

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

1. **(4b)** Nacrtati u p-v dijagramu izotermnu i adijabatsku kompresiju iz iste početne točke. Nacrtati u T-s dijagramu procese izobarnog i izohornog dovođenja topline iz iste početne točke. Za koju su promjene stanja idealnoga plina mehanički rad promjene volumena i izmjenjena toplinska energija jednaki? Koja je razlika između → mehaničke energije i mehaničkog rada?
2. **(4b)** Je li promjena entropije radnoga medija veća u Jouleovom ili Carnotovom kružnom procesu? Navesti dva postupka povećanja termičkog stupnja djelovanja u termoelektrani (TE) s plinskom turbinom, te dva postupka povećanja termičkog stupnja djelovanja u TE s parnom turbinom. Nacrtati p-v i T-s dijagrame idealnog Jouleovog kružnog procesa.
3. **(4b)** Koje je porijeklo geotermalne energije? Na koji se način postiže separacija tekuće i parne faze u elektrani sa separiranjem pare? Nacrtati T-s dijagram elektrane s binarnim ciklusom. Kako funkcioniра toplinska pumpa?
4. **(4b)** Nacrtati ovisnost mikroskopskog udarnog presjeka za fisiju o energiji neutrona za U-235. Koja je funkcija kontrolnih šipki, a koja moderatora u nuklearnom reaktoru? U kojem je agregatnom stanju fluid na primarnoj strani parogeneratora, a u kojem na sekundarnoj strani parogeneratora PWR elektrane? Kako se regulira snaga PWR, a kako BWR nuklearnog reaktora?
5. **4b)** Nacrtati i označiti I-U karakteristike fotonaponske (FN) ćelije za dvije različite vrijednosti temperatura. Nabrojiti vrste solarnih termoelektrana (TE) i poredati ih prema porastu njihove efikasnosti. Koja se komponenta sunčevog zračenja koristi u solarnoj TE, a koja u FN elektrani? Nacrtati nadomjesnu shemu FN ćelije.
6. **(4b)** Nacrtati vremensku ovisnost snage na radnom i na induktivnom trošilu i navesti koje su im frekvencije snaga ako je frekvencija napona i struje u oba slučaja 50 Hz? Kako se predviđanja porasta električne energije dijele prema funkcionalnoj ovisnosti opterećenja? Što je vozni red elektrana i koje se elektrane koriste za pokrivanje vršnog opterećenja u njemu? Koja je osnovna razlika između kabela i dalekovodnog užeta? Što je kut tereta?
7. **(4b)** U istom dijagramu nacrtajte konsumcijske krivulje za ravničarsku i planinsku rijeku. Kako dijelimo hidroelektrane prema načinu korištenja vode i čemu služi vodna komora? Koje su karakteristike Francisove vodne turbine i kako joj se regulira snaga? Što je to kavitacija, kako sve može utjecati na rad vodne turbine i da li je vjerojatnost njenog nastanka veća u ulaznom ili izlaznom dijelu turbine?
8. **(4b)** Nacrtati promjenu tlaka i brzine za strujnu cijev koja opisuje rad vjetroagregata (VA). Koji su načini regulacije snage VA i na kojem se aerodinamičkom efektu temelje? Koje su prednosti i mane VA s horizontalnom osovinom u odnosu na one s vertikalnom osovinom? Što znači kada kažemo da je VA direktno pogonjen i koje su mane i prednosti takvog načina pogona?
9. **(4b)** Kako je definirana efikasnost gorivnog članka i što ga sve razlikuje od Li-ionskog članka? Što su to neposredne energetske pretvorbe, koje su i koja je od njih trenutno najviše korištena za proizvodnju električne energije? Što su to sekundarne pretvorbe biomase i što su to biogoriva druge generacije? Navesti termičke pretvorbe poredane u smislu povećanja potrebne količine kisika. Navesti načine proizvodnje vodika u smislu rastuće isplativosti?
10. **(4b)** Navesti bar 2 razloga za spremanje električne energije u sustavu i navesti koji razlog spremanja ima najveću frekvenciju korištenja. Koji su spremnici mehaničke energije i koji im je redoslijed kada ih poredamo u smislu porasta efikasnosti spremanja? Opisite ciklus SMES spremnika energije, napišite izraz za spremljenu energiju i navedite što je samopražnjenje za taj tip spremnika? Što su primarni, a što sekundarni efluenti i koji su odgovorni za kisele kiše u okolini TE?

