

EKSERGIJA - UNIVERZALNI POKAZATELJ UGROŽENOSTI OKOLINE?

*Nenad Kažić**

*U svijetu koji upravo
iscrpljuje svoje zalihe
fosilnog goriva, 2. Zakon
Termodinamike postaje
ključni naučni oslonac u 21.
vijeku.*

*Prof. David Goldstine, CalTech
1994 g. "NATURE"*

Ključne riječi: *eksergija, životna okolina.*

SAŽETAK:

U radu je analiziran koncept eksergije kao mogućeg generalnog pokazatelja ugroženosti okoline. Pokazuje se da, bilo da se radi o toplotnom zagrijavanju okoline ili o emisiji manje ili više štetnih materija, eksergija može da jednoznačno izrazi integralni uticaj svih ovih efekata na okolinu. Na taj način je umnogome olakšana analiza procesa u smislu njihove štetnosti po okolinu.

1. - UVOD

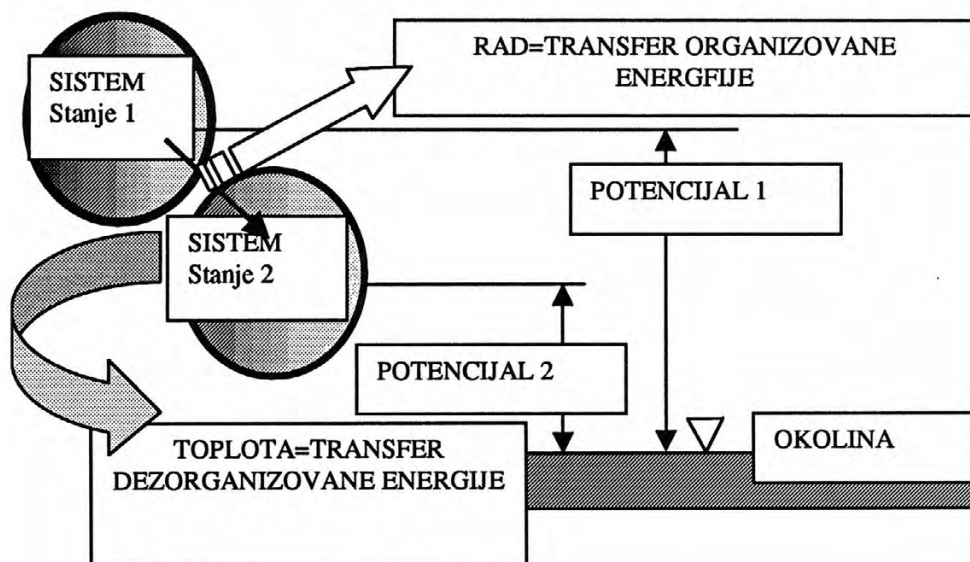
Danas, kada je konačno shvaćeno da su resursi kojima raspolaže čovječanstvo ograničeni, odnosno da se već može govoriti o danu kada će recimo nestati nafta ili gas, ponašanje ljudi u odnosu na okolinu postaje predmet pažnje ne samo nauke već i politike. Postali smo svjedoci da zabrinutost za sudbinu čovječanstva postaje globalno osjećanje koje mori kako razvijeni tako i nerazvijeni svijet. Razgovori koji se o tome vode i na najvišim državnim nivoima vrve od poruka kako treba štedjeti energetske i materijalne resurse kojima raspolažemo. Ovako sročene poruke impliciraju osjećanje da previše "trošimo" energiju i materijale kojima raspolažemo. Iako je lako shvatiti osnovni smisao ovako sročениh poruka, strogo govoreći one su pogrešno formulisane: implicitno one podupiru određene zablude u smislu: mi previše trošimo energiju, odnosno previše trošimo

* Prof. dr Nenad Kažić, Mašinski fakultet u Podgorici.

odgovarajuće materijale. Naime, mi energiju i materiju ne trošimo, mi ih samo transformišemo iz jednog oblika u drugi. Prema tome, kada se govori o štednji energije, u stvari se apeluje da što manje energije transformišemo u oblik koji je za nas neupotrebljiv. Isto važi i za materiju.

