlađioca kroz jednu pumpu je 5000 kg/s. Temperatura hlađioca, specifičnog toplinskog kapaciteta 5,7 kJ/kgK i gustoće 720 kg/m<sup>3</sup>, na ulazu u jezgru je 295 °C. Entalpija pojne vode parogeneratora je 391 kJ/kg, a entalpija zasićene pare na izlazu iz parogeneratora 2764 kJ/kg. Maseni je protok pare kroz turbinu 1269 kg/s. Izračunati:
  - a) obogaćenje goriva,

- b) temperaturu hladioca na izlazu iz jezgre,
- c) snagu primarne pumpe,
- d) promjenu tlaka hladioca na primarnoj pumpi.

13. (6b) Idealni plin ( $c_v = 718 \text{ J/kgK}$ ,  $R = 287 \text{ J/kgK}$ ) tlaka 5 bara i temperature  $200^\circ\text{C}$  ekspandira 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 m iznad izlaza iz turbine. Izračunati snagu turbine ako se za vrijeme ekspanzije u okolicu odvodi  $90 \text{ kJ/s}$  toplinske snage. Maseni je protok plina  $10 \text{ kg/s}$ .

14. (6b) Adijabatski sustav krutih stijenki adijabatskom je pregradom podijeljen u dva dijela. U prvom se nalazi čelična kugla mase  $500 \text{ kg}$  i temperaturu  $120^\circ\text{C}$ , a u drugom čelična kugla mase  $250 \text{ kg}$  i temperaturu  $18^\circ\text{C}$ . Specifični toplinski kapacitet čeličnih kugli  $460 \text{ J/kgK}$ , dok je temperatura okolice  $20^\circ\text{C}$ . Uklonimo li adijabatsku pregradu:

- a) kolika će biti konačna temperatura kugli,
- b) kolika će biti ukupna promjena entropije adijabatskog sustava?

15. (6b) Tlačnim se tunelom, sa zahvatom na koti  $200 \text{ m n.v.}$ , iz akumulacijskog jezera dovodi voda do turbine derivacijske HE čiji je izlaz na koti  $50 \text{ m n.v.}$  Visina vode ispred brane je  $40 \text{ m}$ . Razina donje vode (odvodni kanal) je na koti  $45 \text{ m n.v.}$  Instalirani protok vode kroz postrojenje je  $150 \text{ m}^3/\text{s}$ . Prosječni je stupanj djelovanja elektrane  $0,85$ . Promjer izlaznog otvora turbine iznosi  $3 \text{ m}$ . Izračunati:

- a) instaliranu snagu elektrane kada se na izlaz iz turbine postavi aspirator,
- b) instaliranu snagu elektrane kada se na izlaz iz turbine postavi difuzor čiji je **polumjer** izlaznog otvora za  $1 \text{ m}$  veći od polumjera izlaznog otvora turbine,
- c) godišnje proizvedenu električnu energiju za slučajeve a) i b) ako faktor opterećenja iznosi  $0,7$  (u oba slučaja).

16. (4b) Termoelektrana kao gorivo koristi ugljen ogrjevne moći  $26 \text{ MJ/kg}$ , s masenim udjelom ugljika  $65\%$  i sumpora  $3\%$ . Učinkovitost pretvorbe toplinske u električnu energiju iznosi  $33\%$ . Kolike su mase ugljičnog dioksida i sumpornog dioksida koje se ispuste po  $\text{kWh}$  proizvedene električne energije? Atomska masa atoma ugljika iznosi  $12 \text{ g/mol}$ , sumpora  $32 \text{ g/mol}$ , a kisika  $16 \text{ g/mol}$ .

17. (4b) U termoelektrani na biomasu, stupnja djelovanja  $0,32$ , izgara  $35 \text{ tona biomase na sat.}$

- a) Ukoliko se pri izgaranju  $1 \text{ kg}$  biomase oslobađa  $9 \text{ MJ}$  toplinske energije, kolika je električna snaga elektrane?
- b) Ako je faktor opterećenja termoelektrane  $75\%$ , a godišnji prinos biomase  $12 \text{ t/ha}$ , koliku površinu godišnje treba osigurati za uzgoj biomase?

18. (6b) Mjerenjem je na nekoj lokaciji utvrđena sljedeća raspodjela brzine vjetra kroz godinu:

$m/s$	0	5	8	10	16	20	25
% godišnje	15	33	26	7	5	2	12

Na raspolaganju imamo dva vjetroagregata (VA): VA1 nazivne brzine  $8 \text{ m/s}$  i promjera lopatica  $40 \text{ m}$ , i VA2 nazivne brzine  $10 \text{ m/s}$  i promjera lopatica  $50 \text{ m}$ . Vjetroagregati mogu raditi na vjetru brzine od  $5 \text{ m/s}$  do svoje dvostrukе nazivne brzine. Računati sa standardnom gustoćom zraka  $1,225 \text{ kg/m}^3$ . Izračunati:

- a) godišnje proizvedenu električnu energiju u oba VA, ako uzmemu da je efikasnost pretvorbe energije vjetra u električnu pri svim brzinama vjetra, te za oba VA, jednaka i iznosi  $0,5$ ,
- b) faktor opterećenja svakog VA.

19. (8b) Maksimalna dnevna potrošnja EES-a iznosi  $1700 \text{ MW}$ , a minimalna  $800 \text{ MW}$ . Vrijeme trajanja minimalne snage je  $4 \text{ sati}$ . Za aproksimaciju dnevnog dijagrama trajanja opterećenja s tri pravca vrijedi  $\alpha = 0,625$  i  $\beta = 5/6$ . U sustavu su raspoložive sljedeće elektrane: nuklearna elektrana snage  $600 \text{ MW}$ , dvije protočne hidroelektrane snaga  $200 \text{ MW}$  svaka, četiri termoelektrane (TE) svaka nazivne snage  $250 \text{ MW}$  i tehničkog minimuma  $50 \text{ MW}$ . Cijene električne energije proizvedene iz TE su različite, najjeftinija je iz TE4, pa redom do najskuplje TE1.

- a) Nacrtati dijagram trajanja opterećenja EES-a, označiti karakteristične točke i ucrtati raspored rada elektrana.
- b) Izračunati faktor opterećenja.
- c) Izračunati energiju proizvedenu u elektrani TE2.
- d) Izračunati energiju preljeva hidroelektrana.