

# O energiji

---

## **Energija, pojmovi i odnosi koji je određuju**

Energijske tehnologije  
FER 2008.



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

---

- “Definicija” i razvrstavanja oblika energije
- O unutrašnjoj energiji (gravitacijskoj i električnoj potencijalnoj, nuklearnoj, kemijskoj, kinetičkoj, unutrašnjoj kaloričkoj i mehaničkoj energiji, energiji mirovanja i prijelaznim oblicima energije (mehaničkom radu, toplinskoj i električnoj energiji i radu trenja)
- O opskrbi Zemlje energijom
- Definicija mehaničkog rada, o osnovnim pojmovima, drugoj podjeli oblika energije (energija, eksergija i anergija) i definicijama 1. i 2. gl. stavka termod.
- Povratljivi (“idealni”) i nepovratljivi (realni) procesi, o entropiji
- Primjeri

# Što je energija?

---

- ne postoji jednostavna, općeprihvaćena definicija energije. Zašto?
- energija je sposobnost obavljanja (mehaničkog) rada (jedan od osnovnih oblik materije; svojstvo materije da može biti transformirana u rad i/ili toplinu; sposobnost izazivanja promjene; "ono" što mijenja stanje zatvorenog sustava kada prelazi njegove granice, ...)
- što je mehanički rad?
- što je sila?
- stacionarni (stalni) oblici energije
- prijelazni oblici energije

# Temeljne sile

---

- gravitacijska ( $10^0$ ), beskonačnog dosega, jakost opada s kvadratom udaljenosti
- elektromagnetska ( $10^{36}$ ), beskonačnog dosega, jakost opada s kvadratom udaljenosti
- jaka nuklearna ( $10^{38}$ ), dosega 1 **fermi** ( $10^{-13}$  cm), jakost opada mnogo brže nego li s kvadratom udaljenosti, i
- slaba nuklearna sila ( $10^{25}$ ), dosega mnogo manjeg od jednog fermija

# Unutrašnja energija

---

- zbog postojanja četiriju sila, postoji šest stalnih oblika, stacionarnih oblika energije koji se mogu akumulirati (uskladištiti, sakupiti, nagomilati, pohraniti) u tvari i sačuvati svoj oblik kroz određeno dulje vrijeme
- te ćemo oblike energije kratko nazivati **unutrašnjom energijom**

# Oblici unutrašnje energije

---

- gravitacijska potencijalna energija
- električna (elektromagnetska) potencijalna energija
- nuklearna energija (fuzije i fisije)
- kinetička energija (zbog djelovanja jedne ili više sila)
- energija mirovanja ( $E=mc_{sv}^2$ ) koju tijelo (sustav) posjeduje jer posjeduje masu
- unutrašnja kalorička energija

# Gravitacijska potencijalna energija

---

- postoji jer postoji sila privlačenja između dva tijela (sustava) zbog njihovih masa



# Električna potencijalna energija

---

- naziv je nastao kao rezultat gledanja na svaki izvor struje kao na nabijeni kondenzator
- ako je u kondenzatoru pohranjen naboj  $Q$  pri naponu  $U$ , električna je potencijalna energija jednaka produktu  $QU$  [J]
- baterija se može promatrati na potpuno isti način, samo što je naboj  $Q$  u njoj posljedica kemijskih reakcija
- isto vrijedi i za električnu mrežu elektroenergetskog sustava u kojoj naboj  $Q$  potječe od elektromagnetskog međudjelovanja u proizvodnom dijelu elektroenergetskog sustava (u sinkronim generatorima elektrana)

# Nuklearna energija fisije

---

- o tom obliku energije govorit će se u temi “Energetske pretvorbe i procesi u nuklearnim elektranama”

# Unutrašnja kalorička energija

---

- energija akumulirana na razini molekula ili atoma (radi li se o sustavu izgrađenom od atoma)
- jednaka je sumi kinetičke energije molekula (energiji translacije, rotacije i vibracije) i potencijalne energije pridružene vibracijama molekula (privlačenje i odbijanje molekula)
- prosječna (translatorska) brzina molekula (kinetička energija molekula) proporcionalna je temperaturi tijela

# Kinetička i energija mirovanja

---

- svi ostali oblici ili su oblik unutrašnje energije (kemijska, mehanička energija primjerice) ili su prijelazni oblik energije

# Prijelazni oblici energije

---

- mehanički rad ili kraće rad
- toplinska energija
- električna energija
- rad trenja

# Mehanički rad

---

- prijelazni oblik energije koji se javlja samo u trenucima kada mehanička energija i/ili unutrašnja kalorička energija, posredovanjem sile, mijenjajući oblik, prelaze sa sustava na sustav, a po iznosu je jednak umnošku komponente sile u smjeru puta i prevaljenog puta

# Toplinska energija

---

- postoji samo u trenucima kada se jedan ili više stalnih ili prijelaznih oblika energije pretvaraju u unutrašnju kaloričku energiju a ova, zbog time izazvanih razlika u temperaturi, u toplinsku energiju koja prelazi sa sustava više na sustav niže temperature do trenutka izjednačavanja temperatura
- toplinska energija, kada prijeđe na sustav niže temperature, pretvara se ponovno u unutrašnju kaloričku energiju tog sustava povisujući mu temperaturu
- nužan i dostatan uvjet za pretvorbu unutrašnje kaloričke energije u toplinsku, i zatim prijelaz toplinske energije između sustava, razlika je u temperaturi između sustava

# Električna energija

---

- tranzijent u procesu pretvaranja električne potencijalne energije u neki drugi oblik: mehanički rad, potencijalnu, kinetičku, rasvjetnu, unutrašnju kaloričku energiju, ...