**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. (6b) Idealni plin ( $R=287 \text{ J/kgK}$ ,  $\kappa = 1,4$ ) ekspandira u plinskoj turbini od tlaka 7 bar i temperature  $600^\circ\text{C}$  na tlak 1 bar i temperaturu  $300^\circ\text{C}$ . Za vrijeme ekspanzije, u okolicu tlaka 1 bar i temperature  $15^\circ\text{C}$  prelazi  $8 \text{ kJ/kg}$  toplinske energije. Zanemarujući promjene kinetičke i potencijalne energije idealnog plina, odredite:
- realni specifični tehnički rad turbine,
  - gubitak specifičnog mehaničkog rada izazvan realnošću procesa u turbini,
  - promjenu specifične entropije idealnog plina.
12. (8b) Realni se Rankineov kružni proces provodi u termoelektrani snage turbine 1000 MW. Tlak je pare na ulazu u turbinu 8,5 MPa, a temperatura  $650^\circ\text{C}$ . 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  $650^\circ\text{C}$ :  $h = 3756 \text{ kJ/kg}$ ,  $s = 7,121 \text{ kJ/kgK}$ ;  
za tlak 10 kPa i entropiju 7,121 kJ/kgK:  $h = 2256 \text{ kJ/kg}$ .
- Izračunajte:
- termički stupanj djelovanja Rankineovog kružnog procesa (uzeti u obzir rad pumpanja),
  - sadržaj pare na izlazu iz turbine,
  - maseni protok pare kroz turbinu.
1. (8b) Nuklearna elektrana PWR tipa ima 3 rashladne petlje. Snaga jezgre je 3 GW. Masa je urana u jezgri 65 tona, a srednji neutronski tok  $3 \cdot 10^{17} \text{ n/m}^2\text{s}$ . Mikroskopski udarni presjek za fisiju je  $580 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$ . Maseni protok primarnog hladioca kroz jednu pumpu je 5000 kg/s. Temperatura hladioca, specifičnog toplinskog kapaciteta 5,7 kJ/kgK i gustoće  $720 \text{ kg/m}^3$ , na ulazu u jezgru je  $295^\circ\text{C}$ . 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:
- obogaćenje goriva,
  - temperaturu hladioca na izlazu iz jezgre,
  - snagu primarne pumpe,
  - promjenu tlaka hladioca na primarnoj pumpi.
2. (8b) Tlačnim se tunelom, sa zahvatom na koti 200 m n.v., iz akumulacijskog jezera dovodi voda do turbine derivacijske HE čiji je izlaz na koti 50 m n.v. Visina vode ispred brane je 40 m. Razina donje vode (odvodni kanal) je na koti 45 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 m. Izračunati:
- instaliranu snagu elektrane kada se na izlaz iz turbine postavi aspirator,
  - instaliranu snagu elektrane kada se na izlaz iz turbine postavi difuzor čiji je polumjer izlaznog otvora za 1,5 veći od polumjera izlaznog otvora turbine,
  - godišnje proizvedenu električnu energiju za slučajeve a) i b) ako faktor opterećenja iznosi 0,7 (u oba slučaja).
- (8b) Razmatramo solarnu termoelektranu sa solarnim tornjem i fotonaponsku elektranu. Uкупno vršeno ozračenje na površinu zrcala, odnosno fotonaponskih panela iznosi  $1200 \text{ W/m}^2$ , dok je ukupna godišnja ozračenost na horizontalnu plohu  $1500 \text{ kWh/m}^2$ . Aktivna površina zrcala, odnosno panela je  $10000 \text{ m}^2$ . Faktor pretvorbe sunčeve energije u toplinski u tornju je 0,5, a stupanj djelovanja Rankineovog kružnog procesa 0,8. Stupanj djelovanja fotonaponskih celija je 0,11. Udio direktnе komponente sunčevog zračenja je 80%. Izračunati za obje elektrane:
- instaliranu električnu snagu,
  - godišnje proizvedenu električnu energiju ako su zrcala i fotonapski paneli postavljeni pod optimalnim kutom, a povećanje ozračenosti na panele i zrcala pod optimalnim kutom iznosi 20%,
  - faktor opterećenja.

4. (8b) Vjetroagregat razvija nazivnu električnu snagu 1,5 MW kod nazivne brzine vjetra 11 m/s. Brzina vjetra između nazivne i maksimalne javlja se tijekom 20% vremena u godini (kada VA cijelo vrijeme postiže nazivnu snagu). Električnu snagu od 0,7 MW vjetroagregat razvija kod srednje brzine vjetra od 8 m/s koja se javlja tijekom 40% vremena u godini. Ostatak vremena VA ne radi. Računati sa standardnom gustoćom zraka 1,225 kg/m<sup>3</sup>. Izračunati:
- predvidivu godišnju proizvodnju električne energije
  - faktor opterećenja vjetroagregata,
  - promjer lopatica vjetroagregata uz cpe = 0,4 pri nazivnoj brzini.

(8b) Za elektroenergetski sustav poznato je dnevno opterećenje prema podacima u tablici.

$t [h]$	0 – 4	4 – 6	6 – 9	9 – 12	12 – 14	14 – 18	18 – 22	22 – 23	23 – 24
$P [MW]$	800	1000	1200	2000	1700	1500	1700	1200	800

U sustavu se nalaze sljedeće elektrane:

HE1: PHE1n = 200 MW; protočna HE

HE2: PHE2n = 300 MW; protočna HE

NE: PNEn = 500 MW;

TE1: PTE1n = 200 MW; PTE1min = 50 MW; cTE1 = 40 lp/kWh

TE2: PTE2n = 250 MW; PTE2min = 50 MW; cTE2 = 35 lp/kWh

TE3: PTE3n = 350 MW; PTE3min = 50 MW; cTE3 = 30 lp/kWh

TE4: PTE4n = 450 MW; PTE4min = 100 MW; cTE4 = 25 lp/kWh

- Nacrtati dnevnu krivulju trajanja opterećenja, te odrediti vrijednosti varijabilne energije, konstantne energije, dnevno utrošene energije i faktora opterećenja.
- Ucrtati u dnevnu krivulju trajanja opterećenja raspored rada elektrana.
- Izračunati energiju preljeva hidroelektrana.
- Koliko sati TE3 radi na minimalnoj snazi?
- Koliko ukupno energije proizvede TE2?

