

TERMODINAMSKE OSNOVE ENERGETSKIH SUSTAVA

NAMJENA ENERGETSKIH SUSTAVA

- ❑ **PRETVORBA** (*transformacija*) energije
- ❑ **PRIJENOS** energije
- ❑ **RASPODJELA** (*distribucija*) energije

CILJEVI ENERGETSKIH SUSTAVA

- ❑ UČINKOVITA PRETVORBA I UPORABA ENERGIJE
- ❑ POUZDANOST I TRAJNA RASPOLOŽIVOST
- ❑ OČUVANJE I ZAŠTITA OKOLIŠA

ENERGETSKI RESURSI I SREDSTVA

- ❑ **ENERGETSKI IZVORI**
- ❑ **RADNE TVARI (*mediji*) za energetske transformacije**
- ❑ **STROJEVI I UREĐAJI za transformaciju energije**

OPĆENITO O ENERGIJI

Riječ Energija od grčke riječi *energōs* - aktivnost.

Prema međunarodnom sustavu mjernih jedinica, u čast engleskom fizičaru James Prescott Joule (1818.-1889.), mjerna jedinica za energiju nazvana je Joule i ima oznaku J.

Bitno svojstvo energije u zatvorenom sustavu je:

❑ ne mogućnost nastanka ili uništenja, te je
količina energije u zatvorenom sustavu nepromjenjiva.

Na navedenom temelji se ZAKON O OČUVANJU ENERGIJE.

U Engleskoj, a često i u trgovanju energijom, koristi se jedinica za energiju
Btu – British thermal unit

1 Btu=1055 J 1 kJ=0,947867 Btu

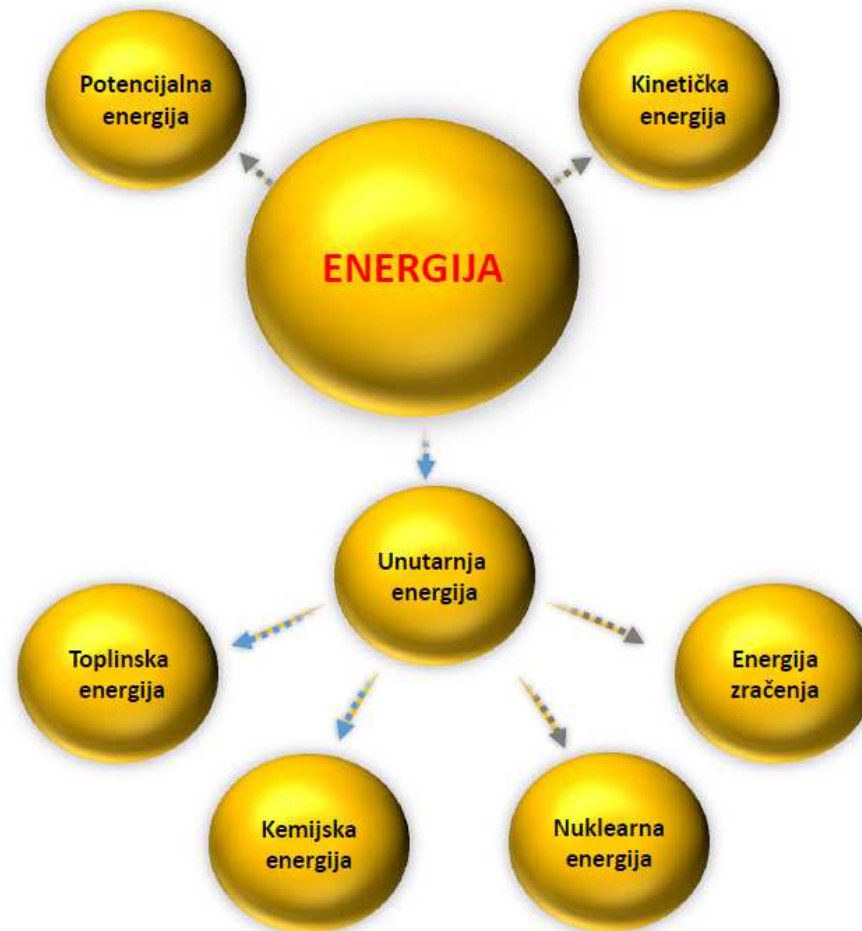
OPĆENITO O ENERGIJI

Svi do sad poznati prirodni procesi i fenomeni mogu se objasniti s nekoliko oblika energije:

- ✓ kinetička energija,
- ✓ potencijalna energija,
- ✓ toplinska energija,
- ✓ gravitacija,
- ✓ elastičnost,
- ✓ elektromagnetizam,
- ✓ kemijska energija,
- ✓ nuklearna energija i masa.

POJAVNI OBLICI ILI VRSTE ENERGIJE

Pod pojmom energija pred postavlja se sposobnost obavljanja rada odnosno svladavanja sile na određenom putu (*djelovanje sile na putu*).



VRSTE ENERGIJE - DEFINICIJE

Potencijalna energija – je posljedica djelovanje gravitacije g na tijelo mase m koje se nalazi u Zemljinom gravitacijskom polju promatrano između visinske razlike Δh :

$$E_p = m \cdot g \cdot \Delta h$$

Kinetička energija – je energija gibanja, koju treba dovesti da bi tijelo mase m postiglo brzinu v ili energija koju tijelo ima u trenutku zaustavljanja (*u stanje mirovanja*):

$$E_k = 1/2(m \cdot v^2)$$

VRSTE ENERGIJE - DEFINICIJE

Unutarnja energija - energija sadržana na razini molekula i atoma

Toplinska – unutarnja kinetička energija gibanja molekula

Kemijska – unutrašnja energija promjene kemijskoga spoja (*izgaranje*)

Nuklearna – unutarnja energija na razini jezgre atoma koja može biti:

nuklearna fisije – razbijanje jezgre

nuklearna fuzija – spajanje jezgara

Energija zračenja – unutarnja energija na razini dijelova atoma (*jezgre i elektronskoga omotača*)

FIZIKALNE VELIČINE I MJERNE JEDINICE

Sila F potrebna za ubrzanje a mase m **$F = m \cdot a$**

N (*Newton*) mjerna jedinica za silu $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$

Rad L pri djelovanju sile F na putu s **$L = F \cdot s$**

J (*Joule*) mjerna jedinica za rad $(\text{kg} \cdot \text{m/s}^2) \cdot \text{m} = \text{N} \cdot \text{m}$

Snaga P – rada L u jedinici vremena t **$P = L / t = (F \cdot s) / t$**

W (*Watt*) mjerna jedinica za snagu $\text{J/s} = \text{W}$

Energija E - sposobnost obavljanja rada

J (*Joule*) mjerna jedinica za energiju

ZAKON OČUVANJA (ODRŽANJA) ENERGIJE

$$E = \sum_i E_i$$

$$E = E_p + E_k + E_u + \dots + E_x$$

Energija se ne stvara niti uništava; ona se samo mijenja (*transformira / preobrazba*) iz jednoga oblika u drugi.

Zbroj (*suma*) svih energija na ulazu u neki sustav jednak je zbroju energija na izlazu iz njega.

Pri korištenju energije iz nuklearnih goriva, masa se može poistovjetiti s energijom prema Einstein-ovom izrazu: $E=mc^2$.

ELEKTRIČNA ENERGIJA

Ne nalazi se u prirodi u upotrebljivom obliku !?

Munje i statički elektricitet nastaju u prirodi u neupotrebljivom obliku !?

Razlika potencijal uvjet za nastanak elektromotorne sile koja omogućuje protjecanje električne struje (*elektroni, ioni*) u zatvorenom strujnom krugu.