# Rad trenja

---

- rad trenja: mehanički rad kojim se svladavaju sile trenja (sile što tangencijalno djeluju na granicu tijela) i/ili otpora (naprezanja) pretvoren u unutrašnju kaloričku energiju)

# Mehanička energija

---

- mehanička energija nije mehanički rad
- mehanička energija je stacionarni oblik energije: zajednički naziv za sumu oblika energije koji se pohranjuju u tijelu (sustavu) kao cjelini: kinetičke, gravitacijske potencijalne, elastične potencijalne i rotacijske energije sustava (tijela)

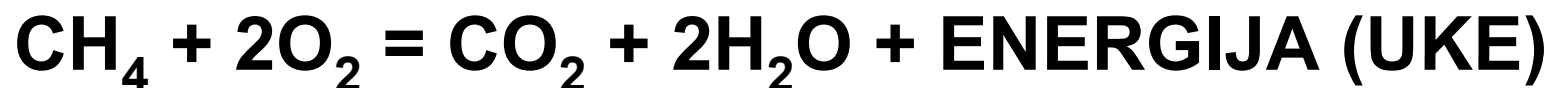
# Kemijska energija

---

- oblik unutrašnje energije akumuliran u tvari na razini atoma: električna potencijalna energija akumulirana u rasporedu atoma u molekuli, koja se, u svakidašnjem životu, naziva kemijskom energijom

# Kemijska energija – proces izgaranja

---



- višak se električne potencijalne energije „oslobađa“ u obliku unutrašnje kaloričke energije pohranjene u skupinama molekula produkata izgaranja koje su na visokoj temperaturi i velikih brzina i zato velikog iznosa unutrašnje kaloričke energije
- produkti su izgaranja u plinovitom agregatnom stanju

# “Nekorisni” oblici energije

---

- od stalnih, stacionarnih oblika energije "nema nikakve koristi"
- tek kad se ti oblici energije pretvaraju u prijelazne oblike koji počinju strujati između tijela (sustava, prostora) oni omogućuju uporabu, korištenje energije za potrebe stvaranja i održavanja života i razuma
- energija struji pritom uvijek iz prostora veće gustoće energije u prostor manje gustoće
- taj je proces spontani, samonikli, samopoticajni i samoodržavajući: odvija se dok se ne izjednače početno nejednolike raspodjele gustoće energije

# O opskrbi Zemlje energijom

---

- otkud energija na Zemlji?
  - Sunčevo zračenje (opći naziv za energiju koju Sunce emitira u svemir), akumulira se pomoću fotosinteze
  - geotermalno djelovanje („vlastita“ energija)
  - plima i oseka
  - ljudsko djelovanje (zanemarivo)
- 2.+3. < 0,04 % Sunčeve energije
- ključna uloga kemijske energije

# Fotosinteza

---

- fotosintezom se dio dozračene Sunčeve energije pretvara u kemijsku energiju pohranjenu u stvorenim organskim molekulama



- tijekom fotosinteze biljka kroz korijen uzima hranjive tvari
- u suprotnom procesu, procesu oksidacije, izgaranja, oslobađa se energija uz istodobno stvaranje  $\text{CO}_2$ :



# “Minuli” rad fotosinteze

---

- na fotosintezi se, njenom minulom radu točnije, temelji naša (Zemljina) opskrba energijom: fotosinteza omogućuje proizvodnju hrane i goriva
- proces je započeo prije oko tri milijarde godina na našem planetu omogućujući stvaranje kisika u atmosferi i fosilnih goriva koja se nalaze u tlu
- u njima je, pomoću fotosinteze, pohranjena energija Sunčevog zračenja (prijelazni oblik energije) transformirana u kemijsku energiju
- tako akumulirana kemijska energija, tijekom milijuna godina, kroz hranidbeni lanac i djelovanje tlaka i temperature, zapravo su današnji primarni energetske izvori u obliku ugljena, sirove nafte i prirodnog plina



# Učinak fotosinteze

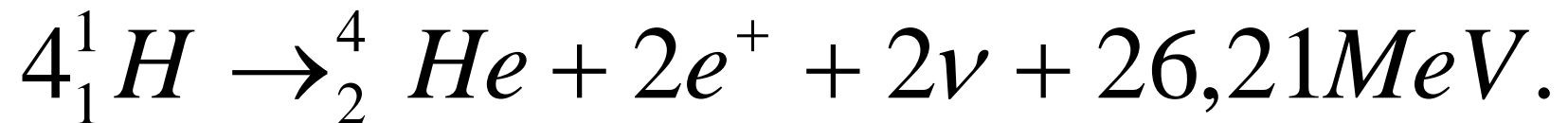
---

- vrlo se mali dio dozračene Sunčeve energije akumulira posredstvom fotosinteze: tek 0,023% (Prema nekim analizama, 0,1%.)
- nadalje, od energije preuzete djelovanjem fotosinteze, samo 45% ostaje u biljkama u obliku materije, a ostatak od 55% vraća se tzv. disanjem u atmosferu
- netoprirast nastao djelovanjem fotosinteze na Zemlji godišnje iznosi  $164 \cdot 10^9$  tona, od čega se 2/3 takve materije proizvodi na kontinentima, a 1/3 u oceanima

