

TERMODINAMSKI OSNOVI ENERGETSKIH SUSTAVA

1. OPĆENITO O TEHNIČKOJ GRANI «ENERGETIKA»

- **Energetika - zadaci:**
 - transformacija (pretvorba) energije
 - prijenos energije
 - raspodjela (distribucija) energije
- **Energetika - ciljevi:**
 - pouzdana (trajna) opskrba
 - ekonomično (racionalno) korištenje
 - zaštita okoliša
- **Energetika - sadržaj:**
 - energetske resursi (izvori energije)
 - energetske sustavi
 - energetska postrojenja
 - energetske mediji / nositelji energije (gorivo, para, voda, plinovi)

2. ENERGIJA

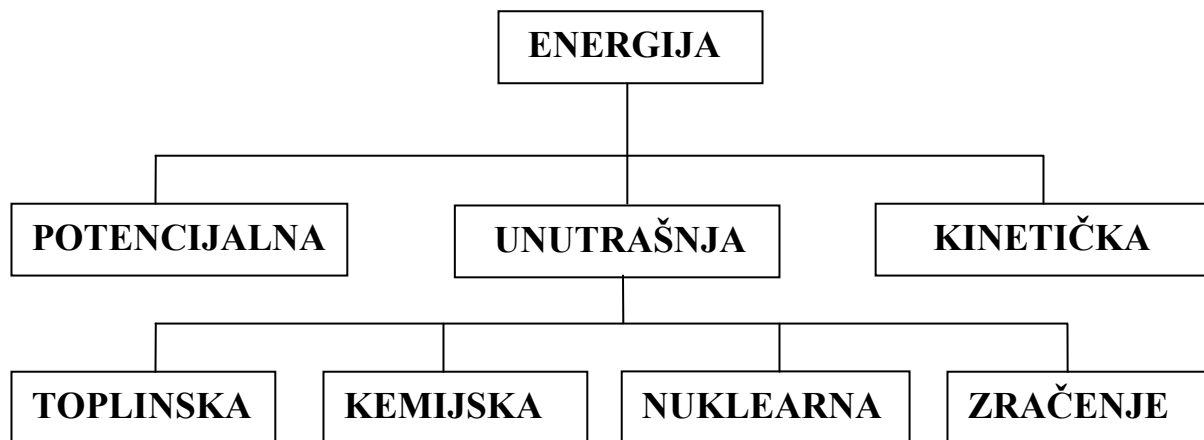
2.1. Definicija

«Općenito, energija je sposobnost obavljanja rada odnosno savladavanja sile (F) na nekom putu (s)».

Ta definicija objedinjuje sve oblike energije, a koliko će se pojedinog oblika energije utrošiti za neku radnju zavisi o njenoj sposobnosti (kvaliteti) da se transformira u rad.

Energija je kvalitetnija što se njen veći udjel može transformirati u rad.

2.2. Podjela



Potencijalna energija – je posljedica djelovanje gravitacije(g) na masu tijela (m) u Zemljinom gravitacijskom polju:

$$E_p = mg\Delta h$$

Kinetička energija – je energija gibanja, koju treba dovesti da bi tijelo mase (m) postiglo brzinu (v):

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

- Unutrašnja energija** - energija sadržana na razini molekula i atoma
- Toplinska – unutrašnja kinetička energija gibanja molekula
 - Kemijska – unutrašnja energija promjene kemijskoga spoja (izgaranje)
 - Nuklearna - unutrašnja energija na razini jezgre atoma koja može biti:
 - energija fisije - razbijanje jezgre
 - energija fuzije – spajanje jezgara
 - Zračenje – unutrašnja energija na razini dijelova atoma (jezgre i elektronskoga omotača)

2.3. Zakon o očuvanju energije

- *Energija se ne stvara niti uništava; ona se samo mijenja iz jednoga oblika u drugi.*
- *Zbroj 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-ovoj jednadžbi: $E=mc^2$*

2.4. Primarni (prirodni) izvori energije

- **Fosilna goriva**
- **Nuklearna goriva**
- **Sunce (toplinsko zračenje, fotosinteza)**
- **Vodotoci**
- **Vjetar**
- **More (struje, valovi, plima /oseka)**
- **Zemljina kora (geotermalna energija)**
- **Hrana**