Ispravan stav čovjeka u odnosu na okolinu koja ga okružuje nezbježno mora sadržati i jasan odgovor na pitanje: Šta je to što pokreće svijet (pa i sam život), zašto se uopšte nešto događa i da li tome ima kraja? Mada u osnovi filozofsko pitanje, daleko bi nas odvela priča o raznim zabludama koje su postojale ili postoje danas u odnosu na ovu problematiku. Ipak, danas, kada je riječ o ovoj temi, prevladjuje nedvosmislen stav: svijet "pokreće" neravnoteža. Pri tome neravnotežu treba shvatiti u najširem smislu koji uključuje i materijalni i nematerijalni svijet. U krilu ovakvog shvatanja može se smjestiti široka lepeza ideja o postanku svijeta, čak i one sa teološkim predznakom.

Dakle, poznato je da ako je sistem u neravnoteži u odnosu na okolinu (Sl. 1), onda u procesu interakcije on teži spontano da dostigne stanje okoline, odnosno teži spontano da dodje u stanje termodinamičke ravnoteže u odnosu na nju.



Slika 1. - Promjena stanja sistema usled neravnoteže

Dakle, to je generalan smjer svih procesa.

Sa druge strane, kada se govori o energiji nekog sistema neizbježno se procjenjuje i "kvalitet" te energije. U stvari, pojam kvaliteta se veže za mogućnost transformacije jednog oblika energije u drugi, što opet zavisi od načina na koji je energija uskladištena u materiji: organizovani (uredjeni) oblik energije (kinetička i potencijalna) i dezorganizovani (neuredjeni) oblik energije (unutrašnja energija, termalno zračenje i hemijska energija). Ključna osobina organizovanog oblika energije jeste da se ta vrsta energije može transformisati u bilo koji oblik, u graničnom slučaju bez gubitaka. Kod neuredjenog oblika energije samo jedan dio se može transformisati u uredjeni oblik. Što se tiče transfera

energije, toplota predstavlja transfer dezorganizovane, dok rad predstavlja transfer organizovane energije.

Dakle, kada sistem mijenja svoje stanje od 1 do 2, u tom procesu se u principu javlja transfer energije: organizovane (rad) i dezorganizovane (toplota). Dobijeni rad nastaje kao rezultat smanjenja početnog potencijala u odnosu na okolinu koji je sistem imao na početku procesa.

U termodinamici se lako pokazuje da je sistem u neravnoteži "uredjen" sistem, odnosno obrnuto. Drugim riječima, tokom spontanog procesa se kviri neravnoteža koju sistem ima u odnosu na okolinu, odnosno kviri se njegova uredjenost. Uvodeći entropiju kao mjeru neuredjenosti sistema, formulisan je 2. Zakon termodinamike koji definiše smjer procesa u prirodi [4]:

"Dogadjaji (procesi) teku u smjeru povećanja neuredjenosti, odnosno entropije izolovanog sistema".

Pri tome se entropija (S) kvantitativno određuje prema formuli (1):

$$S [J / K] = -k \sum_1^{\Omega} p_i \ln p_i, \quad (1)$$

gdje je: $k [J/K]$ Bolcmanova konstanta, $p_i [-]$ vjerovatnoća pojave i -tog kvantnog stanja, $\Omega [-]$ broj kvantnih stanja koje čine odgovarajuće makro stanje.

2. - EKSERGIJA

Kao što je već rečeno, rad je transfer organizovane, a toplota dezorganizovane energije. Kako organizovani oblik može biti transformisan u bilo koji drugi oblik, to ona predstavlja "plemeniti" oblik energije. Eksergija se vezuje baš za taj pojam upotrebljivosti, odnosno ona predstavlja tu količinu organizovane energije koja predstavlja istovremeno potencijal koji posjeduje sistem u smislu dobijanja energije koja je dalje upotrebljiva bez ograničenja. Kad sistem posjeduje neorganizovani oblik energije, samo jedan dio iz te ukupne energije može biti izdvojen kao uredjeni oblik. Taj dio energije predstavlja eksergiju toga sistema.