# Sunčevu zračenje

---

- Sunčevu zračenje opću je naziv za energiju koju Sunce emitira u svemir
- izvor je te energije **termonuklearna fuzija** na Suncu:



# Termonuklearna fuzija na Suncu

---

- 4 atoma vodika spaja se u helij i pritom se oslobađaju goleme količine energije: 0,75% mase pretvara se u energiju (0,7% prema nekim autorima), dok se u današnjem najboljem, ljudima poznatom procesu, procesu fisije, 0,1 % mase pretvara u energiju
- nastaje jezgra helija, 2 pozitrona i 2 neutrina , i energija koja iznosi 26,21 MeV

# Termonuklearna fuzija na Suncu

---

- 4,2 i nešto milijuna tona u sekundi gubitak je mase Sunca (pretvorba mase u energiju)

(No, zasad, to nas ne brine: Sunce će potrajati još kojih 5 milijardi godina prije nego li se pretvori u „crvenog diva“.)

- samo milijarditi dio emitirane energije Sunca dopire do Zemlje

# Elektromagnetsko zračenje

---

- energija je, koja se formira i pohranjuje u unutrašnjosti Sunca, unutrašnja kalorička energija, transformirana energija fuzije
- pretvara se u toplinsku energiju i prenosi prema površini Sunca s koje se emitira u obliku elektromagnetskog zračenja

## O drugoj podjeli oblika energije

---

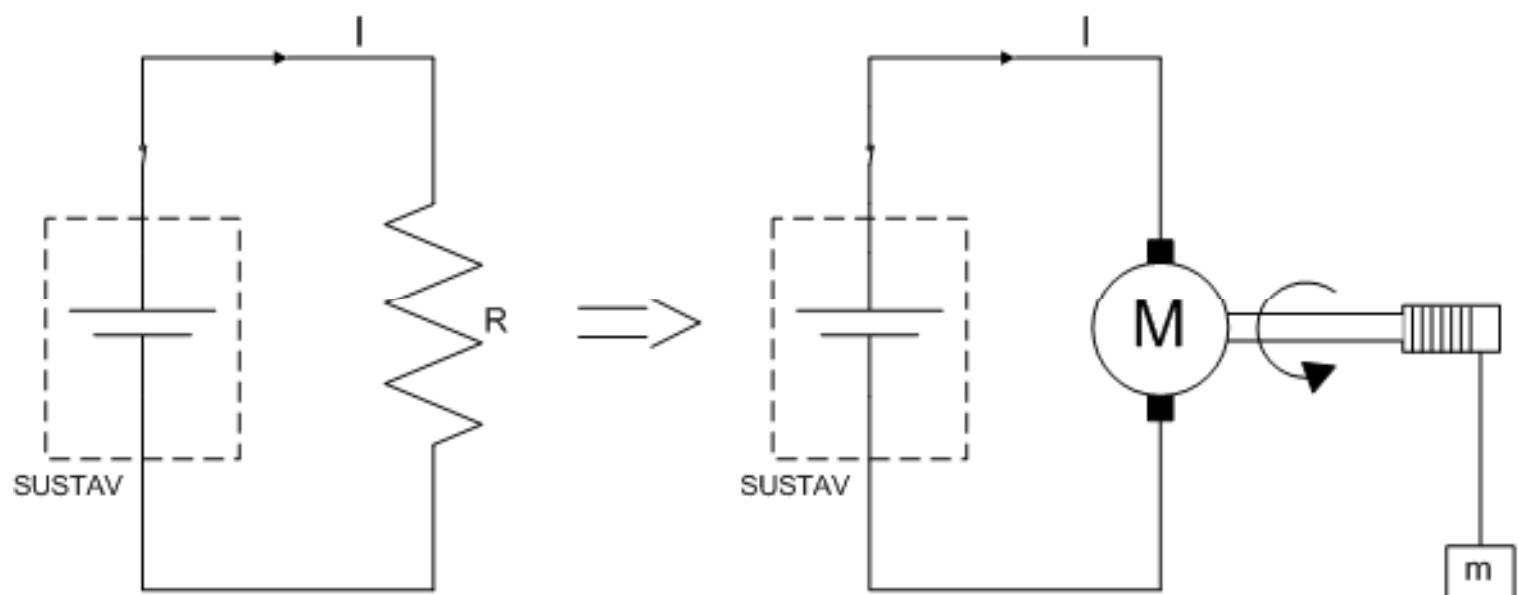
**Prilagođujemo definiciju mehaničkog rada:**

