

## Grupa 1: Maseni udjeli i mješavine goriva

---

### 1. Maseni udio bio-komponente u dizelskom gorivu

- **Zadatak:** U mješavini dizelskog goriva nalazi se 7 masenih postotaka biodizela (metilni ester masnih kiselina - FAME). Ako gustoća čistog fosilnog dizela iznosi 0,84 kg/L, a biodizela 0,88 kg/L, izračunaj koliki je volumni udio (vol. %) obnovljive komponente u toj mješavini.
- **Nacrt rješavanja:**
  1. Uzmite bazu od 100 g mješavine. Masa biodizela je  $m_1 = 7$  g, a fosilnog dizela  $m_2 = 93$  g.
  2. Izračunajte volumen svake komponente preko formule  $V = \frac{m}{\rho}$ . Pripazite na usklađivanje mjernih jedinica (g i g/mL).
  3. Zbrojite volumene za ukupni volumen mješavine:  $V_{\text{ukupno}} = V_1 + V_2$ .
  4. Izračunajte volumni udio biodizela:  $\varphi = \frac{V_1}{V_{\text{ukupno}}} \times 100\%$ .

### 2. Maseni udio kisika u bioetanolskoj mješavini E85

- **Zadatak:** Gorivo E85 sadrži 85 masenih postotaka bioetanola ( $C_2H_5OH$ ) i 15 masenih postotaka čistog benzina (ugljikovodici bez kisika). Izračunaj maseni udio samog elementarnog kisika u cijeloj mješavini goriva E85 koji potječe iz obnovljivog izvora.
- **Nacrt rješavanja:**
  1. Izračunajte molarnu masu bioetanola  $M(C_2H_5OH) = 46$  g/mol i atomsku masu kisika  $M(O) = 16$  g/mol.
  2. Odredite maseni udio kisika u čistom etanolu:  $w(O \text{ u etanolu}) = \frac{16}{46}$ .
  3. Pomnožite taj udio s udjelom etanola u mješavini E85 (0,85).
  4. Rezultat izrazite u postocima:  $w(O \text{ u mješavini}) = w(O \text{ u etanolu}) \times 0,85 \times 100\%$ .

### 3. Sadržaj obnovljivog ugljika u mješavini s biometanom

- **Zadatak:** Plinska mješavina sadrži 20 masenih postotaka biometana ( $\text{CH}_4$  iz bioplina) i 80 masenih postotaka fosilnog prirodnog plina (pretpostaviti također čisti  $\text{CH}_4$ ). Koliki je maseni udio obnovljivog ugljika u ukupnoj masi plina?
- **Nacrt rješavanja:**
  1. Iako je kemijski sastav isti, samo ugljik iz biometana smatra se obnovljivim.
  2. Izračunajte udio ugljika u molekuli metana:  $w(\text{C}) = \frac{M(\text{C})}{M(\text{CH}_4)} = \frac{12}{16} = 0,75$ .
  3. Budući da je udio biometana u smjesi 20 %, pomnožite udio ugljika s udjelom biometana:  $0,75 \times 0,20 = 0,15$ .
  4. Maseni udio obnovljivog ugljika u ukupnoj mješavini iznosi 15 %.

### 4. Energetski udio obnovljive komponente (E10)

- **Zadatak:** Benzin E10 sadrži 10 masenih postotaka bioetanola i 90 masenih postotaka fosilnog benzina. Donja ogrjevna vrijednost fosilnog benzina je 43 MJ/kg, a bioetanola 27 MJ/kg. Izračunaj energetski udio (%) obnovljive komponente u ovom gorivu.
- **Nacrt rješavanja:**
  1. Uzmite bazu od 1 kg goriva E10 (0,1 kg etanola i 0,9 kg benzina).
  2. Izračunajte energiju koju daje etanol:  $E_{\text{etanol}} = 0,1 \text{ kg} \times 27 \text{ MJ/kg} = 2,7 \text{ MJ}$ .
  3. Izračunajte energiju koju daje fosilni benzin:  $E_{\text{benzin}} = 0,9 \text{ kg} \times 43 \text{ MJ/kg} = 38,7 \text{ MJ}$ .
  4. Izračunajte ukupnu energiju mješavine:  $E_{\text{ukupno}} = 2,7 + 38,7 = 41,4 \text{ MJ}$ .
  5. Podijelite energiju etanola s ukupnom energijom: Energetski udio =  $\frac{2,7}{41,4} \times 100 \%$ .

