



# Uvod

---

O predmetu i osnovnim pojmovima

Energijske tehnologije

FER 2008.



# Teme:

1. Organizacija i sadržaj predmeta

## **2. Uvod**

3. O energiji

4. Energetske pretvorbe i procesi u termoelektranama

5. Energetske pretvorbe i procesi u hidroelektranama

6. Energetske pretvorbe i procesi u nuklearnim el.

7. Energija Sunca

8. Energija vjetra

9. Geotermalna energija

10. Biomasa

11. Gorivne ćelije i ostale neposredne pretvorbe

12. **Potrošnja električne energije**

13. **Prijenos i distribucija električne energije**

14. **Skladištenje energije**

15. **Energija, okoliš i održivi razvoj**

# O čemu ćemo govoriti

---

- Nakana predmeta (“inženjerski predmet”), čime ćemo se baviti, kako i zašto
- O važnosti opskrbe (električnom) energijom
- O “proizvodnji” i “potrošnji” (električne) energije
- O elektroenergetskom sustavu i električnoj energiji
- O posebnostima elektroenergetskog sustava
- **O šest „naj” elektroenergetskog sustava**
- O opskrbi energijom

# Nakana premeta

---

Nakana je predmeta predočiti i protumačiti cjelokupnu (neiskrivljenu) sliku o energiji, o “proizvodnji” i opskrbi energijom (o “problemu opskrbe energijom”, mogućnostima i načinima ublažavanja i rješavanja) i o korištenju energijom (uporabi, “potrošnji” energije).

Učinit ćemo to promatrajući i razmatrajući energetske pretvorbe i procese u danas najvećem tehničkom sustavu za opskrbu energijom, točnije električnom energijom, elektroenergetskom sustavu, kao i u uređajima za opskrbu električnom energijom.

Zbog toga bavit ćemo se:

# Čime ćemo se baviti?

---

- pravilnostima koje upravljaju pretvorbama (najrazličitijih) oblika energije u električnu energiju u postrojenjima (elektranama) i uređajima za “proizvodnju” električne energije,
- energetske procesima u elektroenergetskom sustavu: „proizvodnjom“, prijenosom, razdiobom i uporabom (“potrošnjom”) električne energije,
- “problemom opskrbe energijom” i utjecajem elektroenergetskog sustava na okoliš i društvo

# Kako?

---

primjenjujući

- princip očuvanja mase,
- princip očuvanja energije (prvi glavni stavak termodinamike),
- **jednadžbu stanja idealnog plina i**
- princip rasta entropije (drugi glavni stavak termodinamike)

na fluide koji omogućuju **preuzimanje** energije, **pohranjivanje**, **prenošenje**, **pretvorbu** energije u **eksergiju** i **predaju** energije i eksergije korisnicima.

# Zašto?

---

- energija, energetske pretvorbe i procesi materijalna su osnova svake civilizacije
- **dostupni oblici energije određuju stupanj razvoja** te civilizacije
- **tehnoški (i industrijski) razvoj civilizacije** prestaje s iscrpljenjem izvora energije, prestaje s prestankom odvijanja energetskih procesa
- „naša“ civilizacija počiva na električnoj energiji i na njezinoj pretvorbi u **korisne oblike energije** i omogućavanju komuniciranja i “procesiranja znanja”

# Energija, eksergija, anergija

---

- „proizvodnja“ i „potrošnja“ (električne) energije?
- princip očuvanja energije (1. glavni stavak termodinamike)
- „problem opskrbe energijom“
- potrošnja **eksergije**, gubitci eksergije
- proizvodnja eksergije
- **anergija**
- glavni “stavci” termodinamike