- **„neki je sustav obavio pozitivni rad, za vrijeme nekog procesa, ako se jedino vanjsko djelovanje tog sustava može svesti na podizanje tereta“.**

**Zašto prilagodba?**

# Pretvorba električne energije u mehanički rad

---



# O osnovnim pojmovima

---

- sustav
- okolica i granica sustava
- svojstva i stanje sustava
- veličine (funkcije) stanja sustava
- međudjelovanje (komuniciranje) sustava s okolicom
- vrste sustava (zatvoreni, otvoreni, adijabatski, izolirani)
- proces
- jedino vanjsko djelovanje
- teret



# Pozitivni rad

---

$$W_{12} = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} \cdot \vec{c} dt =$$

$$= \int_{t_1}^{t_2} \left\langle F_x [x(t), y(t), z(t)] x'(t) + F_y [x(t), y(t), z(t)] y'(t) + F_z [x(t), y(t), z(t)] z'(t) \right\rangle dt [J]$$

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = F \cdot ds \cdot \cos \varphi = F \cdot c \cdot dt \cdot \cos \varphi \quad [J]$$

# Pozitivni i negativni rad

---

$$W_{12} = -\int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{s} = -\int_{t_1}^{t_2} \vec{F} \cdot \vec{c} dt \quad [J]$$

odnosno,

$$\begin{aligned} dW &= -\vec{F} \cdot d\vec{s} = -F \cdot ds \cdot \cos \phi = \\ &= -F \cdot c \cdot dt \cdot \cos \phi \quad [J] \end{aligned}$$

Ta je promjena pitanje dogovora – nije vezana uz fizikalnost mehaničkog rada.

Zašto stavljamo predznak minus?

...

# Energija je sposobnost obavljanja rada

---

- što znači „**energija je sposobnost obavljanja rada**“?
- to drugim riječima znači da se energija pretvara u rad, odnosno, da se rad obavlja na račun energije, odnosno, da bi se moglo raditi, treba raspolagati s energijom  
(Govori se: "on je pun energije", a ne: "on je pun rada", za nekoga tko može puno raditi.)
- u kojim količinama?  
U količinama većim, odnosno, u graničnom slučaju, jednakim količini obavljenog rada.  
O čemu to ovisi?

# Pretvorba mehaničkog rada u energiju

---

- mehanički se rad uvijek i u potpunosti može pretvoriti u energiju
- međutim, neki se oblici energije ne mogu uvijek i u potpunosti pretvoriti u mehanički rad
- prema 2. glavnom stavku termodinamike postoje tri oblika (vrste) energije s obzirom na mogućnost pretvorbe u mehanički rad:

# Eksergija, energija i anergija

---

- eksergija
- energija
- anergija

Koji su oblici energije eksergija, energija odnosno anergija?

## Formulacije 1. i 2. gl. stavka termodinamike

---

Prvi glavni stavak termodinamike:

- u svim procesima ostaje zbroj eksergije i anergije sačuvan i jednak energiji:

$$\text{Eksergija} + \text{Anergija} = \text{konstanta} = \text{Energija}$$

Drugi glavni stavak termodinamike:

- svaka se energija sastoji od eksergije i anergije od kojih jedna može imati vrijednost nula:

$$\text{Energija} = \text{Eksergija} + \text{Anergija}$$

# Formulacije prvih dvaju stavaka termodinamike

---

Zašto prihvaćamo takve formulacije prvih dvaju stavaka termodinamike?

- problem opskrbe energijom
- zašto se energija ne može stalno u potpunosti pretvarati u mehanički rad (eksergiju)
- o čemu ovise, koliki su gubitci eksergije
- koliki je maksimalni mehanički rad što ga možemo dobiti iz eksergije neke energije i kako

# Opskrba eksergijom

---

- opskrba energijom svodi se na opskrbu eksergijom
- za život je potrebna energija, ali ne bilo kakva energija, već eksergija: takva energija koja se, jednostavnim procesima, može pretvarati u mehanički rad i druge korisne oblike energije
- zadatak je, dakle, proizvoditi eksergiju: većina se energetske procesa stoga, kojima se osigurava opskrba eksergijom, svodi na odvajanje eksergije od anergije u energiji



# Opskrba eksergijom – realni procesi

---

- eksergija se iskorištava u najrazličitijim procesima, a anergija odvodi u okolicu: nema gdje drugdje
- potrošači, međutim, služeći se eksergijom, troše eksergiju jer se za vrijeme iskorištavanja eksergije, ne radi li se o „idealnim“ već o realnim procesima, eksergija pretvara u anergiju i postaje nepovratno izgubljena
- samo u "idealnim procesima" eksergija se ne pretvara u anergiju, njena količina ostaje konstantna

# Opskrba eksergijom – “idealni procesi”

---

Što su „idealni procesi“?

Što je idealno, tko je idealan?

Ono, onaj što se, koji se ponaša prema našim očekivanjima.

Međutim, naša su očekivanja različita. Ne mogu se kvantitativno uspoređivati ni mjeriti.

Zbog toga moramo “idealne procese” opisati nekako drukčije kako bismo ih mogli kvantificirati.