U zatvorenom strujnom krugu koji se sastoji od izvora, trošila i pripadajućih vodiča električne struje odvija se transformacija električne energije u drugi oblik (*toplinsku, mehaničku, kemijsku, kinetičku, elektromagnetski valovi,...*)

ELEKTRIČNA ENERGIJA

Posredstvom energetskih sustava izgaranjem konvencionalnih goriva se kemijska energija sadržana u kemijskim spojevima (C, H, S), transformira u toplinsku energiju.

Iz oslobođene toplinske energije, posredstvom radne tvari (*voda-vodena para, plinovi izgaranja*) u toplinskim strojevima se toplina transformira u mehaničku energiju koja omogućuje rotaciju rotora generatora električne struje.

Posredstvom generatora električne struje se mehanička energija transformira u električnu.

ELEKTRIČNA ENERGIJA

Posredstvom energetskih sustava izgaranjem konvencionalnih goriva se kemijska energija sadržana u kemijskim spojevima (C, H, S), transformira u toplinsku energiju.

Iz oslobođene toplinske energije, posredstvom radne tvari (*voda-vodena para, plinovi izgaranja*) u toplinskim strojevima se toplina transformira u mehaničku energiju koja omogućuje rotaciju rotora generatora električne struje.

Posredstvom generatora električne struje se mehanička energija transformira u električnu.

PRIMARNI POKRETAČI GENERATORA

Primarni pokretači generatora električne energije u kojima se odvija transformacija (*toplinske*, kinetičke) energije u mehaničku su:

- ☐ parne turbine
- ☐ plinske turbine
- ☐ motori s unutarnjim izgaranjem
- ☐ vodne turbine
- ☐ vjetrene turbine

PRIMARNI POKRETAČI GENERATORA

Električnu energiju je moguće dobiti i direktno iz toplinske, svjetlosne i kemijske energije primjenom:

- ☐ termo-naponskog efekta (*termo članci*)
- ☐ foto-naponskog efekta (*foto-naponske ćelije*)
- ☐ elektrokemijskog efekta (*galvanski članci, gorive ćelije*)
- ☐ MHD (*Magnetohydrodynamic generator*)

MHD GENERATOR

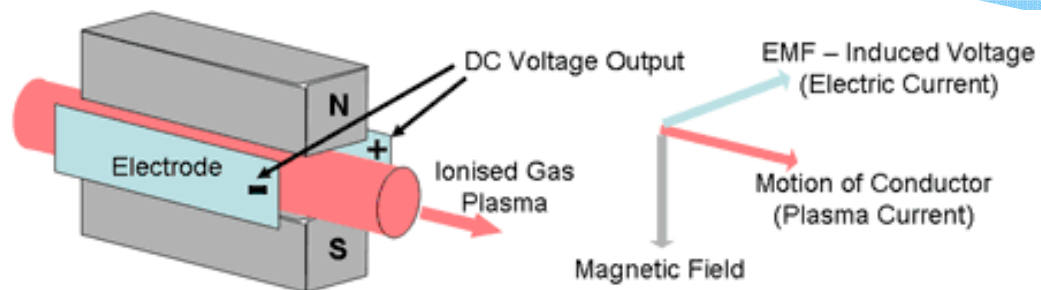
Magnetohydrodynamic generator (*MHD generator*) je magneto-hidro-dinamički uređaj koji pretvara toplinsku i kinetičku energiju u električnu energiju.

MHD generatori su razlikuju od uobičajenih električnih generatora po tome što koriste visoko temperaturnu energiju plinova izgaranja i nemaju pokretnih dijelova.

MHD generator se koristi u hibridnom postrojenju s parno turbinskim postrojenjem koje iskorištava dio preostale energije plinova izgaranja koji su prošli kroz MHD.