# Energetski proces

---

- proces preobrazbe jednih oblika energije u druge

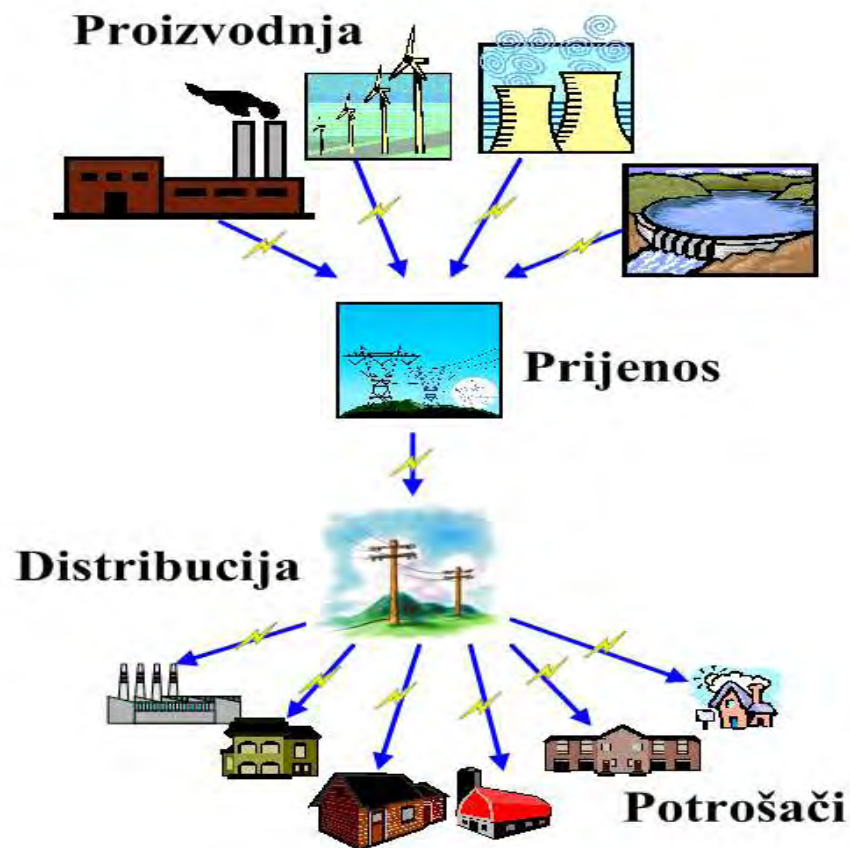
# Elektroenergetski sustav

---

- postrojenja (elektrane) za proizvodnju električne energije (termoelektrane, nuklearne elektrane, hidroelektrane, vjetroelektrane, solarne elektrane),
- rasklopna postrojenja za razvod i transformaciju **električne energije**,
- vodovi za prijenos i vodovi i kabeli za raspodjelu (**razdiobu, distribuciju**) **električne energije**,
- različiti (mnogobrojni) uređaji za vođenje, upravljanje, zaštitu, mjerenje, kontrolu i signalizaciju rada elektroenergetskog sustava, te
- potrošački uređaji, motori i aparati u kojima se električna energija pretvara u korisne oblike energije, oblike neophodno potrebne za održavanje ljudskog života i aktivnosti: (mehanički) rad, toplinsku, kemijsku i rasvjetnu energiju

# Shema elektroenergetskog sustava

---



# O elektroenergetskom sustavu

---

- najveći
- najrasprostranjeniji
- najutjecajniji
- najneophodniji
- najskuplji
- najkompliciraniji sustav za opskrbu energijom

Zašto?

Zbog prirode električne energije: ona je  
**prijelazni oblik energije.**

# O prednostima uporabe električne energije

---

- energija (eksergija) na kućnom pragu
- omogućuje:
  - najjednostavniju, najpouzdaniju, najsigurniju, najbržu, najčistiju, najudobniju i, posljedično, u brojnim slučajevima i najekonomičniju opskrbu energijom (eksergijom)
  - smanjivanje **štetnog** utjecaja energetske pretvorbi na okoliš
  - iskorištavanje **nekonvencionalnih primarnih oblika** energije
  - održivi razvoj

# O prednostima uporabe električne energije

---

- ublažuje problem:
  - iscrpljivanja neobnovljivih prirodnih izvora
  - onečišćenja ciklički iskorištavanih prirodnih izvora