# „Idealni“ i „neidealni“ procesi

---

- „idealni“ su procesi povratljivi (reverzibilni)
- „neidealni“ procesi su nepovratljivi (ireverzibilni): to su realni procesi, procesi koji se stvarno odvijaju u svijetu koji obitavamo
  - u svim se nepovratljivim procesima pretvara eksergija u anergiju
  - samo u povratljivim procesima ostaje eksergija konstantna
  - nemoguće je anergiju pretvoriti u eksergiju: proces u kojem bi se anergija pretvarala u eksergiju je nemoguć

# Realni energetska procesi

---

- realni su energetska procesi nepovratljivi
- transformacije oblika energije uzrokuju smanjivanja zaliha eksergije
- u svim procesima ostaje (1. gl. stavak termodinamike) energija konstantna, ali ona gubi mogućnost transformacije to više što je više eksergije pretvoreno u anergiju

# Problem opskrbe energijom

---

- pretvorbe energije (realni, nepovratljivi procesi) uzrokuju gubitak eksergije koji treba nadoknađivati
- povećanje broja stanovnika Zemlje i povećanje standarda zahtijeva proizvodnju novih količina eksergije

# Povratljivi i nepovratljivi procesi

---

- koji su procesi povratljivi odnosno u kojem bi slučaju bili povratljivi?
  - kvalitativni i kvantitativni odgovori
  - kvalitativni:

povratljivi je proces onaj koji se može odvijati kako u jednom tako i u drugom, povratnom, obratnom, suprotnom smjeru, vraćajući se u početno stanje prolazeći kroz ista stanja u obratnom smjeru, a da nigdje u procesu ili okolini ne zaostanu neke trajne, vidljive (zabilježive) promjene (Njihalo.)

# Povratljivi i nepovratljivi procesi

---

- kvantitativne odgovore na pitanja omogućuje razmatranje promjena fizikalne veličine nazvane entropija
- entropija je jednaka omjeru ukupne količine toplinske energije koja se izmjenjuje između sustava i okoline i temperature pri kojoj se to događa.
- pritom vrijedi za adijabatski sustav (AS grade sustav, odnosno sustavi u kojima se odvijaju energetske procesi i okolica)

# Promjena entropije, povratljivost i nepovratljivost

---

- ostaje li entropija AS konstantna ( $ds_{AS} = 0$ ), za vrijeme energetskih procesa, u adijabatskom se sustavu odvijaju povratljivi procesi: sva eksergija ostaje sačuvana, ništa se eksergije ne pretvara u anergiju
- raste li entropija AS ( $ds_{AS} > 0$ ), radi se o nepovratljivim procesima. Što je veći porast entropije, to je promatrani proces lošiji, dalje od povratljivog: više se eksergije pretvara u anergiju
- smanjuje li se entropija AS ( $ds_{AS} < 0$ ), radi se o nemogućim procesima: pokušajima pretvaranja anergije u eksergiju (perpetuum mobile druge vrste)



## Promjena entropije adijabatskog sustava

---

- zašto promatramo zbivanja u adijabatskom sustavu?
- adijabatski sustav zadovoljava postavljene odnose s obzirom na to da je entropija, točnije, promjena entropije definirana ovom diferencijalnom jednažbom:

$$ds = dq/T + d[\text{anergija nastala u nepovratljivim procesima}]/T \text{ [J/kgK]}$$

npr, ako se radi o trenju (proces kojim se proizvodi entropija):

$$ds = \frac{dq}{T} + \frac{|dw_{\text{trenja}}|}{T} \text{ [J / kgK]}$$

# Strujanje entropije i proizvodnja entropije

---

Promjena se entropije dijeli na:

- strujanje entropije ( $dq/T$ ) i
- na proizvodnju entropije  
(npr,  $|dw_{\text{trenja}}|/T$ )

■ zašto  $|dw_{\text{trenja}}|$  a ne  $dw_{\text{trenja}}$  ?

## Kada će promjena entropije AS biti jednaka nuli?

---

- budući da je  $dq/T$  jednako nula, to  $ds_{AS}$  može biti jednaka nuli samo ako se unutar adijabatskog sustava ne odvijaju nepovratljivi procesi, tj. procesi koji uzrokuju proizvodnju (porast) entropije, poput prijelaza toplinske energije preko konačnih razlika temperature, ekspanzije plina bez obavljanja mehaničkog rada, pojavljivanja trenja, električnog otpora, neelastičnih deformacija, prigušivanja itd., odnosno samo ako se unutar adijabatskog sustava odvijaju povratljivi procesi izjednačavanja početno nejednolike raspodjele gustoće energije (npr., prijelaz toplinske energije na povratljivi način)

## Koliki se dio eksergije pretvara u anergiju?

---

$$d(\text{gubitak eksergije}) = T_{\text{ok}} ds_{\text{AS}}$$

$$ds_{\text{AS}} = ds_{\text{ok}} + ds_{\text{s}}$$

Tu ćemo jednadžbu riješiti kasnije, kao i odgovoriti na pitanje koliko maksimalno mehaničkog rada možemo dobiti iz nekog oblika energije, a sada ćemo najprije promatrati i opisivati energetske pretvorbe i procese u termoelektranama.