2.1. - ISTORIJAT

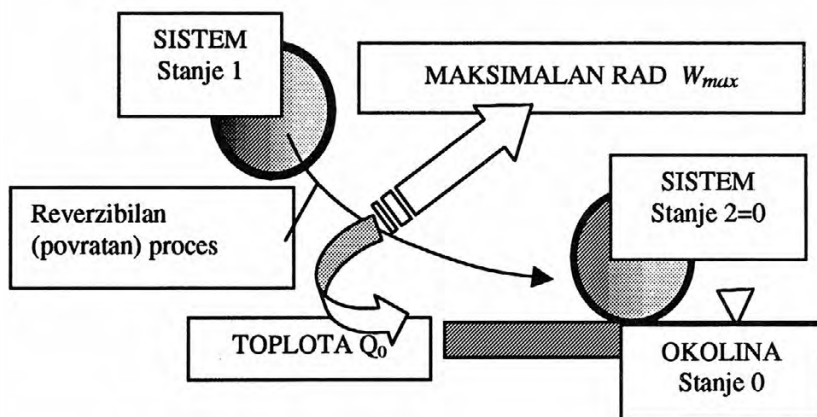
Mada se koncept eksergije najčešće tretira kao nova tehnika u analizi procesa, eksergija je po svojoj suštini blisko vezana za 2. zakon termodinamike. Drugim riječima, istorijski gledano, razvoj koncepta eksergije je pratio razvoj ideja na osnovu kojih je konačno definisan 2. zakon. Početna ideja o analizi energije zasnovana na njenoj upotrebljivosti se javlja 1868. g. (Clausius, Carnot, Thompson, Maxwell, Gibbs), mada se kao njen "rodjendan" često uzima 1889. g. (Gouy). Sve do 1938. g. ova problematika je bila u sjenci drugih termodinamičkih problema, kada je nagli razvoj industrije ponovo dovodi u centar pažnje. Radovi Bošnjakovića (1838, 1839) označavaju početak "nove ere" u primjeni 2. Zakona u analizi procesa. Termin "eksergija" koji označava potencijalnu radnu sposobnost sistema javlja se 1956 g. (Rant) i biva opšteprihvaćen na internacionalnom nivou. Od tada do danas je publikovan veliki broj radova i knjiga koje se bave eksergetskom analizom procesa u svim poljima ljudske aktivnosti.

2.2. - MAKSIMALAN RAD SISTEMA ILI RADNA SPOSOBNOST SISTEMA (W_{max})

Dakle, vidjeli smo da se iz sistema koji je u neravnoteži sa okolinom može dobiti rad kao transfer organizovane energije. Drugim riječima, sve dok sistem ne dodje u termodinamičku ravnotežu sa okolinom iz njega se može dobijati rad, odnosno organizovani oblik energije. Sljedeće logičko pitanje je: Da li postoji neki "najbolji" način promjene stanja sistema od početnog do ravnotežnog stanja u odnosu na okolinu, odnosno način promjene stanja tokom koga će se dobiti najviše rada (Sl. 2)?

Termodinamička analiza daje odgovor na ovo pitanje [4]:

- Maksimalan mogući rad tokom procesa dobija se ako sistem mijenja svoje stanje od početnog do konačnog (ravnotežno stanje u odnosu na okolinu) na povratan (reverzibilan) način.



Slika 2. - Maksimalan rad koji se može dobiti iz sistema

Drugim riječima, ovaj maksimalni rad predstavlja "radnu sposobnost" sistema, odnosno rad koji bi sistem mogao dati u idealnom slučaju. Naravno, zbog neizbježnog postojanja nepovratnosti (ireverzibilnosti) tokom procesa, stvarno dobijeni rad (W) je uvijek manji od maksimalno mogućeg (W_{max}):

$$W < W_{max} \text{ odnosno } W = W_{max} - \Delta W_{ir} \quad (2)$$

gdje je gubitak rada zbog nepovratnosti procesa (ΔW_{ir}) jednak proizvodu apsolutne temperature okoline i promjene entropije izolovanog sistema. To jest:

$$\Delta W_{ir} = T_0 \Delta S_{iz.sist} \quad (3)$$

Ako je proces povratan, tada je $\Delta S_{iz.sist} = 0$, odnosno

$$W = W_{max} \quad (4)$$

Po definiciji eksergija predstavlja radnu sposobnost sistema. Istovremeno to je maksimalan rad, odnosno organizovana energija koja se može dobiti tokom procesa u kome sistem u interakciji sa okolinom na povratan način dolazi u ravnotežno stanje u odnosu na nju:

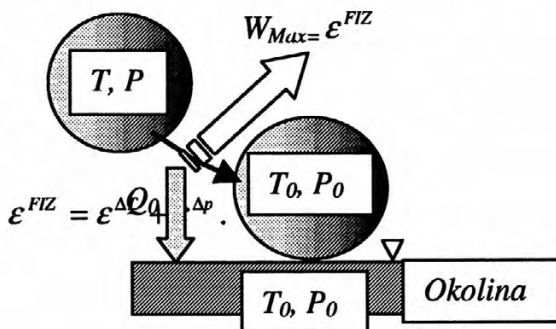
$$EKSERGIJA (\epsilon) = \text{MAXIMALAN RAD } (W_{max})$$

2.3. - FIZIČKA I HEMIJSKA EKSERGIJA

Eksnergija je posljedica neravnoteže sistema u odnosu na okolinu. Zavisno od vrste neravnoteže, sistem posjeduje fizičku (ϵ^{FIZ}) i hemijsku eksnergiju (ϵ^{HEM}) [3]:

$$\epsilon = \epsilon^{FIZ} + \epsilon^{HEM} \quad (4)$$

Kada je sistem u termičkoj (ΔT), odnosno mehaničkoj (Δp) neravnoteži u odnosu na okolinu, on posjeduje *fizičku* eksnergiju (Sl.3). Drugim riječima:



Slika 3. - Sistem posjeduje fizičku eksnergiju

Lako se pokazuje da je za zatvorene sisteme

$$\epsilon_{ZAT.SIS.}^{FIZ} = U_1 - U_0 - T_0(S_1 - S_0) + p_0\Delta V, \quad (6)$$

odnosno za otvorene

$$\epsilon_{OTV.SIS.}^{FIZ} = H_1 - H_0 - T_0(S_1 - S_0) + p_0\Delta V. \quad (7)$$

gdje je U [J] unutrašnja energija, S [J/K] entropija, p [Pa] pritisak, T_0 [K] apsolutna temperatura okoline, V [m³] zapremina sistema, H [J] entalpija.

Ako sistem ima drugačiji sastav u odnosu na okolinu (koncentraciona neravnoteža), sistem posjeduje hemijsku eksnergiju (ϵ^{HEM}), (Sl. 4). Po definiciji pritisak i temperatura sistema su isti kao okoline. Pri tome, po definiciji svaka supstanca u sistemu ima svoju referentnu supstancu sa odgovarajućom koncentracijom u okolini (na primjer: referentna supstanca za CH_4 je CO_2). Pri tome je eksnergija referentne supstance:

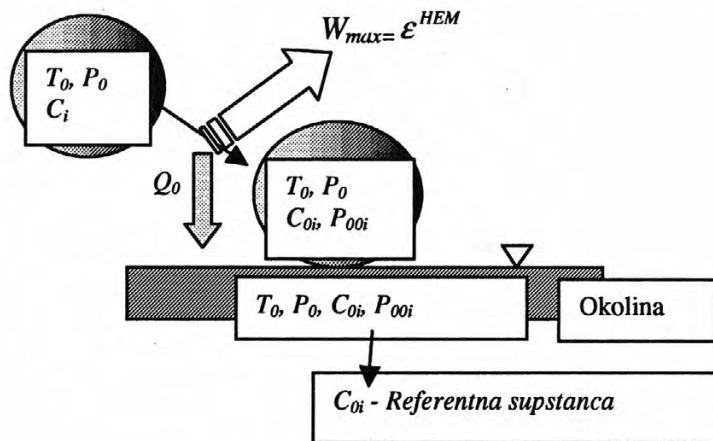
$$\epsilon_{O_i}^{HEM} = (MR)T_0 \ln \frac{p_{O_i}}{p_{00i}}, \quad (8)$$

gdje je (MR) [J kmol⁻¹K⁻¹] univerzalna gasna konstanta idealnog gasa, p_{O_i} [Pa] parcijalni pritisak i -te ref. supstance u smješi, p_{00i} [Pa] parcijalni pritisak i -te ref. supstance u okolini.