## Grupa 2: Elektroliza, zeleni vodik i električni naboj

### 5. Vrijeme rada elektrolizera za manju ciljanu proizvodnju

- **Zadatak:** Elektrolizer vode snage 2 MW radi s učinkovitošću od 70 %. Koliko je sati rada potrebno ovom uređaju da proizvede 100 tona zelenog vodika, ako je za proizvodnju 1 kg vodika pri 100 % učinkovitosti potrebno 33,3 kWh električne energije?
- **Nacrt rješavanja:**
  1. Izračunajte stvarnu energiju potrebnu za 1 kg vodika uzimajući u obzir učinkovitost:
$$E_{\text{stg}} = \frac{33,3 \text{ kWh}}{0,70}.$$
  2. Pretvorite 100 tona u kilograme (100.000 kg).
  3. Izračunajte ukupnu potrebnu električnu energiju:  $E_{\text{ukupno}} = 100.000 \text{ kg} \times E_{\text{stg}}$ .
  4. Vrijeme rada ( $t$ ) dobit ćete dijeljenjem ukupne energije sa snagom elektrolizera (2 MW = 2000 kW):  $t = \frac{E_{\text{ukupno}}}{\text{Snaga}}$ .

### 6. Određivanje jakosti struje i naboja za PEM elektrolizer

- **Zadatak:** Proton-vodljivi (PEM) elektrolizer treba proizvesti 5 tona zelenog vodika dnevno (24 h). Koristeći Faradayev zakon elektrolize, izračunaj ukupnu količinu električnog naboja ( $Q$ ) u Kulonima i potrebnu jakost struje ( $I$ ) za ovaj proces.
- **Nacrt rješavanja:**
  1. Pretvorite masu vodika u grame ( $m = 5 \times 10^6 \text{ g}$ ).
  2. Izračunajte broj molova molekularnog vodika ( $\text{H}_2$ ), uzimajući u obzir da je  $M(\text{H}_2) = 2 \text{ g/mol}$ .
  3. Budući da su za svaku molekulu  $\text{H}_2$  potrebna 2 elektrona ( $z = 2$ ), ukupan broj molova elektrona je  $n(e^-) = 2 \times n(\text{H}_2)$ .
  4. Izračunajte naboj preko Faradayeve konstante ( $F = 96485 \text{ C/mol}$ ):  $Q = n(e^-) \times F$ .
  5. Jakost struje izračunajte iz formule  $I = \frac{Q}{t}$ , gdje je vrijeme  $t$  izraženo u sekundama ( $24 \times 3600 \text{ s}$ ).

## 7. Napon i snaga pri zadanoj struji elektrolize

- **Zadatak:** Kroz industrijski elektrolizer prolazi stalna struja jakosti 50.000 A tijekom 10 sati, pri čemu se potroši 2500 kWh obnovljive električne energije. Izračunaj radni napon ( $U$ ) ovog sustava i ukupni preneseni naboj ( $Q$ ).
- **Nacrt rješavanja:**
  1. Izračunajte ukupni naboj u Kulonima pomoću formule:  $Q = I \times t$  (vrijeme pretvorite u sekunde: 10 h = 36.000 s).
  2. Pretvorite utrošenu energiju iz kWh u Džule (J): 1 kWh =  $3,6 \times 10^6$  J.
  3. Iz formule za električni rad  $W = U \times Q$ , izrazite i izračunajte napon:  $U = \frac{W}{Q}$ .

---

## 8. Potreban kapacitet baterije za napajanje elektrolizera

- **Zadatak:** Solarna elektrana napaja mali elektrolizer naponom od 48 V. Za proizvodnju željene količine vodika potreban je ukupan električni naboj od 720.000 C. Koliki mora biti minimalni kapacitet baterijskog spremnika izražen u Amper-satima (Ah) koji može pohraniti ovaj naboj?
- **Nacrt rješavanja:**
  1. Veza između Kulona (As) i Amper-sati (Ah) temelji se na pretvorbi vremena (jedan sat ima 3600 sekundi).
  2. Kapacitet u Amper-satima dobije se dijeljenjem naboja u Kulonima s brojem sekundi u satu:  $C(\text{Ah}) = \frac{Q(\text{C})}{3600}$ .
  3. Uočite da je podatak o naponu od 48 V u ovom slučaju višak informacija ako se traži isključivo kapacitet u Ah (strujni kapacitet), no poslužio bi da se tražio energetska kapacitet u Wh.