# Primarni oblici energije

---

- nalaze se u prirodi, svrstavaju se prema nositeljima (gorivima) u
  - **konvencionalne** (ustaljene koji se danas obično i najčešće upotrebljavaju)
  - **nekonvencionalne** (neustaljene oblike primarne energije)
- dijele se prema:
  - oblicima energije
  - obnovljivosti nositelja
  - tehničkoj mogućnosti i ekonomskoj opravdanosti iskorištavanja
  - mogućnosti transporta
  - mogućnosti uskladištavanja

# O posebnostima elektroenergetskog sustava

---

1.  $\text{proizvodnja} = \text{potražnji (potrošnji)} + \text{gubici}$   
proizvodnje, prijenosa i razdiobe
2. velika brzina odvijanja prijelaznih procesa u elektroenergetskom sustavu
3. proizvodnju i potrošnju **radne** električne energije izmjenične struje prati proizvodnja i potrošnja **jalove** električne energije i snage kao posebne specifičnosti u odnosu na ostale oblike energije



# O posebnostima elektroenergetskog sustava

---

4. postojanje stalne i velike neravnomjernosti **potražnje električne energije tijekom** godine, mjeseca, tjedna, dana pa i sata
5. stalna i velika neravnomjernost proizvodnje hidroelektrana, vjetroelektrana i solarnih elektrana ovisna o promjenljivosti **dotoka vode, vjetra i Sunčeva zračenja (oblačnosti) tijekom godine, mjeseca, tjedna, dana pa čak i sata**

# O posebnostima elektroenergetskog sustava

---

6. kompliciranost proračuna
7. povezanost s, doslovce, svim granama  
**gospodarstva što znatno otežava izradbu plana**  
razvoja elektroenergetskog sustava

# O šest naj... elektroenergetskog sustava

---

- **najveći:** golema postrojenja (elektrane) za proizvodnju električne energije, zajedno s prijenosnim i razdjelnim dijelom elektroenergetskog sustava zauzimaju velika prostranstva Zemlje

# O šest naj... elektroenergetskog sustava

---



Hidroelektrana „Itaipu“, 14.000 MW

# Hrvatski elektroenergetski sustav

---

- **snaga 3.502 MW:**

- 2.063 MW u hidroelektranama (25 hidroelektrana),
- 1.439 MW u termoelektranama /4 termoelektrana i 3 termoelektrane-toplane/

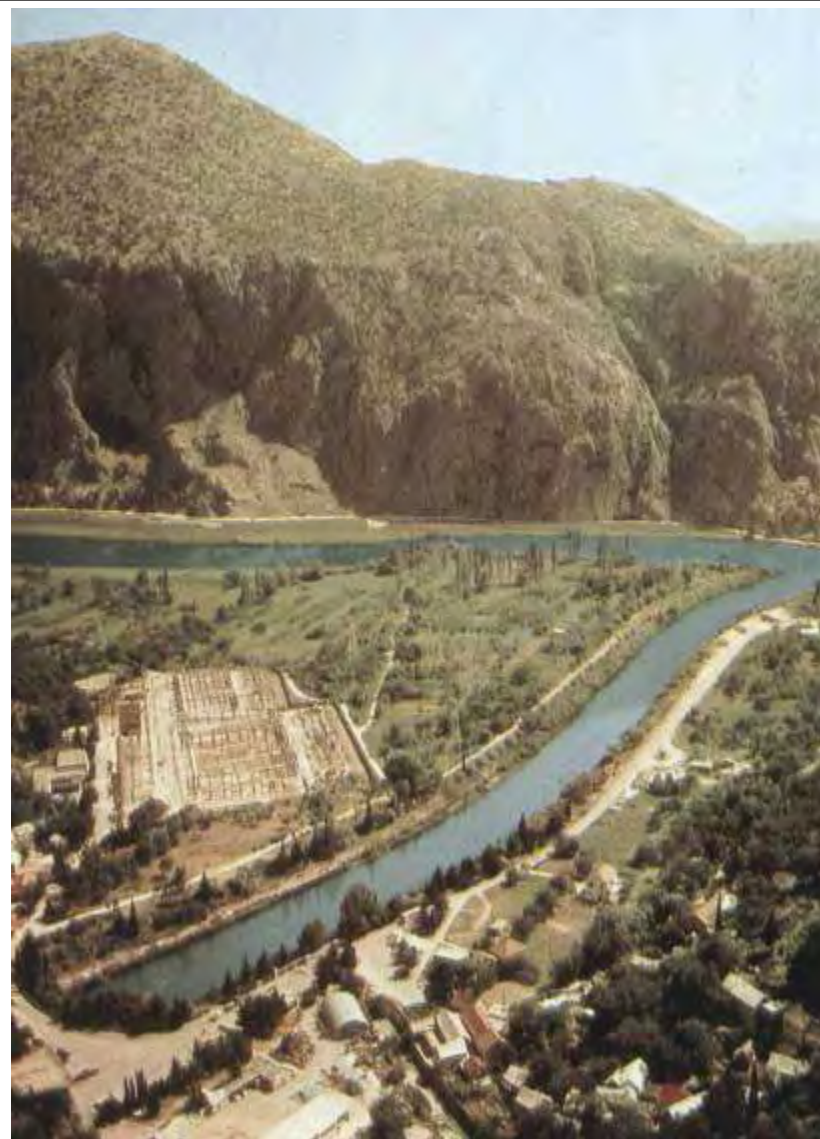
Najveća je hrvatska elektrana hidroelektrana Zakućac", 486 MW, rijeka Cetina, a najveća termoelektrana, termoelektrana „Sisak", 420 MW.