2.5. Osnovni oblici energije u energetskim sustavima

- ❖ **Toplinska**
- ❖ **Mehanička**

❖ **Toplinska energija je:**

➤ *kaotična, ne-uređena, ne-usmjerena, ne-organizirana, ne može pomicati stvari, samo se djelomično može transformirati u radnju (kružni procesi), manje je vrijedna.*

❖ **Mehanička energija je:**

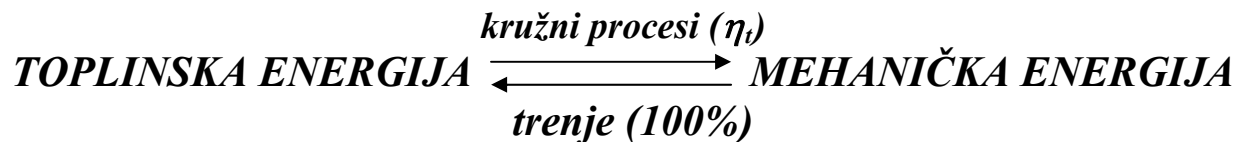
➤ *organizirana, usmjerena, može pomicati stvari (sila \times put), više je vrijedna, u potpunosti se može transformirati u toplinu (trenje).*

3. OSNOVNE OSOBINE TOPLINSKE ENERGIJE

Toplina je:

- dio unutrašnje energije medija- nositelja topline
- proporcionalna je broju čestica nositelja topline i njihove kinetičke energije.

3.1. Pretvorba toplinske energije



*Kružni procesi omogućuju pretvorbu topline u radnju pri čemu kao posrednik u prijenosu energije služe **stlačivi fluidi** (dimni plinovi, zrak, para).*

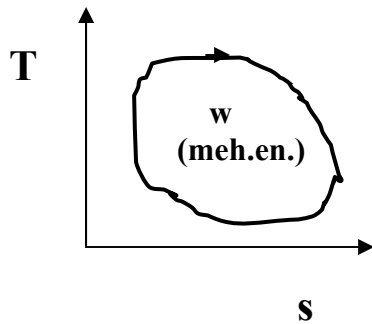
*Maksimalni udjel topline koji se teoretski može pretvoriti u radnju ograničen je **Carnot-ovim kružnim procesom**, a zavisi o temperaturi raspoložive topline, odnosno o omjeru temperature okoline (T_0) i temperature radnoga fluida (T).*

Toplina bi se potpuno pretvorila u radnju samo kod beskonačno visoke temperature radnoga fluida ili kad bi temperatura okoline bila jednaka apsolutnoj ničtici ($-273,15^{\circ}\text{C}$). Niti jedan od dva uvjeta nije moguć!!!

3.2. Uvjeti za odvijanje kružnog procesa

Proizlaze iz 2. zakona termodinamike:

- dio dovedene topline u proces mora se vraćati u okolinu,
- moraju postojati dva spremnika topline s različitim temperaturama.



$$\oint ds = \oint \frac{dQ}{T} = 0$$

$$\eta_{t \max} = \eta_{\text{Carnot}}$$
$$\eta_t < \eta_{\text{Carnot}}$$
$$\eta_{\text{carnot}} = \frac{T - T_0}{T}$$

3.3. Prijenos topline

1) Provođenje (kondukcija)