### Grupa 3: Usporedba emisija CO<sub>2</sub> i energenata

#### 9. Emisija CO<sub>2</sub> po proizvedenom megavat-satu (MWh) struje

- **Zadatak:** Usporedi specifičnu emisiju CO<sub>2</sub> (kg CO<sub>2</sub>/MWh proizvedene toplinske energije) za dva energenta: (a) drvenu biomasu s udjelom ugljika od 50 % i ogrjevnom vrijednošću 15 MJ/kg, te (b) loživo ulje s udjelom ugljika od 85 % i ogrjevnom vrijednošću 42 MJ/kg. Raspravi ugljičnu neutralnost biomase.
- **Nacrt rješavanja:**
  1. Za 1 kg svakog goriva izračunajte masu ugljika, a zatim masu nastalog CO<sub>2</sub> množenjem s koeficijentom  $\frac{44}{12}$ .
  2. Pretvorite ogrjevnu vrijednost iz MJ/kg u MWh/kg (1 MWh = 3600 MJ).
  3. Podijelite masu nastalog CO<sub>2</sub> s dobivenom energijom u MWh za oba goriva.
  4. Dodajte napomenu: Iako biomasa u teoriji može ispustiti više CO<sub>2</sub> po MWh na mjestu izgaranja, ona se smatra ugljično neutralnom jer je taj isti CO<sub>2</sub> biljka prethodno apsorbirala iz atmosfere tijekom rasta.

#### 10. Ušteda CO<sub>2</sub> zamjenom zemnog plina zelenim vodikom

- **Zadatak:** Tvornica troši 2000 tona metana (CH<sub>4</sub>) godišnje za toplinske procese. Izgaranjem metana nastaje CO<sub>2</sub> prema jednadžbi  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ . Izračunaj koliko se tona emisija CO<sub>2</sub> izbjegne ako se cijela količina metana zamijeni zelenim vodikom (koji ne emitira CO<sub>2</sub>).
- **Nacrt rješavanja:**
  1. Odredite molarnu masu metana (16 g/mol) i ugljičnog dioksida (44 g/mol).
  2. Iz stehiometrijskog odnosa vidljivo je da iz 1 mola CH<sub>4</sub> nastaje 1 mol CO<sub>2</sub>.
  3. Izračunajte masu nastalog CO<sub>2</sub>:  $m(\text{CO}_2) = m(\text{CH}_4) \times \frac{44}{16}$ .
  4. Budući da zeleni vodik ima nultu emisiju pri izgaranju, izračunata masa CO<sub>2</sub> predstavlja ukupnu izbjegnutu/uštedenu količinu emisija.

- **Zadatak:** Izračunaj i usporedi masu  $\text{CO}_2$  koja nastane izgaranjem količine pročišćenog bioplina (uzeti da je to 100 %  $\text{CH}_4$ ) i fosilnog propana ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) koja je potrebna da se oslobodi točno 100 GJ energije. (Donje ogrjevne vrijednosti: metan = 50 MJ/kg, propan = 46 MJ/kg).
- **Nacrt rješavanja:**
  1. Izračunajte potrebnu masu metana i propana u kilogramima dijeljenjem 100 GJ (100.000 MJ) s njihovim ogrjevnim vrijednostima.
  2. Napišite jednadžbe izgaranja kako biste vidjeli odnose molova: iz  $\text{CH}_4$  nastaje 1  $\text{CO}_2$ , a iz  $\text{C}_3\text{H}_8$  nastaju 3  $\text{CO}_2$ .
  3. Izračunajte emisiju  $\text{CO}_2$  za metan:  $m(\text{CO}_2) = m(\text{CH}_4) \times \frac{44}{16}$ .
  4. Izračunajte emisiju  $\text{CO}_2$  za propan:  $m(\text{CO}_2) = m(\text{propan}) \times \frac{3 \times 44}{44} = m(\text{propan}) \times 3$ .
  5. Usporedite dobivene mase kako biste odredili koje gorivo stvara manje  $\text{CO}_2$  po jedinici oslobođene energije.