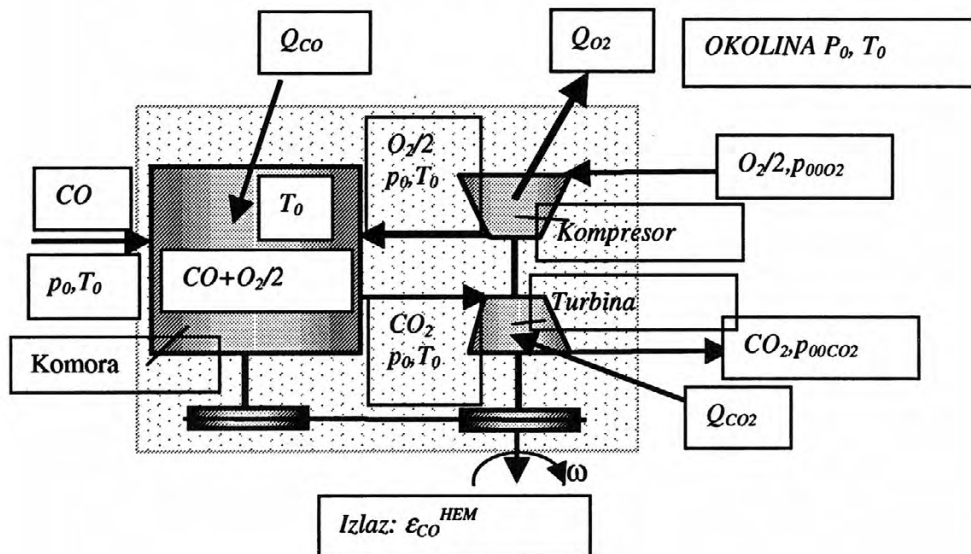
Hemijska eksnergija se može odrediti kao rad koji se može dobiti tokom povratne hemijske reakcije koja se odvija u Van't Hoff-ovoj komori [3]. Primjer određivanja eksnergije CO je prikazan na Sl. 5. Pri tome su referentne supstance u okolini CO_2 i O_2 sa odgovarajućim parcijalnim pritiscima p_{00CO_2} i p_{00O_2} , respektivno. Hemijska eksnergija se izračunava na osnovu izraza (9).

$$\varepsilon_{CO}^{HEM} = -(\Delta G_0)_{CO} + \varepsilon_{CO_2}^{HEM} - \frac{1}{2} \varepsilon_{O_2}^{HEM}, \Delta G_0 = \sum_{Prod} \nu_j g_j - \sum_{Reac} \nu_i g_i, \quad (9)$$

gdje je $G[J]$ Gibbs-ova funkcija, $\nu[kmol]$ - stehiometrijski koeficijenti reakcije, $g[J/kmol]$ specifična Gibbs-ova funkcija.



Slika 4: Sistem posjeduje hemijsku eksergiju



Slika 5. - Van't Hoff-ova komora i model reakcije CO sa O_2

Kada je riječ o gorivima, pokazuje se da je hemijska eksergija približno jednaka donjoj toplotnoj moći goriva, tj.:

$$\varepsilon^{HEM} \approx Q_d. \quad (10)$$

U Tabeli 1 [6] date su orijentacione vrijednosti eksergije nekih oblika energije:

Tabela 1

Oblik energije	Eksergija %
Potencijalna, Kinetička, Električna	100
Nuklearna	95
Solarna	93
Hemijska (Goriva)	≈1
Vodena para (600 C)	60
Centralno grijanje (90 C)	20-30
Otpadna toplota	5

Za materijale se hemijska eksergija određuje na osnovu izraza (11),

$$\varepsilon^{HEM} = \sum_i n_i (\mu_i - \mu_{i0}) = \sum_i n_i (\mu_i^0 - \mu_{i0}^0) + (MR)T_0 \ln \frac{C_i}{C_{i0}}. \quad (11)$$

gdje je n [kmol] broj kilomolova, μ [J/kmol] elektrohemijski potencijal, C [kmol/kmol] molarna koncentracija.

Naravno, što je neki materijal više "rasut" u okolini, odnosno što je okolina "zagadjenija" njime, to je i njegova eksergija manja. Ovo nas upućuje na to da i zagadjenje okoline određenim materijalom može biti izraženo kroz eksergetsku analizu.

U Tabeli 2 [7] su date hemijske eksergije nekih materijala.

Tabela 2

Oblik materijala	Eksergija %
Materijal u uredjenom stanju	100
Materijal u trgovini (Fe, Cu,...)	100
Mješavina: Če, Legure, Plastika	90
Bogati minerali	50-80
Rude	50
Siromašni minerali	25 -50
Minerali u morskoj vodi	0

3. - EKSERGETSKA ANALIZA

Energetski, odnosno eksergetski koncept se mogu izraziti na sljedeći način:

- Energija je kretanje ili sposobnost da se proizvede kretanje,
- Eksergija je rad ili sposobnost da se prizvede rad,
- Energija izolovanog sistema je const.,
- Eksergija ostaje očuvana u povratnim procesima, ali se "troši" u nepovratnim.