## „Prirodni“ efekt staklenika

---

**Zahvaljujući prirodnom (bez djelovanja čovjeka) efektu staklenika srednja je temperatura na Zemlji 15 °C. Kolika bi bila temperatura na Zemlji bez tog efekta?**

Rj.

U svijetu kojem živimo neprestano se odvija samo jedan te isti proces - strujanjem energije izjednačuje se početno nejednolika raspodjela gustoće energije: energija struji sa sustava (iz prostora) veće gustoće na sustav (u prostor) manje gustoće. Tako se energija Sunčeva zračenja pristigla na Zemlju stalno isijava u Svemir. Pritom vrijedi bilanca energije (princip očuvanja energije): količina dozračene energije jednaka je količini izračene energije u nekom vremenskom razdoblju.

# „Prirodni“ efekt staklenika

---

Približan proračun daje ovakav rezultat.

Budući da je vrijednost solarne konstante  $1,36 \text{ [kW/m}^2\text{]}$ , da Zemlju, s obzirom na dozračenu Sunčevu energiju, možemo smatrati ravnim diskom površine  $r_{Zemlje}^2 \Pi \text{ [m}^2\text{]}$ , da se 30% dozračene energije sa Sunca na vanjskom obodu atmosfere odmah reflektira u Svemir, te da Zemlja zrači prema Stefan-Boltzmannovom zakonu, to vrijedi:

# „Prirodni“ efekt staklenika

---

$$P_{apsorbirana} = P_{izracena}$$

$$P_{apsorbirana} = (1 - 0,3) \cdot 1,36 \left[ kW / m^2 \right] \cdot r_{Zemlje}^2 \left[ m^2 \right] \cdot \Pi$$

$$P_{izracena} = 5,67 \cdot 10^{-8} \left[ W / m^2 K^4 \right] \cdot T^4 \left[ K^4 \right] \cdot 4r_{Zemlje}^2 \left[ m^2 \right] \cdot \Pi$$

$$T^4 = \frac{0,7 \cdot 1,36 \left[ kW / m^2 \right]}{4 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \left[ W / m^2 K^4 \right]} = 4,17 \cdot 10^9 \left[ K^4 \right]$$

$$T = 254K \approx -19^{\circ}C$$

## Prividna snaga generatora termoelektrane

---

20.000 tona ugljena, ogrjevne moći 8,37MJ/kg, priprema se dnevno za pogon termoelektrane.

Odredite:

- a) moguću godišnju proizvodnju električne energije (u kWh) na stezaljkama generatora ako je stupanj djelovanja termoelektrane na stezaljkama generatora 36%, i
- b) instaliranu snagu generatora u MVA, faktor je snage svakog generatora 0,8, ako je ukupno vrijeme trajanja rada generatora 7.000 sati godišnje, a želi se iskoristiti sva pripremljena količina ugljena.



## Prividna snaga generatora termoelektrane

---

Rj.

a)

Godišnje izgori:

$$20.000 \cdot 365 = 7.300 \cdot 10^3 \text{ tona ugljena.}$$

Ukupna količina toplinske energije koja se pritom oslobađa je:

$$7.300 \cdot 10^6 \text{ kg} \cdot 8,37 \text{ MJ/kg} = 61.101 \cdot 10^6 \text{ MJ,}$$

a proizvedena električna energija u godini dana  
(1kWh = 3,6MJ)

$$\begin{aligned} 61.101 \cdot 10^6 \text{ MJ} \cdot 0,36 &= 21.996,36 \cdot 10^6 \text{ MJ} = \\ &= 6.110,1 \cdot 10^6 \text{ kWh.} \end{aligned}$$

## Prividna snaga generatora termoelektrane

---

b)

Radnu snagu generatora određujemo iz godišnje moguće proizvodnje električne energije i vremena trajanja rada generatora

$$Snaga \equiv P = \frac{energija}{vrijeme} = \frac{6.110,1 \cdot 10^6 kWh}{7.000h} =$$

$$= 0,8729 \cdot 10^6 kW = 873MW,$$

pa je dakle prividna snaga generatora

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{873}{0,8} = 1091MVA.$$

# Usporavanje neutrona

---

Vjerojatnost pogotka jezgre U-235 (Pu-239) neutronom, i time izazivanja fisije, ovisi, između ostalog, i o energiji (brzini) neutrona; što je manja njihova energija (brzina) veća je vjerojatnost pogotka jezgara (vjerojatnost odvijanja fisije – lančane reakcije). Neutroni, međutim, oslobođeni fisijom, prevelikih su energija (brzina) i zbog toga se u nuklearnim reaktorima, koji se trenutačno rabe u procesima proizvodnje električne energije, s takvim neutronima ne bi mogao odvijati lančani raspad (lančana reakcija) spomenutih jezgara. Posljedično, te brze neutrone treba usporiti, što se ostvaruje u nuklearnim reaktorima sudaranjem neutrona s jezgrama materijala za usporavanje neutrona na koja neutroni naiđu. (Što su takve jezgre manje mase, to u procesu sraza neutron gubi veći dio svoje kinetičke energije predajući je jezgri s kojom se sudario.)