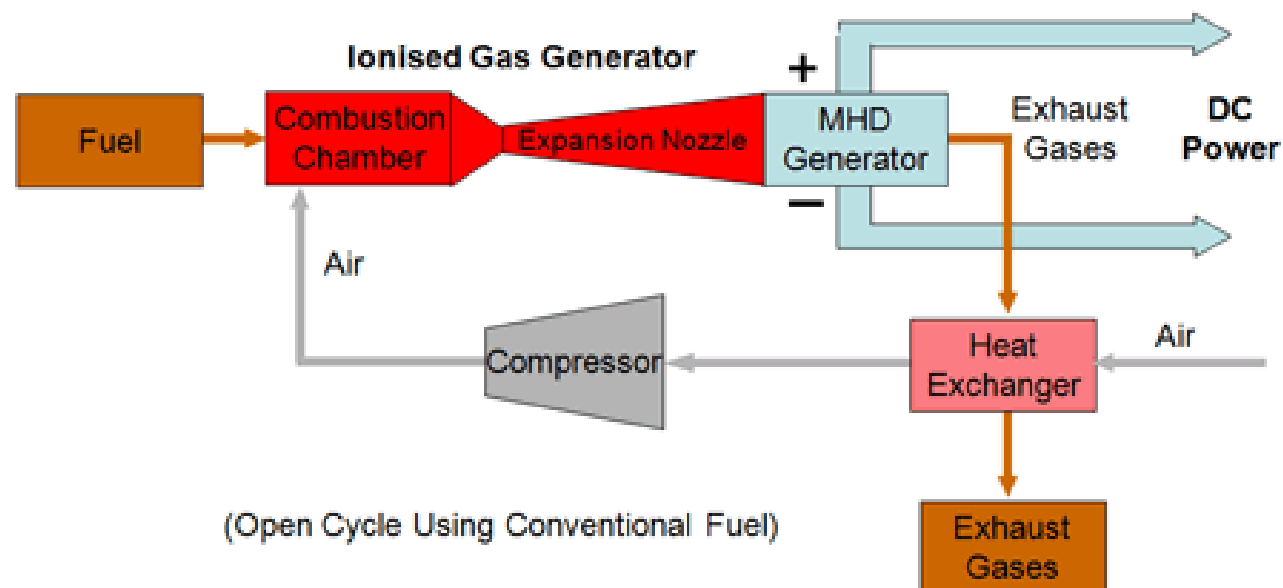
Očekivana učinkovitost pri transformaciji energije je najmanje 60%.

MHD GENERATOR

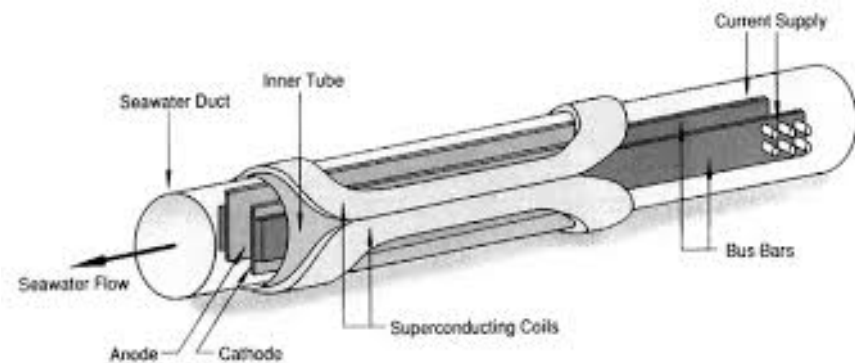
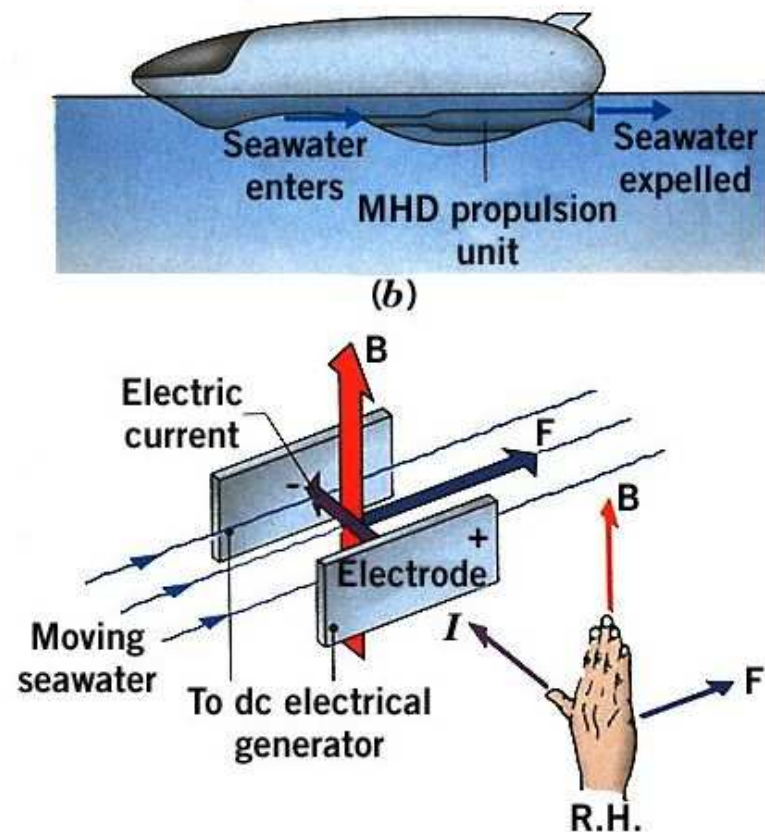