Izvan Hrvatske:

- NE "Krško", 354 MW (708 MW)
- TE „Obrenovac", 300 MW
- TE "Gacko", 100 MW
- TE Kakanj (50 MW)

**Ukupna snaga 4.256 MW.**

The drawing consists of two parts: a plan view and a cross-section. The plan view shows a network of pipes with manholes and a catch basin. The cross-section shows a pipe with a catch basin and a manhole. Dimensions are provided for various components.



22



# O hrvatskom elektroenergetskom sustavu

---



Termoelektrana „Sisak“, 420 MW

# O šest naj... elektroenergetskog sustava



Hidroelektrana "Tri klisure" („Tri kanjona”), 18.200 MW



# O šest naj... elektroenergetskog sustava



Nuklearna elektrana, „Kashiwazaki Kariwa“, 8.212 MW

# O šest naj... elektroenergetskog sustava

---



Termoelektrana "Kendal", 4.116 MW

# O šest naj... elektroenergetskog sustava

---

- najveće postrojenje za direktnu pretvorbu Sunčeve energije u električnu energiju (solarna fotonaponska elektrana) trenutačno, snage 12 MW, izgrađeno je u Njemačkoj. Do kraja 2009. godine međutim u Njemačkoj će biti izgrađeno još veće takvo postrojenje, snage 40 MW, a Australija planira izgraditi solarnu fotonaponsku elektranu snage 154 MW.
- **najveće** postrojenje za indirektnu pretvorbu **Sunčeve** energije u **električnu** energiju **sadrži** (dosad) devet solarnih termoelektrana ukupne snage 354 MW i nalazi se u kalifornijskoj pustinji Mojave
- **najveća** vjetroelektrana danas snage je 6 MW, no **većina izgrađenih** vjetroelektrana u posljednjih nekoliko godina snage je **između** 1,5 i 2 MW



# O šest naj... elektroenergetskog sustava

---



Solarna  
termoelektrana



Pet od devet solarnih termoelektrana u pustinji Mojave

# O šest naj... elektroenergetskog sustava

---



Vjetroelektrane snage 2 MW

# O šest naj... elektroenergetskog sustava

---

- **najrasprostranjeniji:** povezuje države i kontinente
- **najutjecajniji:** neželjeni utjecaji na ljude i okoliš („efekt staklenika“, „kisele kiše“, toplinsko i radioaktivno opterećenje okoliša)
  - **TE 1.000 MW:** 8.000 tona ugljena dnevno, 19.000 tona CO<sub>2</sub>, 350 tona SO<sub>2</sub>, 55 tona NO<sub>2</sub>, 2.000 tona (krutog, radioaktivnog i toksičnog) pepela