Sama energetska analiza nije dovoljna da bi se shvatio kvalitet nekog procesa. Naime, već je rečeno da energija tokom nekog procesa ostaje očuvana ali samo mijenja formu. Međutim, zavisno od forme u kojoj se nalazi energija za nas postaje manje ili više

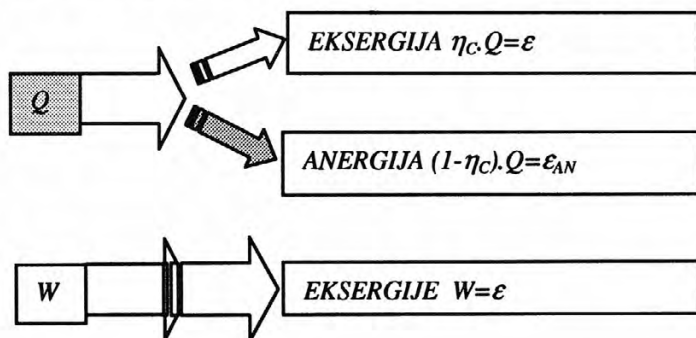
upotrebljiva. Tako recimo iz toplote (Q) može se dobiti samo ograničena količina rada [4], odnosno eksergije

$$\varepsilon = \eta_C Q = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q \quad (12a)$$

dok u slučaju rada (W) imamo

$$\varepsilon = W. \quad (12b)$$

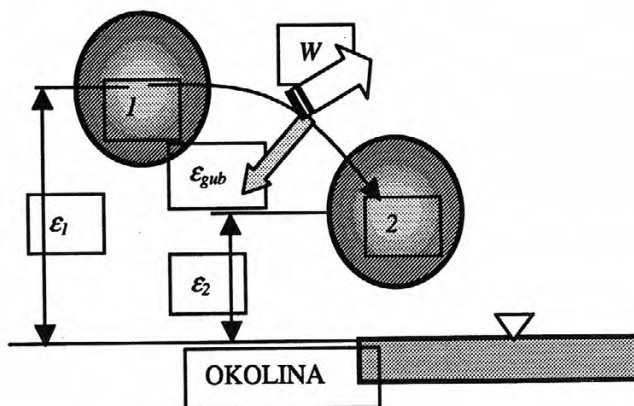
Kao što je već rečeno, način na koji je energija u nekom sistemu uskladištena (uredjen ili neuredjen) govori o kvalitetu energije koji sadrži sistem (Sl. 6). Drugim riječima, sistem posjeduje upotrebljivu (eksergija) i neupotrebljivu energiju (anergija):



Slika 6. - Eksergija koju sadrži toplota i rad

$$ENERGIJA(E) = EKSERGIJA(\varepsilon) + ANERGIJA(\varepsilon_{AN}).$$

Prema tome, na početku procesa sistem sadrži odgovarajuću eksergiju, koja zavisno od procesa može biti iskorišćena na bolji ili gori način. U svim realnim procesima uvijek postoje gubici eksergije koji su posljedica nepovratnosti (nesavršenosti) procesa. Tako, eksergetski bilans ima oblik (Sl. 7):



Slika 7. - Eksergetski bilans sistema

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \varepsilon_2 + W - \varepsilon_{gub}, \\ \varepsilon_{gub} &= T_0 \Delta S_{Izol.Sist.}\end{aligned}\quad (13)$$

gdje je $\Delta S_{Izol.Sist.}$ porast entropije izolovanog sistema tokom procesa.

4. - EKSERGETSKA EFIKASNOST

Slično energetskej efikasnosti, uvodi se i pojam eksergetske efikasnosti definisan kao izlaz/ulaz (Sl. 7). Pri tome najčešće su u upotrebi dvije varijante:

- Obična efikasnost

$$\eta_{ex}^0 = \frac{\text{Eksergija (ukupna) na izlazu}}{\text{Eksergija na ulazu}} = \frac{W + \varepsilon_2}{\varepsilon_1} = 1 - \frac{\varepsilon_{gub}}{\varepsilon_1}$$

- Racionalna efikasnost

$$\eta_{ex}^R = \frac{\text{Eksergija}^W \text{ na izlazu}}{\text{Eksergija na ulazu}} = \frac{W}{\varepsilon_1} \quad (14)$$

Samo značenje koeficijenata eksergetske efikasnosti je očigledno: oni pokazuju stepen očuvanja eksergije u procesu.