- Fourier-ova jednadžba: $Q = -A\lambda \left(\frac{dt}{dx} \right)$

A - površina
 $\frac{dt}{dx}$ - temp.gradijent
 λ - koef. top. vodljivosti

2) Konvekcija

- *Newton-ova jednadžba:*

$$Q = A \alpha \Delta t$$

A - površina

α - koef. prijelaza topline

Δt - razlika temperatura

3) Zračenje

- *Stefan - Boltzmann-ov zakon:* $Q = Af\sigma(T_1^4 - T_2^4)$

A - površina

f - faktor oblika površina

σ - konstanta zračenja

T_1 - aps. temp. predajnika topline

T_2 - aps. temp. prijemnika topline

4. OSNOVNE OSOBINE ELEKTRIČNE ENERGIJE

- Ne nalazi se u prirodi u upotrebljivome obliku.
- **Transformacija u:**
 - mehaničku
 - toplinsku
 - magnetsku
 - svjetlosnu
- **Proizvodnja:**
 - **Iz mehaničke energije (el. indukcijom u generatorima)**
Primarni pokretači generatora el. energije:
 - *parne turbine*
 - *plinske turbine*
 - *motori s unutrašnjim izgaranjem*
 - *vodne turbine*
 - *vjetro- turbine*
 - **Termo-naponskim efektom (MHD generatori)**
 - **Foto-naponskim efektom (sunčeve ćelije)**
 - **Elektrokemijskom efektom (elektrolitski članci, gorive ćelije)**

5. EKSERGIJA

Način na koji se danas tumači pojam *eksergije* definirao je **Zoran Rant** - slovenski termodinamičar 1956. godine.

Eksergija - maksimalan rad kojeg se može dobiti iz nekog radnoga fluida dovođenjem njegova stanja povratnim (reverzibilnim) putem do stanja okoline.

$$E_{ks} = H - H_0 - T_0(S - S_0)$$

$$H = U + PV$$

$$E_{ks} = U + PV - T_0S - (U_0 + P_0V_0 - T_0S_0)$$

$$E_n = E_{ks} + A$$

E_{ks} - eksergija

A – anergija

Specifična eksergija radnog fluida (po jedinici mase):

$$e_{ks,h} = h - h_0 - T_0(s - s_0)$$

Neiskoristivi dio sadržane topline je anergija:

$$a_h = h_0 + T_0(s - s_0)$$

Eksergija - u svim realnim (nepovratnim) procesima se troši.

Energija - u svim realnim (nepovratnim) procesima pretvara se iz jednoga oblika u drugi pri čemu gubitak predstavlja dio koji se pretvara u neiskoristivu energiju. Energija se ne gubi, već samo pretvara iz jednoga oblika u drugi.

Energetski resursi (gorivo) – u procesu korištenja (izgaranja) degradiraju se zbog izjednačavanja njihova kemijskog potencijala s okolinom.

Zadatak energetičara - na što učinkovitiji način iskoristiti sadržanu energiju energetskih resursa prije njihove degradacije odnosno izjednačenja sa stanjem okoline.

Kvaliteta energije – je veća, što se veći njen udjel može transformirati u koristan rad, odnosno što je veća pripadna eksergija. Eksergiju možemo smatrati mjerom za vrijednost energije. Čim je veći udjel eksergije u nekoj energiji, tim je veća vrijednost te energije.

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

$E_{\text{energija}}(\text{elek., potenc., kinet.}) = E_{\text{ksnergija}}(\text{elek., potenc., kinet.})$

$E_{\text{energija}}(\text{toplina}) > E_{\text{ksnergija}}(\text{toplina})$

Eksergija topline (toplinskoga fluksa):

$$E_{ks,Q} = \eta_{carnot} Q = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q$$
$$A_Q = \frac{T_0}{T} Q$$

- *Toplinska energija okoline nema nikakvu eksergiju.*
- *Cjelokupnu toplinsku energiju okoline čini anergija.*

Specifična eksergija topline (toplinskoga fluksa):

$$e_{ks,q} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) q$$

Eksergija dimnih plinova izgaranja:

Za općeniti slučaj, kada se tijekom prijelaza topline mijenja temperatura, može se pisati:

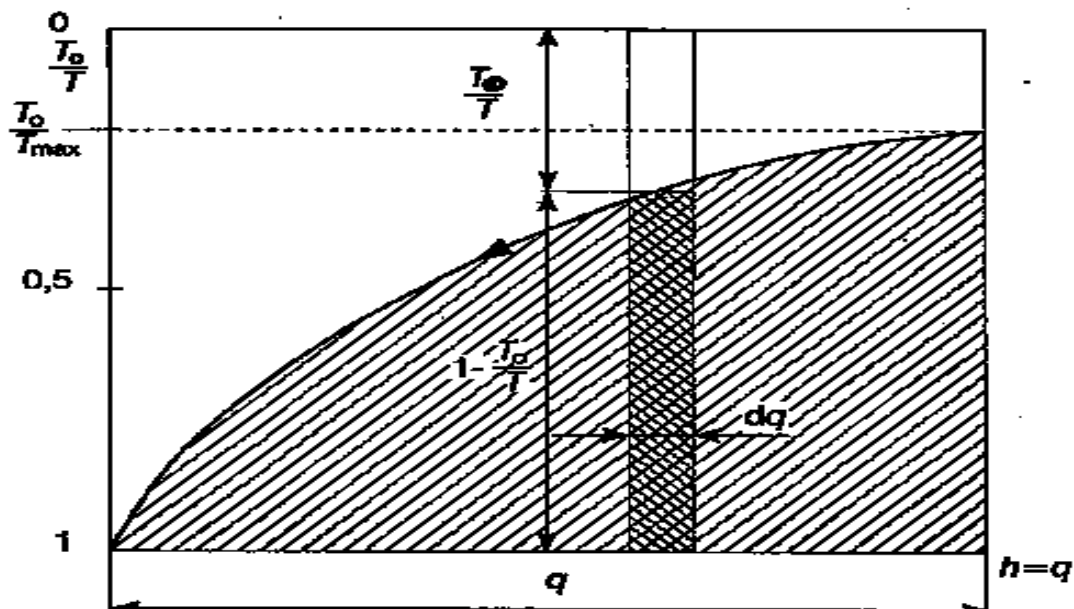
$$E_{ks,Q} = \int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) dQ$$

$$A_Q = T_0 \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

Specifična eksergija dimnih plinova, čija se temperatura smanjuje od T_{max} do T_o , iznosi:

$$de_{ks, pl} = \left(1 - \frac{T_o}{T}\right) dq$$

$$e_{ks, pl} = \int_0^q \left(1 - \frac{T_o}{T}\right) dq$$



Eksergija goriva je rad koji bi se teoretski mogao dobiti reverzibilnom (povratnom) kemijskom reakcijom izgaranja, što realno nije moguće u tehnički izvedivom procesu.

Eksergija goriva \cong Gornja toplinska vrijednost

$$e_{ks,g} \cong H_{G,g}$$

6. UČINKOVITOST ENERGETSKIH PROCESA

- ❖ Energetska iskoristivost - analiza temeljena na 1. zakonu termodinamike
- ❖ Eksergetska iskoristivost – analiza temeljena na 2. zakonu termodinamike

6.1. Energetska iskoristivost

$$\eta_{en} = \frac{E_{n, izl}}{E_{n, ul}} = \frac{\text{iskorišten a (izlazna) energija}}{\text{utrošena (ulazna) energija}} = \frac{\text{rad} + \text{izl. toplina}}{\text{ul. toplina}}$$

$$\eta_{en} = \frac{W + Q_{izl}}{Q_{ul}} = \frac{w + q_{izl}}{q_{ul}}$$

ENERGETSKI SUSTAV	η_{en}
<i>Parne elektrane (konvencionalno izgaranje)</i>	0,25-0,40 (0,45)
<i>Plinske elektrane</i>	0,20-0,35 (0,40)
<i>Dizelske elektrane</i>	0,35-0,45 (0,52)
<i>Elektrane s kombiniranim procesom</i>	0,45-0,55 (0,60)
<i>Kogeneracijske elektrane</i>	0,50-0,80 (0,90)

6.2. Eksergetska iskoristivost

❖ Za sustav koji proizvodi rad:

$$\eta_{eks} = \frac{\text{rad}}{\text{utrošena (iskorištena) eksergija}} = \frac{W}{E_{ks,ul} - E_{ks,izl}}$$

❖ Za sustav koji troši rad:

$$\eta_{eks} = \frac{\text{eks.dobivena (prirast)}}{\text{rad}} = \frac{E_{ks,izl} - E_{ks,ul}}{W}$$