## 12. Zamjena ugljena amonijakom kao nositeljem zelenog vodika

- **Zadatak:** Termoelektrana želi smanjiti emisije su-spaljivanjem zelenog amonijaka ( $\text{NH}_3$ ) umjesto ugljena. Izgaranjem amonijaka nastaju samo dušik i voda ( $\text{N}_2$  i  $\text{H}_2\text{O}$ ). Ako 1000 tona ugljena ispušta 2400 tona  $\text{CO}_2$ , izračunaj postotak smanjenja emisije  $\text{CO}_2$  ako se 30 % mase ugljena zamijeni ekvivalentnom masom zelenog amonijaka.
- **Nacrt rješavanja:**
  1. Izračunajte masu ugljena koja se mijenja: 30 % od 1000 tona = 300 tona.
  2. Budući da se emisija ugljena linearno smanjuje s njegovom masom (pretpostavka konstantnog sastava), izračunajte novu emisiju iz preostalih 700 tona ugljena:  $2400 \text{ tona} \times 0,70 = 1680 \text{ tona } \text{CO}_2$ .
  3. Zeleni amonijak u svom sastavu nema ugljik, pa je njegova emisija  $\text{CO}_2$  jednaka nuli.
  4. Smanjenje emisije izračunava se kao:  $\frac{2400-1680}{2400} \times 100 \%$ , što izravno iznosi 30 %.

## Grupa 4: Energetska učinkovitost i uređaji za pretvorbu

### 13. Usporedba motora s unutarnjim izgaranjem (vodik) i vodikovog gorivnog članka

- **Zadatak:** Kamion za prijevoz tereta treba obaviti rad na kotačima od točno 360 MJ. Ako kamion koristi motor s unutarnjim izgaranjem (SUI) na vodik, učinkovitost sustava iznosi 35 %. Ako koristi vodikov gorivni članak (FC) koji pokreće elektromotor, ukupna učinkovitost tog sustava iznosi 55 %. Izračunaj masu zelenog vodika koju će potrošiti svaki od ova dva kamiona za isti obavljeni rad. (Donja toplinska vrijednost vodika iznosi 120 MJ/kg).

- **Nacrt rješavanja:**

1. Izračunajte ukupnu ulaznu energiju goriva potrebnu za kamion s motorom SUI:

$$E_{\text{SUI}} = \frac{360 \text{ MJ}}{0,35}.$$

2. Izračunajte masu vodika za SUI motor dijeljenjem te energije s ogrjevnom vrijednošću vodika (120 MJ/kg).

3. Izračunajte ukupnu ulaznu energiju goriva potrebnu za kamion s gorivnim člankom:

$$E_{\text{FC}} = \frac{360 \text{ MJ}}{0,55}.$$

4. Izračunajte masu vodika za kamion s gorivnim člankom dijeljenjem dobivene energije sa 120 MJ/kg.

5. Usporedite i prikažite razliku u potrošnji mase goriva.

### 14. Učinkovitost punjenja i pražnjenja (Round-Trip) baterijskog sustava

- **Zadatak:** Veliki baterijski spremnik spojen je na vjetroelektranu. Tijekom noći, vjetroelektrana preda bateriji 10 MWh električne energije, ali zbog učinkovitosti procesa punjenja od 92 %, dio energije se izgubi u obliku topline. Tijekom dana, baterija se prazni i šalje energiju u mrežu uz učinkovitost pražnjenja od 88 %. Izračunaj ukupnu "round-trip" (dvosmjernu) učinkovitost ovog baterijskog sustava te količinu energije, MWh, koja je nepovratno izgubljena u cijelom ciklusu.

- **Nacrt rješavanja:**

1. Izračunajte energiju pohranjenu u bateriji nakon punjenja:  $E_{\text{pohranjeno}} = 10 \text{ MWh} \times 0,92$ .

2. Izračunajte energiju koju baterija stvarno preda u mrežu nakon pražnjenja:  $E_{\text{mreža}} = E_{\text{pohranjeno}} \times 0,88$ .

3. Ukupnu ("round-trip") učinkovitost sustava izračunajte množenjem pojedinačnih učinkovitosti:  $\eta_{\text{ukupno}} = 0,92 \times 0,88 \times 100 \%$ .

4. Izračunajte izgublenu energiju kao razliku između uložene i dobivene energije:

$$E_{\text{izgubljeno}} = 10 \text{ MWh} - E_{\text{mreža}}.$$

## 15. Kogeneracija (CHP) pomoću gorivnog članka na visokoj temperaturi

- **Zadatak:** Stacionarni gorivni članak s čvrstim oksidom (SOFC) radi u sustavu kogeneracije (istodobna proizvodnja struje i topline) i troši 2 kg biometana po satu (donja ogrjevna vrijednost biometana je 50 MJ/kg). Uređaj proizvodi električnu energiju s električnom učinkovitošću od 45 %, dok se 35 % ulazne energije goriva uspješno hvata i koristi kao korisna toplinska energija za grijanje zgrade. Izračunaj snagu električne energije (kW) i snagu toplinske energije (kW) koju ovaj uređaj isporučuje u radu.