Magnetohydrodynamic Power Generation (Principle)

Magnetohydrodynamic (MHD) Electricity Generation



MHD PROPULZIJA



ENTALPIJA, ENTROPIJA, EKSERGIJA I ANERGIJA

Entalpija funkcija (*veličina*) stanja (*ovisi samo o početnom i konačnom stanju*) - mjera za unutarnji sadržaj toplinske energije ili pojednostavljeno sadržaj topline u J/kg.

$$h = c_p \cdot T$$

$$h = u + pv$$

Entropija funkcija (*veličina*) stanja (*ovisi samo o početnom i konačnom stanju*) a može imati pozitivnu ili negativnu vrijednost – mjerna jedinica J/(kgK)

$$s = q / T$$

U povrativim procesima entropija se ne mijenja a kod ne povrativih procesa uvijek se povećava – mjera za ne povrativost procesa.

ENTALPIJA, ENTROPIJA, EKSERGIJA I ANERGIJA

Eksergija - maksimalan rad kojeg se može dobiti iz nekog radnoga medija (*para, plin*) dovođenjem njegova stanja povratnim (*reverzibilnim*) putem do stanja okoline.

Način na koji se danas tumači pojam eksergije definirao je Zoran Rant (1904.-1972.) - slovenski termodinamičar - 1956. godine odredio eksergiju

Energija: $e = e_{ks} + a$ J/kg

E_{ks} - eksergija ili po jedinici mase e_{ks}

A - anergija ili po jedinici mase a

Anergija radne tvari - neiskoristivi dio sadržane topline je (po jedinici mase): $a = h_0 + T_0(s - s_0)$ J/kg

Eksergija: $e_{ks} = h - h_0 - T_0(s - s_0)$ J/kg

$$e_{ks} = u + pv - T_0s - (u_0 + p_0v_0 - T_0s_0) \text{ J/kg}$$

ENTALPIJA, ENTROPIJA, EKSERGIJA I ANERGIJA

Eksergija - u svim realnim (*nepovratnim*) procesima se smanjuje

Energija - u svim realnim (*nepovratnim*) procesima pretvara se iz jednoga oblika u drugi pri čemu nepretvoreni dio predstavlja dio koji se pretvara u neiskoristivu energiju.

Energija se ne gubi, već samo pretvara iz jednoga oblika u drugi.

Kvaliteta energije – je veća, što se njen veći dio može transformirati u koristan rad, odnosno što je veći udio eksergije.

Eksergiju možemo smatrati pokazateljem vrijednosti energije. Čim je veći udio eksergije u nekoj energiji, tim je veća vrijednost (*kvaliteta*) te energije.