❖ Za sustav koji ne proizvodi niti troši rad:

$$\eta_{eks} = \frac{\text{eks.dobivena (prirast)}}{\text{eks.utošena}} = \frac{\sum E_{ks,rad.fluid,izl} - \sum E_{ks,rad.fluid,ul}}{\sum E_{ks,pog.fluid,ul} - \sum E_{ks,pog.fluid,izl}}$$

➤ Za povratne (idealne) procese:

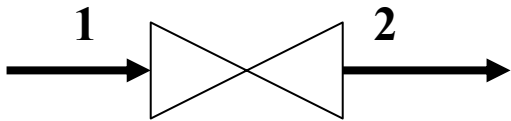
$$\eta_{eks, \max} = 1,0$$

➤ Za nepovratne (realne) procese:

$$\eta_{eks} < 1,0$$

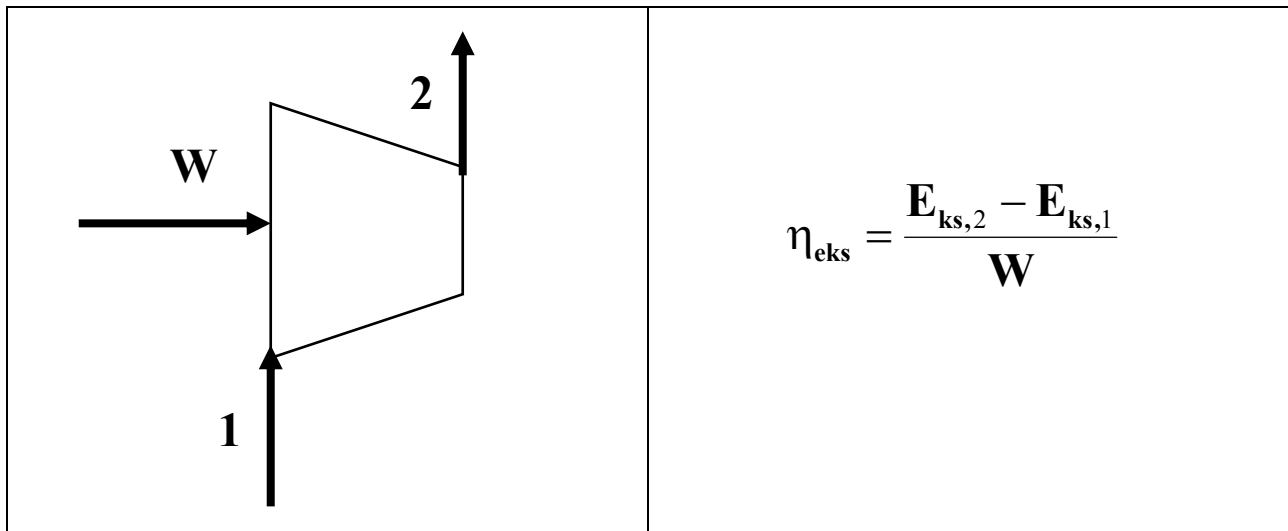
PRIMJERI:

➤ Prigušivanje (reducirni ventil):