# Usporavanje neutrona

---

Odredimo sada potreban broj srazova kako bi se energija neutrona od 2,0MeV smanjila na 0,025eV. Srazove ćemo smatrati elastičnim i, pojednostaviti ćemo razmatranje, centralnim, a neutroni će se sudarati s deuterijem. Brzine su deuterija pritom, prije sudara, zanemarivo male.

Rj.

Označit ćemo s  $m$  masu neutrona, s  $M$  masu deuterija, sa  $c_1$  i  $c_2$  brzine neutrona prije sudara i nakon njega, a sa  $C$  brzinu deuterija poslije sudara (sraza).

Iz principa o očuvanju količine gibanja izlazi:

$$mc_1 = mc_2 + MC \quad (C_1 = 0, C_2 = C) \quad (1)$$

# Usporavanje neutrona

---

Iz principa o očuvanju energije dobivamo:

$$\frac{mc_1^2}{2} = \frac{mc_2^2}{2} + \frac{MC^2}{2} \quad (2)$$

Relacija (1) može se napisati ovako:

$$m(c_1 - c_2) = MC \quad (3)$$

a relacija (2)

$$m(c_1 - c_2)(c_1 + c_2) = MC^2 \quad (4)$$

Podijelimo li (4) s (3) dobit ćemo:

$$c_1 + c_2 = C \quad (5)$$

## Usporavanje neutrona

---

te, nakon uvrštenja u (4):

$$m(c_1 - c_2)C = M(c_1 + c_2)C$$

$$c_1(m-M) = c_2(M+m)$$

omjer brzina:

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{m - M}{M + m} = -\frac{M - m}{M + m} \quad (6)$$

Pomoću (6) određujemo omjer kinetičkih energija neutrona prije i nakon (jednog) sraza:

# Usporavanje neutrona

---

$$\alpha = \frac{\frac{mc_2^2}{2}}{\frac{mc_1^2}{2}} = \left( \frac{c_2}{c_1} \right)^2 =$$
$$= \left( -\frac{M - m}{M + m} \right)^2 = \frac{W_2}{W_1} \quad (7)$$

( $W_1$  je energija neutrona prije sraza, a  $W_2$  poslije njega.)

Račun se provodi pomoću masenih brojeva; dovoljno je točno računati li se da neutroni imaju maseni broj 1 ( $m = 1$ ), a za  $M$  uzimamo maseni broj atoma.

# Usporavanje neutrona

---

U promatranom je slučaju dakle

$$\alpha = \left( -\frac{2m - m}{2m + m} \right)^2 = \frac{1}{9},$$

pa je potrebni broj sudara

$$\frac{W_2}{W_1} = \alpha^n = \left( \frac{1}{9} \right)^n = \frac{0,025 eV}{2 \cdot 10^6 eV}$$

$$n \ln \left( \frac{1}{9} \right) = \ln \left( \frac{0,025}{2 \cdot 10^6} \right) \Rightarrow n = \frac{\ln \left( \frac{0,025}{2 \cdot 10^6} \right)}{\ln \left( \frac{1}{9} \right)} \approx 8,282$$



# Izbacivanje u Svemir

---

Odredite brzinu kojom moramo tijelo mase  $m$  kg izbaciti okomito uvis da se ono ne vrati na Zemlju?

Masa je zemlje  $M = 6,0 \cdot 10^{24}$  kg, polumjer  $R = 6370$  km, a gravitacijska konstanta  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ .

Rj.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2};$$

$$|W_{12}| = F \cdot s \cdot \cos \varphi$$

# Izbacivanje u Svemir

---

Rad  $dW$  koji se obavi kad se tijelo mase  $m$  digne za  $dz$  uvis (u polju sile teže Zemlje) iznosi:

$$dW = G \frac{mM}{z^2} dz,$$

gdje je  $z$  udaljenost tijela od središta Zemlje.

Rad pak koji treba obaviti da se tijelo digne do visine (mjesto) gdje sila teža više ne djeluje, bit će:

$$W_{12} = \int_R^{\infty} G \frac{mM}{z^2} dz = G \frac{mM}{R}.$$

# Izbacivanje u Svemir

---

Taj je rad jednak (princip očuvanja energije) promjeni kinetičke energije tijela bačenog uvis brzinom  $c$  (početno tijelo miruje). Vrijedi dakle:

$$G \frac{mM}{R} = \frac{mc^2}{2}.$$

Oдавде dobivamo:

$$c = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = 11,2 \text{ km s}^{-1}.$$

# Kako voziti?

---

Stalno je opterećenje osobnog automobila 12 kW. Pretpostavi li se termički stupanj djelovanja motora automobila jednak 24% odredite potrošnju goriva u km/litri kreće li se automobil brzinom:

- a) 80 km/h
- b) 130 km/h.

Energija je 1 litre goriva 10,6 kWh.

(1 kWh mehaničkog rada  $\rightarrow$  50 kg  $\rightarrow$  7,3 km  $\uparrow$ )

# Kako voziti?

---

Rj.

„Stalno opterećenje”: svladavanje sile trenja između kotača automobila i podloge; trenje omogućuje kretanje automobila kakvo poznajemo. (Kad bi trenje bilo jednako nuli, kada ne bi postojalo u prirodi, automobil bi se mogao kretati jedino na „mlazni pogon”. Kao i mi, životinje, ptice, ribe,...)