Kvaliteta (*elek., potenc., kinet.*) > Kvaliteta topl. energ.

Energija (*elek., potenc., kinet.*) = Eksergija (*elek., potenc., kinet.*)

Energija (*toplina*) > Eksergija (*toplina*)

Eksergija topline okoline jednaka je 0, odnosno cjelokupnu toplinsku energiju okoline čini anergija!

Eksergija goriva ~ Gornja toplinska vrijednost

UČINKOVITOST TRANSFORMACIJE ENERGIJE

Energetska iskoristivost (*stupanj djelovanja*) - analiza temeljena na **1. glavnom stavku termodinamike**:

$$\eta_E = \frac{E_{ef}}{E_{ul}} = \frac{\textit{Efektivno iskorištena energija}}{\textit{Energija ulazna (koja se transformira)}}$$

, za toplinsku energiju:

$$\eta_E = \frac{Q_{ef}}{Q_{ul}} = \frac{\textit{Efektivno iskorištena toplina}}{\textit{Toplina ulazna}}$$

ENERGETSKI SUSTAV	energetska iskoristivost η_{en}
Termoelektrane s radnom tvari –para, ložene tekućim ili krutim gorivom	0,25 do 0,40 (max 0,45)
Termoelektrane s radnom tvari –para, ložene plinovitim gorivom	0,20 do 0,35 (max 0,40)
Termoelektrane s radnom tvari –para/plin, ložene plinovitim gorivom-combi proces	0,45 do 0,55 (max 0,61)
Kogeneracijske i trigeneracijske elektrane	0,50 do 0,80 (max 0,90)

UČINKOVITOST TRANSFORMACIJE ENERGIJE

Eksergijska iskoristivost (*stupanj djelovanja*) - analiza temeljena na 2. glavnom stavku termodinamike:

- **za sustav koji daje („proizvodi”) rad:**

$$\eta_{\text{eks}} = \frac{L}{E_{\text{ks,ul}} - E_{\text{ks,iz}}} = \frac{\text{Rad (dobiven transformacijom)}}{\text{Iskorištena eksergija (koja se transformira)}}$$

- **za sustav koji koristi („troši”) rad:**

$$\eta_{\text{eks}} = \frac{E_{\text{ks,iz}} - E_{\text{ks,ul}}}{L} = \frac{\text{Prirast eksergije}}{\text{Utrošeni rad}}$$

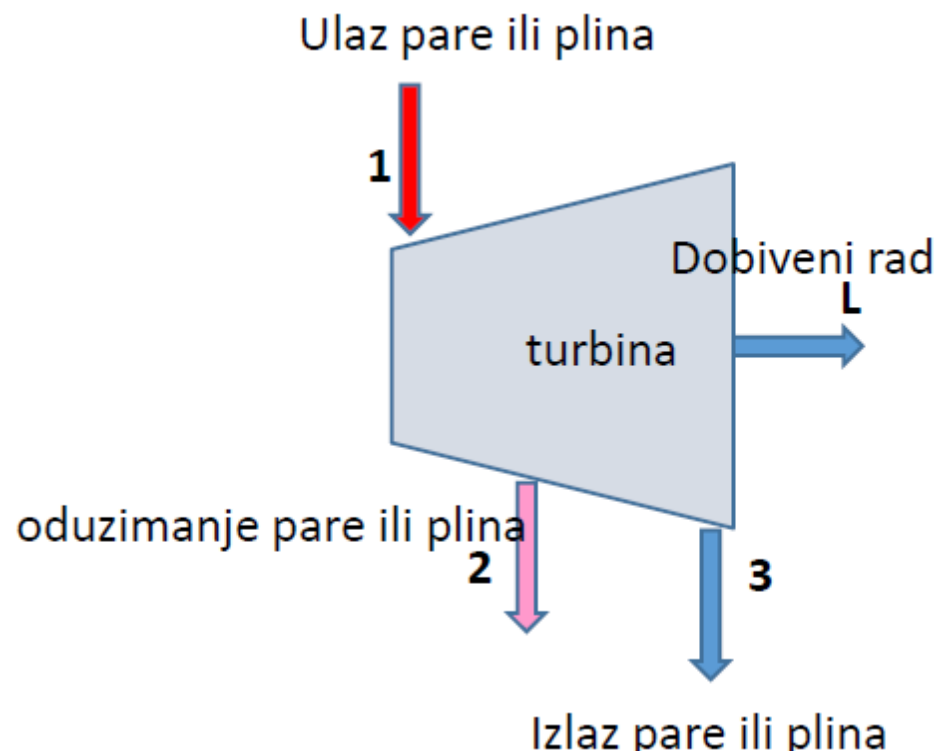
- **za sustav koji ne daje niti koristi rad** (PT – pogonska tvar, RT – radna tvar) :