# O šest naj... elektroenergetskog sustava

---

- **najneophodniji:**
  - ovisnost o električnoj energiji
  - posljedice neopskrbljenosti električnom energijom
  - korelacija između potrošnje električne energije
  - i ukupne proizvodnje i bogatstva zemlje
- **najkompliciraniji**
- **najskuplji**

# Opskrba energijom: kako je počelo, a kako je danas?

---

- 8 MJ po ljudskom biću u danu (homo sapiens)
- danas čovjek troši, hraneći se, u prosjeku (svjetski prosjek), usprkos zaprepašćujućim brojevima gladnih i umiranja od gladi svakodnevno, oko 8,4 MJ, a stanovnik "zapada" (razvijenije zemlje) oko 12,6 MJ energije
- **ukupna je potrošnja energije međutim po stanovniku planeta 175 MJ po danu, dok stanovnik SAD-a troši 950 MJ dnevno**



# Opskrba energijom: kako je počelo, a kako je danas?

---

## 175 MJ po stanovniku planeta dnevno?

- “električari” vole iskazivati energiju u Wh ili kWh, MWh, GWh ili TWh ( $1\text{W} = 1\text{J/s}$ ;  $1\text{Wh} = 1\text{J/s} \cdot 3600\text{s} = 3600\text{ J}$ ;  $1\text{kWh} = 3,6\text{ MJ}$ )
- što znači raspolagati s (električnom) energijom (eksergijom) iznosa 1kWh?
- s tom se eksergijom podiže 50 kg (vreća cementa) 7,3 km u vis. (Koliko bi energije (hrane i pića) i vremena trebalo čovjeku da takvu vreću odnese na planinu visoku 7,3 km?)

# Opskrba energijom: kako je počelo, a kako je danas?

---

- ljudsko biće treba 3500 Wh (12,6 MJ) energije u hrani da bi sa snagom od 60 W moglo raditi 5,5 sati dnevno (Više ne može, iscrpljivalo bi se preko mjere.)
- energetska je stupanj djelovanja pritom oko 10%
- kada bismo 175 MJ eksergije po danu osiguravali ljudskim radom za svakog bi stanovnika Zemlje trebali raditi 147 robova

# Opskrba energijom: kako je počelo, a kako je danas?

---

- otkrićem električne energije po prvi je puta u povijesti čovječanstva omogućeno ljudskom biću da na krajnje jednostavan način raspolaže s golemim količinama energije (eksergije) što je i, posljedično, izazvalo veliko povećanje potrošnje energije (eksergije) (Primjer: glačalo.)
- pritom se radi (približno) o ovim odnosima energije, oslobođene izgaranjem (ili fisijom) 1 kg goriva, odnosno energije sadržane u 1 kg vode ili zraka, te transformirane u postrojenjima za proizvodnju električne energije:

# Opskrba energijom: kako je počelo, a kako je danas?

---

- 1 kg drva omogućuje proizvodnju približno 1 kWh električne energije
- 1 kg ugljena 3 kWh električne energije
- 1 kg nafte 4 kWh električne energije; (približno i 1 kg plina)
- 1 kg prirodnog uranija 50.000 kWh električne energije
- 1 kg plutonija 6.000.000 kWh električne energije, dok se
- iz potencijalne energije 1 kg vode, smještene na visini  $h$  m iznad hidroelektrane, odnosno kinetičke energije 1 kg zraka, brzine  $c$  m/s, dobiva, u idealnom slučaju,  $2,778 \cdot 10^{-7} \cdot g \cdot h$  kWh odnosno  $2,778 \cdot 10^{-7} \cdot c^2 / 2$  kWh

# Opskrba energijom: kako je počelo, a kako je danas?

---

- **očito**, mala je **gustoća** energije pohranjena u vodi i zraku, pa su zbog toga potrebne goleme **količine** vode i dubine akumulacijskih jezera ili velike visine s kojih pada voda, odnosno goleme **količine** i velike brzine zraka (vjetra)

(Velike su brzine vjetra **međutim** neiskoristive zbog prevelikih snaga koje ne mogu **izdržati** vjetroelektrane; snaga vjetra raste s **trećom** potencijom brzine.)