Moramo odrediti energiju (mehanički rad) za svladavanje otpora zraka (atmosfera).

Potrebna je sila za svladavanje otpora zraka:

# Kako voziti?

---

$$F_z = k \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_z \cdot A \cdot c^2 [N].$$

Sila otpora, osim o brzini, ovisi i o gustoći fluida kroz koji se kreće tijelo, o ploštini površine tijela izloženoj strujanju fluida i o „aerodinamičnosti“ tijela.

# Kako voziti?

---

U promatranom slučaju:

- $\rho_z = 1,2 \text{ kg/m}^3$  (gustoća zraka)
- $A = 1\text{m}^2$  (površina projekcije automobila na ravninu okomitu na pravac gibanja automobila – zbog jednostavnijeg proračuna pretpostavljamo da je ploština te površine  $1\text{m}^2$ )
- $c[\text{m/s}]$  = brzina automobila

# Kako voziti?

---

➤  $k = 1$  (veličina koja ovisi o obliku automobila („aerodinamičnosti“) i o brzini kojom se kreće – određuje se eksperimentalno u „zračnim tunelima“;  $k < 1$ , no, i opet zbog što jednostavnijeg računa, uzimamo  $k = 1$ . Isto tako, u promatranom rasponu brzina, koji je malen, ne ćemo puno pogriješiti, pretpostavimo li neovisnost  $k$ -a o brzini.)

Dobivamo da je potrebna snaga automobila, koja omogućuje kretanje automobila u postojećim okolnostima, jednaka (snaga = sila • brzina):



# Kako voziti?

---

$$P = \left[ \frac{F_z \cdot c}{1000} + 12 \right] kW =$$
$$= \left[ \frac{\frac{1}{2} \rho_z k A c^3}{1000} + 12 \right] kW.$$

(Dijelimo s 1000 kako bismo snagu umjesto u W izrazili u kW;  $k = 10^3$ )

Snaga je dakle (struje fluida) proporcionalna kubu brzine,  $c^3$ . (I to je jedan od problema povezanih s radom vjetroelektrana.)

## Kako voziti?

---

Odgovorimo sada na postavljena pitanja.

a)

$$80 \frac{km}{h} \cdot \frac{1000m}{1km} \cdot \frac{1h}{3600s} = 22,2m/s$$

$$P_a = \frac{0,6 \cdot 22,2^3}{1000} + 12 = 18,565kW$$

$$\left( \frac{1}{2} \rho_z = 0,6; k = 1; A = 1 \right)$$

## Kako voziti?

---

Potrebna je energija dakle za 1 sat vožnje 18,565 kWh, a u 1h prevali se 80 km.

Prema tome, potrošnja energije na putu od 1 km bit će:

$$\frac{18,565 kWh}{80 km} = 0,232 kWh / km.$$

Slično,

$$130 \text{ km/h} = 36,1 \text{ m/s},$$

$$P_b = \frac{0,6 \cdot 36,1^3}{1000} + 12 = 40,23 kW$$

40,23 kWh, 130 km => 0,3095 kWh/km –  
potrošnja energije po km

# Kako voziti?

---

Odredimo sada prijeđeni put utroši li se 1 litra goriva.

Vrijede odnosi:

1 litra goriva daje 10,6 kWh, no, kemijska energija nije eksergija:

$$10,6 \cdot 0,24 = 2,544 \text{ kWh/litri } (\eta_t = 0,24)$$

iznos je energije pretvorene u mehanički rad kojim automobil svlada sile otpora prilikom kretanja.

Kreće li se automobil brzinom 80 km/h s jednom litrom goriva preći će **10,97 km**:

## Kako voziti?

---

$$\frac{2,544 \frac{kWh}{l}}{0,232 \frac{kWh}{km}} = 10,966 km / l,$$

vozimo li pak brzinom od 130 km na sat, preći  
ćemo **8,22 km**:

$$\frac{2,544 \frac{kWh}{l}}{0,3095 \frac{kWh}{km}} = 8,22 km / l.$$

# Pitanja

---

**Što je energetski povoljnije:**

- **gurati ili**
- **povlačiti (vući) tačke (teretna kolica s jednim kotačem i dvije ručke)?**

**Izgori li u spremniku krutih stijenki (neprelaznih za masu, no spremnik nije zatvoreni sustav) komad drveta, hoće li se promijeniti količina mase u spremniku? Stijenke spremnika nisu adijabatske. Što ako je spremnik adijabatski sustav?**

**Bi li mogao vidjeti nevidljivi čovjek? (Lik romana i filмова.)**

# Ukratko

---

Govorili smo o definicijama i pojmu energija, o podjeli oblika energije na stalne i prijelazne, na energiju, eksergiju i anergiju, o oblicima energije, o opskrbi Zemlje energijom, o fotosintezi i Sunčevoj energiji, o mehaničkom radu, o pojmu sustav, o dvije definicije 1. i 2. glavnog stavka termodinamike, o problemu opskrbe energijom, o povratljivim i nepovratljivim procesima i uvjetima povratljivosti, o entropiji i gubicima eksergije.