- **Nacrt rješavanja:**

1. Izračunajte ukupnu ulaznu snagu goriva u sustav po sekundi (odnosno u vatima/kilovatima):  $P_{\text{ulaz}} = \frac{2 \text{ kg} \times 50 \text{ MJ/kg}}{3600 \text{ s}} = \frac{100 \text{ MJ}}{3600 \text{ s}}$ . Pretvorite megavate u kilovate (  $\text{MJ/s} \rightarrow \text{MW} \rightarrow \text{kW}$  ).
2. Izračunajte korisnu električnu snagu množenjem ulazne snage s električnom učinkovitošću:  $P_{\text{električna}} = P_{\text{ulaz}} \times 0,45$ .
3. Izračunajte korisnu toplinsku snagu množenjem ulazne snage s toplinskom učinkovitošću:  $P_{\text{toplinska}} = P_{\text{ulaz}} \times 0,35$ .
4. (Opcionalno) Zbrojite obje snage kako biste prikazali ukupnu energetska iskoristivost kogeneracijskog sustava ( $\eta_{\text{ukupno}} = 45 \% + 35 \% = 80 \%$ ).

## Rješenja (neprovjerena)

### Grupa 1: Maseni udjeli i mješavine goriva

- **Zadatak 1:** Volumni udio obnovljivog biodizela u mješavini iznosi **6,70 %**.
- **Zadatak 2:** Maseni udio čistog, obnovljivog kisika u gorivu E85 iznosi **29,57 %**.
- **Zadatak 3:** Maseni udio obnovljivog ugljika u ukupnoj plinskoj smjesi iznosi **15,00 %**.
- **Zadatak 4:** Energetski udio bioetanola u benzinu E10 iznosi **6,52 %**.

### Grupa 2: Elektroliza, zeleni vodik i električni naboj

- **Zadatak 5:** Za proizvodnju te količine vodika potrebno je **2378,57 sati** rada elektrolizera.
- **Zadatak 6:** Ukupni električni naboj iznosi  **$4,79 \cdot 10^{11}$  C**, a potrebna jakost struje je **5.539.308,22 A**.
- **Zadatak 7:** Ukupni naboj iznosi  **$1,80 \cdot 10^9$  C**, a radni napon sustava je **5,00 V**.
- **Zadatak 8:** Minimalni kapacitet baterijskog spremnika mora biti **200,00 Ah**.

### Grupa 3: Usporedba emisija CO<sub>2</sub> i energenata

- **Zadatak 9:** Specifične emisije na mjestu izgaranja iznose:
  - (a) Drvna biomasa = **440,00 kg CO<sub>2</sub>/MWh**
  - (b) Loživo ulje = **267,14 kg CO<sub>2</sub>/MWh**
- **Zadatak 10:** Zamjenom metana zelenim vodikom izbjeći će se **5487,53 tona** emisija CO<sub>2</sub>.
- **Zadatak 11:** Za oslobađanje iste količine energije od 100 GJ nastat će:
  - Iz pročišćenog bioplina (metana) = **5487,53 kg CO<sub>2</sub>**
  - Iz fosilnog propana = **6508,43 kg CO<sub>2</sub>**
- **Zadatak 12:** Smanjenje ukupne emisije CO<sub>2</sub> iznosi točno **30,00 %**.

### Grupa 4: Energetska učinkovitost i uređaji za pretvorbu

- **Zadatak 13:** Kamioni će za isti rad potrošiti:
  - Motor s unutarnjim izgaranjem (SUI) = **8,57 kg** zelenog vodika
  - Vodonikov gorivni članak (FC) = **5,45 kg** zelenog vodika
- **Zadatak 14:** Dvosmjerna ("round-trip") učinkovitost baterije je **80,96 %**, a nepovratno je izgubljeno **1,90 MWh** energije.
- **Zadatak 15:** Kogeneracijski uređaj u radu kontinuirano isporučuje:
  - Korisnu električnu snagu = **12,50 kW**
  - Korisnu toplinsku snagu = **9,72 kW**