- pritom se, dakako, u elektranama ne **može** iskoristiti sva energija vode ili zraka jer i voda i zrak moraju dalje strujati (odnositi **neiskorištenu**, netransformiranu energiju) da bi **načinili** mjesta **količinama** koje dolaze: radi se, naime, o strujanju fluida

# Energetski (termički) stupanj djelovanja vola

---

**Dobro hranjeni vol radi sa snagom jednakom 200 W. Radi li dnevno 5 sati, a hranom unaša 11.250 kcal, koliki je koeficijent iskorištenja vola?**

**(Napomena: inženjeri koeficijent iskorištenja nazivaju termičkim (energetskim) stupnjem djelovanja,  $\eta_t$ .)**

Rj.

$$\eta_t = \frac{w[J]}{q_{dov}[J]} = \frac{200W \cdot 5h \cdot \frac{3.600s}{1h}}{11.250kcal \cdot \frac{4.186,8J}{1kcal}} =$$
$$= 7,64 \cdot 10^{-2} \Rightarrow 7,64\%.$$

# Energetski (termički) stupanj djelovanja čovjeka

---

Dnevni je unos energije hranom prosječne osobe u razvijenim zemljama jednak 3,5 kWh (12,6 MJ; 3009,5 kcal). Bazalni je metabolizam (energija nužna za puko preživljavanje) jednak 70 W. Da bi ljudsko biće moglo raditi, snaga unesena hranom (uključene su potrebe za bazalni metabolizam) mora biti 400 W.

- a) procijenite maksimalno trajanje fizičkog rada u jednom danu
- b) ukoliko je rezultat fizičkog rada u 1 satu 60 Wh, koliki je maksimalni dnevni rad što ga obavi prosječna osoba?
- c) odredite odnos dnevnog rada i energije unesene hranom za prosječnu osobu ( $\eta_t$ )

# Energetski (termički) stupanj djelovanja čovjeka

---

a)  $3.500 - 70 \cdot (24 - x) - 400x = 0 \Rightarrow x = 5,515h$

(manje: pretpostavljeno je da osoba ako ne radi samo leži ne baveći se bilo kakvom aktivnošću)

b)  $0,06 \text{ kWh/h} \cdot 5,52 \text{ h} = 0,33 \text{ kWh}$

c)  $\eta_t = \frac{0,33 \text{ kWh}}{3,5 \text{ kWh}} = 0,0943 \Rightarrow 9,43\%$



# Žarulja i potrošnja ugljena

---

**Odredite količinu ugljena, ogrjevnice moći 6.150 kWh/t, što će izgorjeti u termoelektrani, potrebnu da žarulja snage 100 W svijetli 24 sata dnevno, cijele godine, ako se u termoelektrani 40% energije ugljena pretvara u električnu energiju.**

Potrošnja je električne energije žarulje u godini dana:

$$\mathbf{0,1\ kW \cdot 24 \cdot 365 = 876\ kWh.}$$

Proizvodnja je električne energije pretvorbom iz kemijske energije, akumulirane u ugljenu, izgori li tona ugljena:

$$\mathbf{0,4 \cdot 6.150\ kWh/t = 2.460\ kWh/t.}$$

# Žarulja i potrošnja ugljena

---

Dakle je količina ugljena, koji mora izgorjeti da bi žarulja svijetlila godinu dana (8.760 sati), jednaka:

$$\frac{8760 \text{ kWh}}{2.460 \frac{\text{kWh}}{t}} = 0,356t = 356 \text{ kg}.$$

# Ukratko

---

Predstavili smo sadržaj premeta i razloge bavljenja njime: govorili smo o problemu opskrbe energijom i o opskrbi energijom, o primarnim oblicima **energije, o važnosti i prirodi (električne) energije** (eksergije i anergije) i elektroenergetskog sustava, **o posebnostima i o šest “naj” elektroenergetskog** sustava, te i o utjecaju elektroenergetskog sustava **na okoliš.**