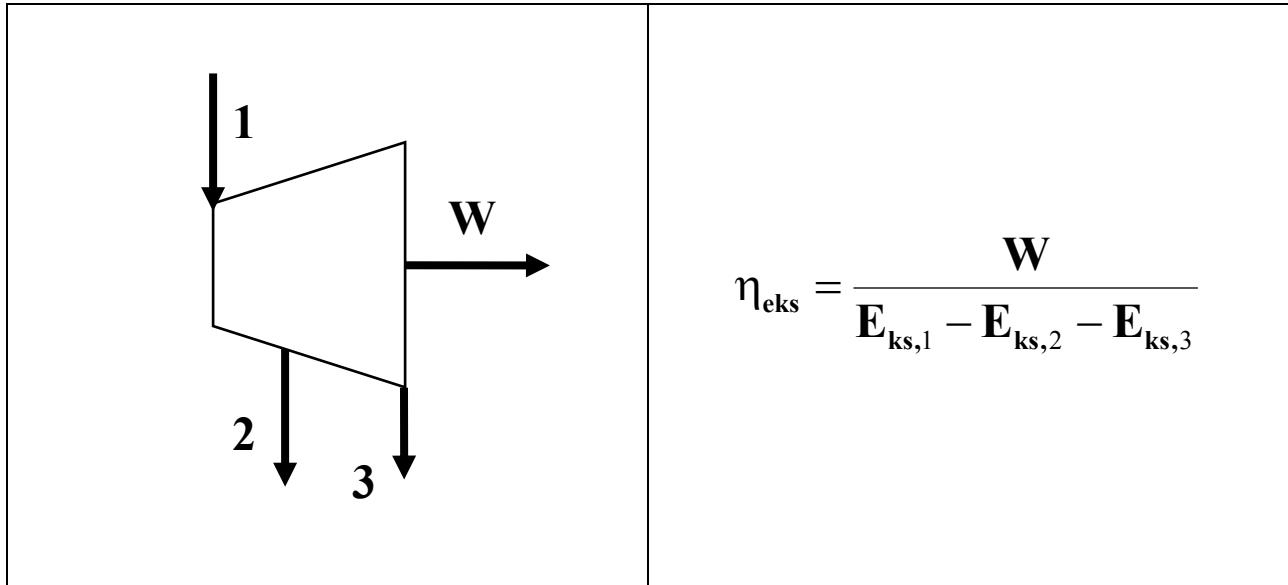


$$h_1 = h_2, \quad p_2 < p_1, \quad s_2 > s_1, \quad E_{ks,1} > E_{ks,2}, \quad \eta_{eks} = \frac{E_{ks,2}}{E_{ks,1}}$$

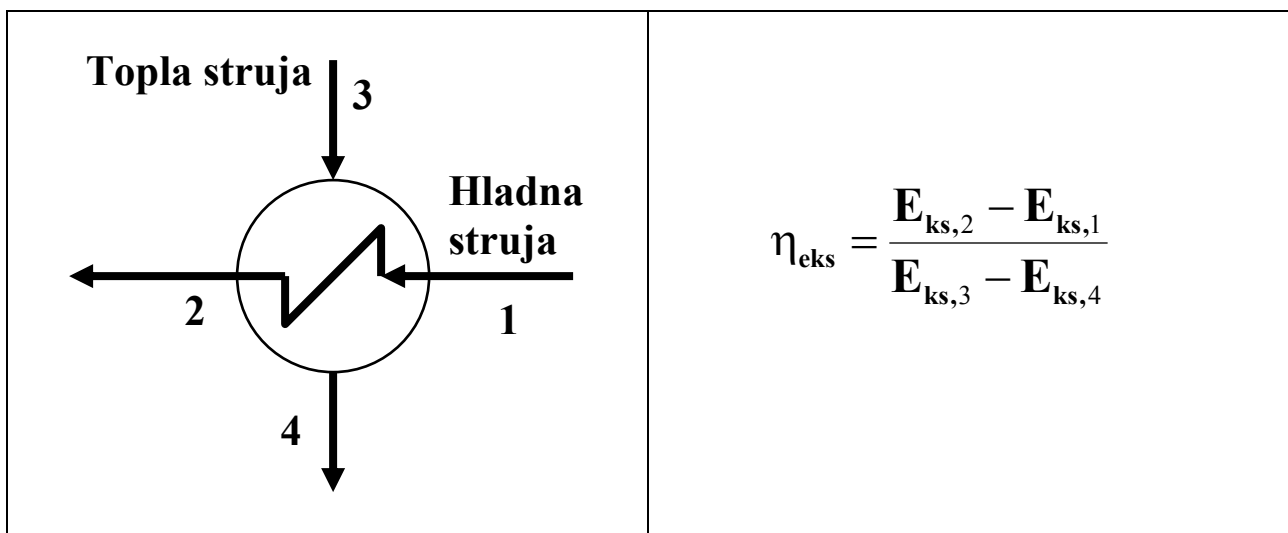
➤ Kompresor:



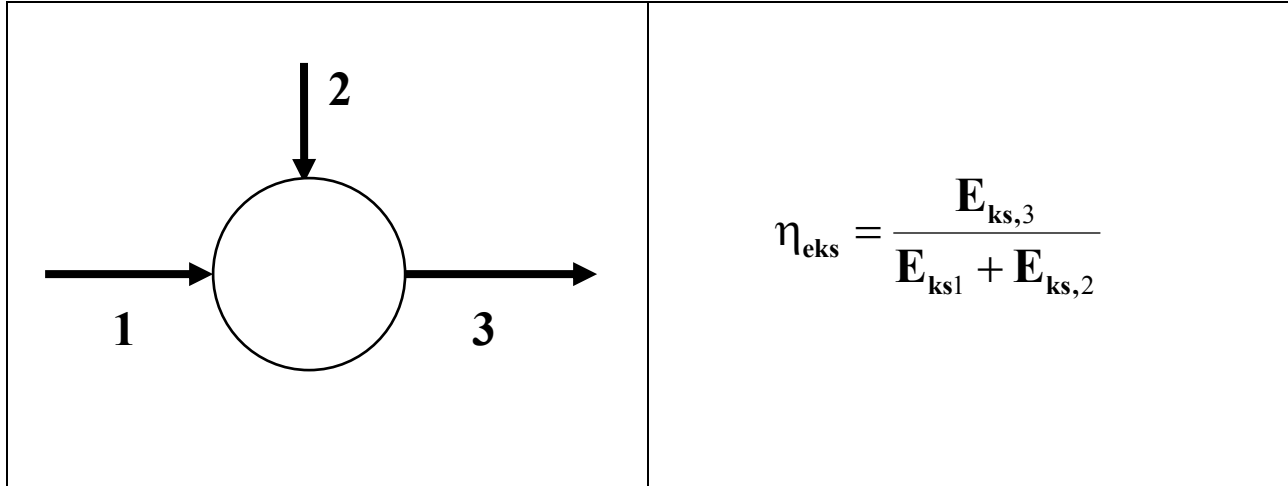
➤ Turbina



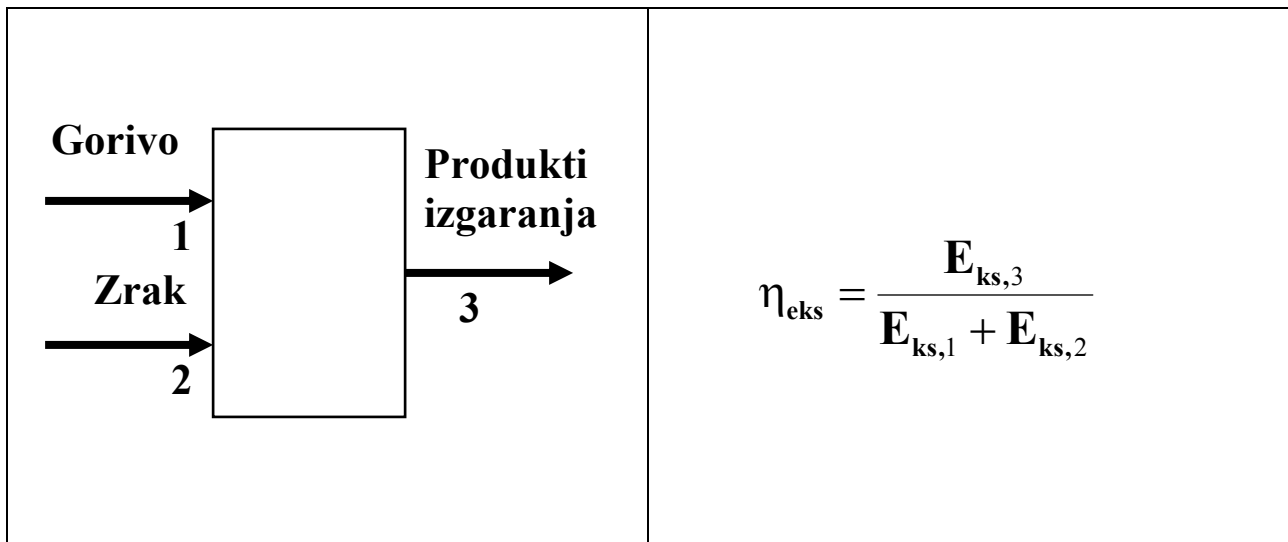
➤ Izmjenjivač topline (grijač)