Za razliku od eksergetske, energetska efikasnost (η_e) daje sliku samo o odnosu dobijene kroz uloženu energiju, ne vodeći računa o kvalitetu energije:

$$\eta_e = \frac{\text{Zeljena Energija na izlazu}}{\text{Energija na ulazu}} \quad (15)$$

Razlika između energetske i eksergetske efikasnosti se najbolje vidi na slučaju električnog grijača (Sl. 8): dok je energetska efikasnost 1.0, eksergetska efikasnost je reda veličine 0.05.

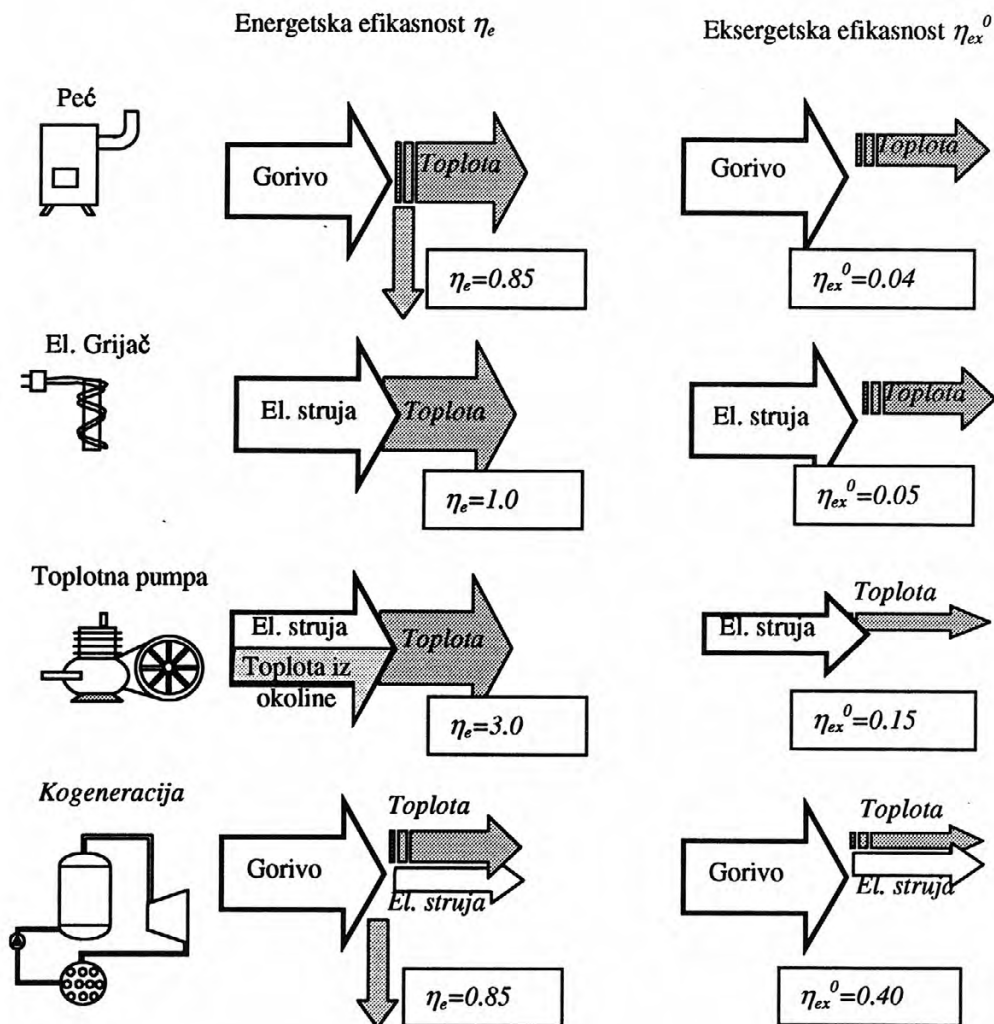
Objašnjenje je sljedeće: pretvarajući svu el. energiju u toplotu energetska efikasnost tog procesa je potpuna, odnosno energetska efikasnost je 1.0; sa druge strane, u procesu grijanja smo jedan uređeni oblik energije (el. energiju) preveli u toplotu, iz koje se samo može dobiti jedna ograničena količina uređenog oblika energije. Drugim riječima, u ovom procesu je uništen jedan veliki dio eksergije koju je sistem imao na početku.