**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. (6b) Idealni plin ( $R=287 \text{ J/kgK}$ ,  $\kappa = 1,4$ ) ekspandira u plinskoj turbini od tlaka 7 bar i temperature  $600^\circ\text{C}$  na tlak 1 bar i temperaturu  $300^\circ\text{C}$ . Za vrijeme ekspanzije, u okolicu tlaka 1 bar i temperature  $15^\circ\text{C}$  prelazi  $8 \text{ kJ/kg}$  toplinske energije. Zanemarujući promjene kinetičke i potencijalne energije idealnog plina, odredite:
- realni specifični tehnički rad turbine,
  - gubitak specifičnog mehaničkog rada izazvan realnošću procesa u turbini,
  - promjenu specifične entropije idealnog plina.

12. (8b) Realni se Rankineov kružni proces provodi u termoelektrani snage turbine 1000 MW. Tlak je pare na ulazu u turbinu 8,5 MPa, a temperatura  $650^\circ\text{C}$ . 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  $650^\circ\text{C}$ :  $h = 3756 \text{ kJ/kg}$ ,  $s = 7,121 \text{ kJ/kgK}$ ;  
za tlak 10 kPa i entropiju 7,121 kJ/kgK:  $h = 2256 \text{ kJ/kg}$ .

Izračunajte:

- termički stupanj djelovanja Rankineovog kružnog procesa (uzeti u obzir rad pumpanja),
- sadržaj pare na izlazu iz turbine,
- maseni protok pare kroz turbinu.

1. (8b) Nuklearna elektrana PWR tipa ima 3 rashladne petlje. Snaga jezgre je 3 GW. Masa je urana u jezgri 65 tona, a srednji neutronski tok  $3 \cdot 10^{17} \text{ n/m}^2\text{s}$ . Mikroskopski udarni presjek za fisiju je  $580 \cdot 10^{-28} \text{ m}^2$ . Maseni protok primarnog hlađioca kroz jednu pumpu je  $5000 \text{ kg/s}$ . Temperatura hlađioca, specifičnog toplinskog kapaciteta  $5,7 \text{ kJ/kgK}$  i gustoće  $720 \text{ kg/m}^3$ , na ulazu u jezgru je  $295^\circ\text{C}$ . Entalpija pojne vode parogeneratora je  $391 \text{ kJ/kg}$ , a entalpija zasićene pare na izlazu iz parogeneratora  $2764 \text{ kJ/kg}$ . Maseni je protok pare kroz turbinu  $1269 \text{ kg/s}$ . Izračunati:
- obogaćenje goriva,
  - temperatuру hlađioca na izlazu iz jezgre,
  - snagu primarne pumpe,
  - promjenu tlaka hlađioca na primarnoj pumpi.

2. (8b) Tlačnim se tunelom, sa zahvatom na koti 200 m n.v., iz akumulacijskog jezera dovodi voda do turbine derivacijske HE čiji je izlaz na koti 50 m n.v. Visina vode ispred brane je 40 m. Razina donje vode (odvodni kanal) je na koti 45 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 m. Izračunati:
- instaliranu snagu elektrane kada se na izlaz iz turbine postavi aspirator,
  - instaliranu snagu elektrane kada se na izlaz iz turbine postavi difuzor čiji je polumjer izlaznog otvora za 1 m veći od polumjera izlaznog otvora turbine,
  - godišnje proizvedenu električnu energiju za slučajeve a) i b) ako faktor opterećenja iznosi 0,7 (u oba slučaja).

3. (8b) Razmatramo solarnu termoelektranu sa solarnim tornjem i fotonaponsku elektranu. Ukupno vršno ozračenje na površinu zrcala, odnosno fotonaponskih panela iznosi  $1200 \text{ W/m}^2$ , dok je ukupna godišnja ozračenost na horizontalnu plohu  $1500 \text{ kWh/m}^2$ . Aktivna površina zrcala, odnosno panela je  $10000 \text{ m}^2$ . Faktor pretvorbe sunčeve energije u toplinski u tornju je 0,5, a stupanj djelovanja Rankineovog kružnog procesa 0,3. Stupanj djelovanja fotonaponskih celija je 0,11. Udio direktnе komponente sunčevog zračenja je 80%. Izračunati za obje elektrane:
- instaliranu električnu snagu,
  - godišnje proizvedenu električnu energiju ako su zrcala i fotonapski paneli postavljeni pod optimalnim kutom, a povećanje ozračenosti na panele i zrcala pod optimalnim kutom iznosi 20%,
  - faktor opterećenja.