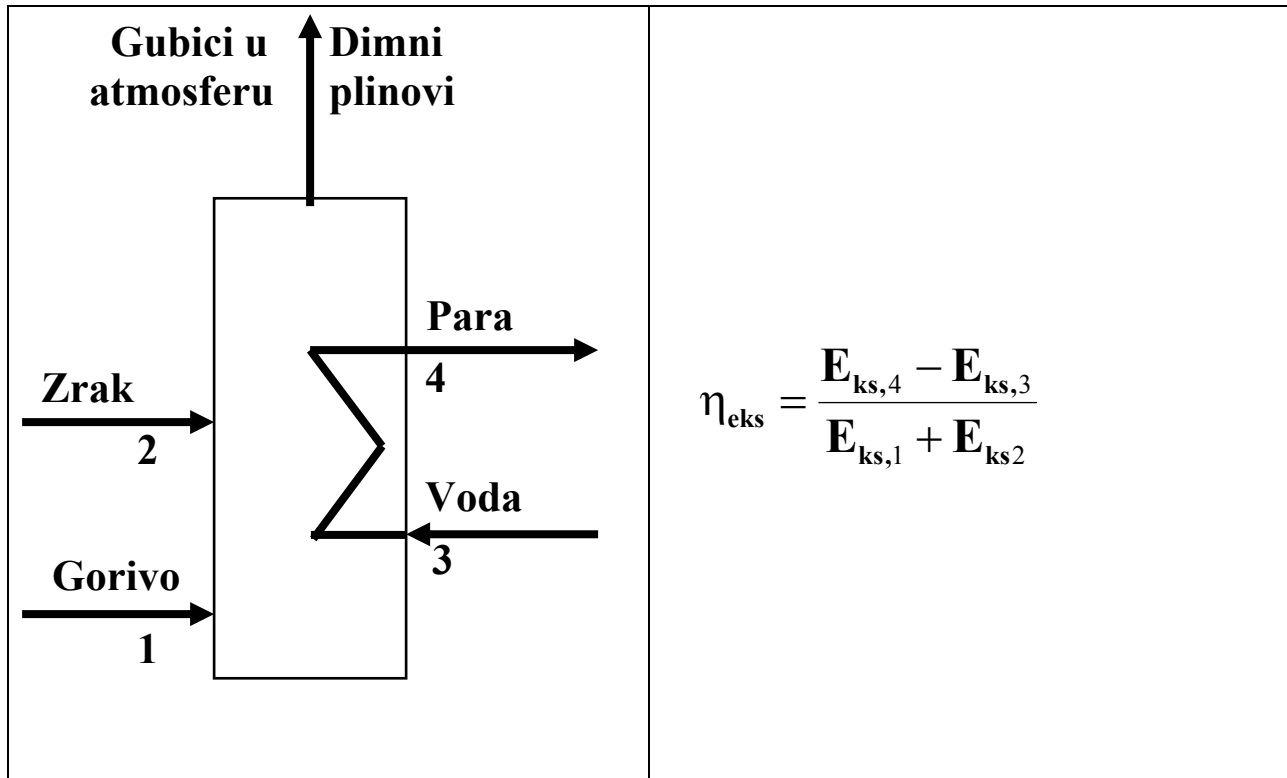
➤ Miješalica



➤ Ložište (komora izgaranja)



➤ **Generator pare**



➤ **Gubici energije i eksergije u pojedinim dijelovima parnih elektrana:**

POZICIJA	Gubici energije (%)	Gubici eksergije (%)
<i>Generator pare</i>	<i>6 - 12</i>	<i>48 - 52</i>
<i>Turbina</i>	<i>0</i>	<i>5 - 12</i>
<i>Kondenzator</i>	<i>48 - 52</i>	<i>2 - 4</i>
<i>Reg. zagrijači vode</i>	<i>0</i>	<i>1 - 3</i>

EFIKASNOSTI PRETVORBE ENERGIJE