$$\eta_{\text{eks}} = \frac{\sum E_{\text{ks,RT,iz}} - \sum E_{\text{ks,RT,ul}}}{\sum E_{\text{ks,PT,ul}} - \sum E_{\text{ks,PT,iz}}} = \frac{\text{Prirast eksergije}}{\text{Utrošena eksergija}}$$

EKSERGIJSKA ISKORISTIVOST TRANSFORMACIJE ENERGIJE

- za sustav koji „*proizvodi*” rad: PARNA TURBINA

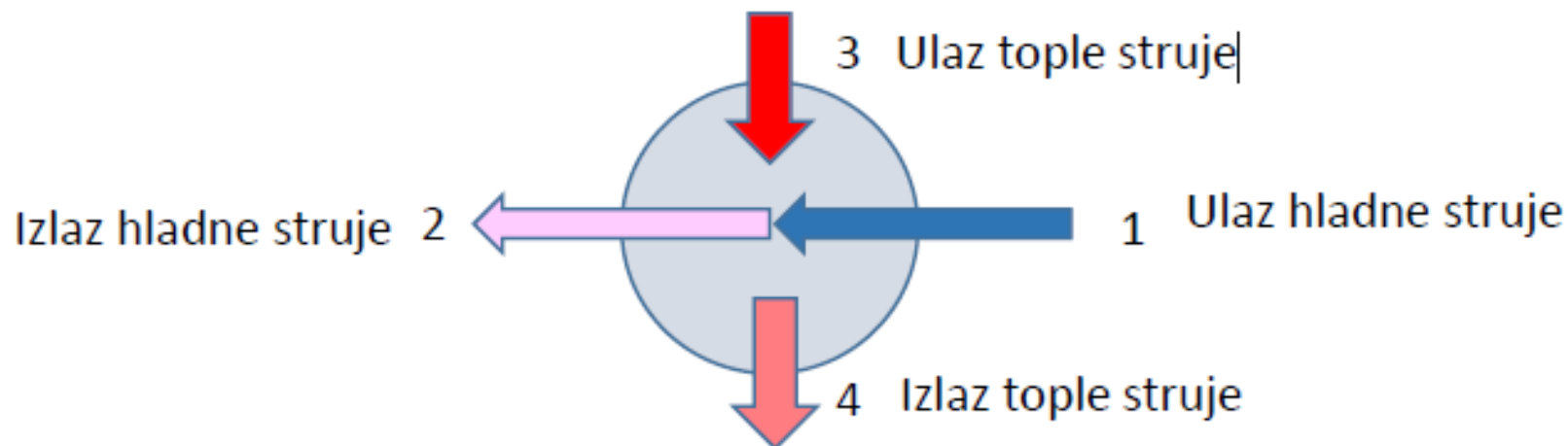
$$\eta_{\text{eks}} = \frac{L}{E_{\text{ks},1} - E_{\text{ks},2} - E_{\text{ks},3}} = \frac{\text{Rad (dobiven transformacijom)}}{\text{Iskorištena eksergija (koja se transformira)}}$$



EKSERGIJSKA ISKORISTIVOST TRANSFORMACIJE ENERGIJE

- za sustav koji ne „*proizvodi*” niti „*troši*” rad: IZMJENJIVAČ TOPLINE

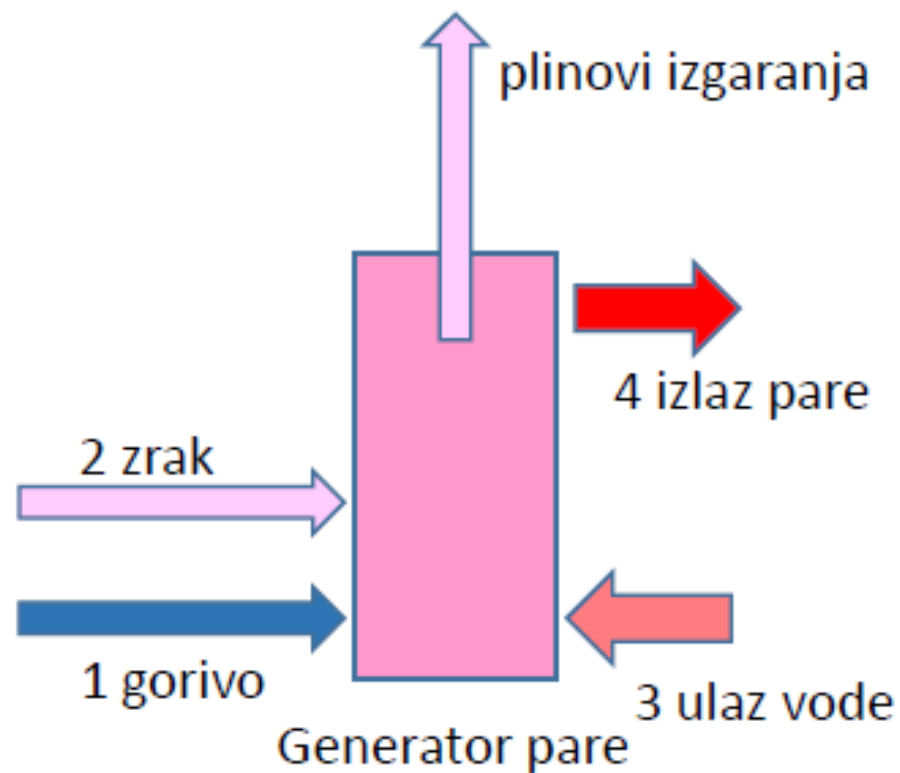
$$\eta_{\text{eks}} = \frac{E_{\text{ks},2} - E_{\text{ks},1}}{E_{\text{ks},3} - E_{\text{ks},4}} = \frac{\text{Dobivena eksergija (prirast eksergije)}}{\text{Iskorištena eksergija (utrošena eksergija)}}$$



EKSERGIJSKA ISKORISTIVOST TRANSFORMACIJE ENERGIJE

- za sustav koji ne „*proizvodi*” niti „*troši*” rad: GENERATOR PARE

$$\eta_{\text{eks}} = \frac{E_{\text{ks},4} - E_{\text{ks},3}}{E_{\text{ks},1} + E_{\text{ks},2}} = \frac{\text{Dobivena eksergija (prirast eksergije)}}{\text{Iskorištena eksergija (utrošena eksergija)}}$$



EKSERGIJSKA ISKORISTIVOST TRANSFORMACIJE ENERGIJE

sustav koji ne „proizvodi” niti „troši” rad	Gubici energije $1-\eta_{\text{en}}$	Gubici eksergije $1-\eta_{\text{eks}}$
Generator pare	0,06 do 0,12	0,48 do 0,52
Turbina	0	0,05 do 0,12
Kondenzator	0,48 do 0,52	0,02 do 0,04
Zagrijač vode	0	0,01 do 0,03

Eksergija topline – toplinskog toka (*fluksa*):

$$E_{\text{ks},Q} = \eta_c \cdot Q = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q$$

a anergija je:

$$A = \frac{T_0}{T} \cdot Q$$