Na Sl. 8 su prikazani razni primjeri energetske i eksergetske efikasnosti [7]. Treba napomenuti da je pri definiciji energetske efikasnosti toplotne pumpe uzeto da je uložena energija na ulazu samo el. energija, odnosno nije uzeta u obzir toplota uzeta iz okoline. Otuda energetska efikasnost toplotne pumpe 3.0, što je na prvi pogled paradoks.

5. - EKSERGETSKA ANALIZA NA BAZI ŽIVOTNOG CIKLUSA POSTROJENJA (PROIZVODA) (Life Cycle Exergy Analysis -LCEA)

Ovaj (LCEA) metod [1] prati ulaz i izlaz eksergije tokom životnog vijeka postrojenja, počev sa projektovanjem, eksploatacijom i na kraju njegovom demontažom - "čišćenjem". Na ovaj način je moguće sagledati integralni uticaj cjelokupnog procesa na okolinu. Eksergetski tok se može podijeliti u više faza tokom vremena. Prvo dolazi faza projektovanja i konstrukcije koja obuhvata proces od početne ideje do puštanja u rad

pogona. Tokom ove faze ($0 \leq \tau \leq \tau_{Start}$) troši se eksergija ili se skladišti u obliku metala itd. Eksergetski ulaz koji se koristi za ovu početnu fazu, održavanje i demontažu naziva se "indirektna eksergija" (ϵ^{Ind}). Kada se postrojenje pusti u rad (recimo termoelektrana) ono proizvodi eksergiju (ϵ^{Prod}) na račun direktne ulazne eksergije (gorivo) (ϵ^{Ulaz}). Pri tome su moguća dva slučaja: direktna ulazna eksergija je (a) neobnovljiva i (b) obnovljiva.



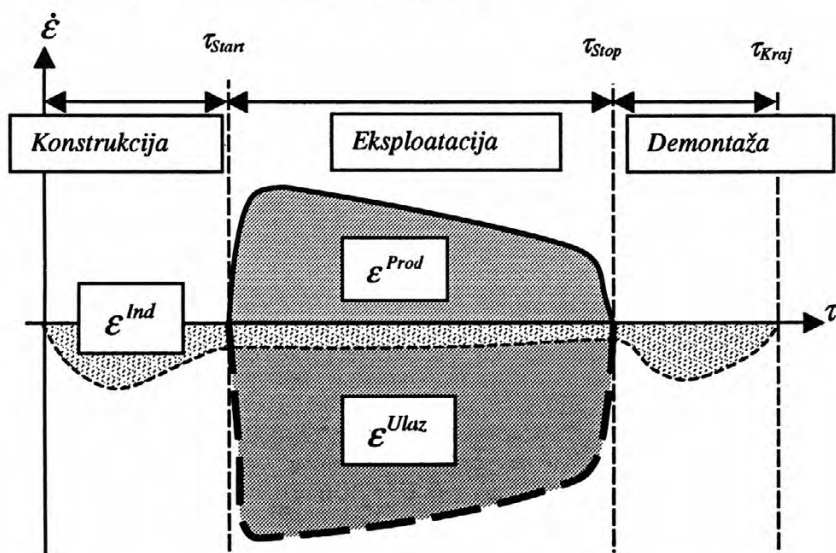
Slika 8. - Primjeri energetske i eksergetske efikasnosti

5.1. - (a). NEOBNOVLJIVI IZVORI DIREKTNE EKSERGIJE

U ovom slučaju (Sl. 9), proizvedena eksergija je manja od uložene, uzimajući cjelokupni životni ciklus postrojenja:

$$\sum \epsilon^{Prod} < \sum \epsilon^{Ind} + \sum \epsilon^{Ulaz} \quad (16)$$

Prema tome, konačan bilans cjelokupnog poduhvata se svodi na to da je jedan dio eksergetskog potencijala koji je postojao na početku, degradiran, što će se u nekom vidu odraziti kao loš uticaj na okolinu (zagađenje, zagrijavanje i sl.).

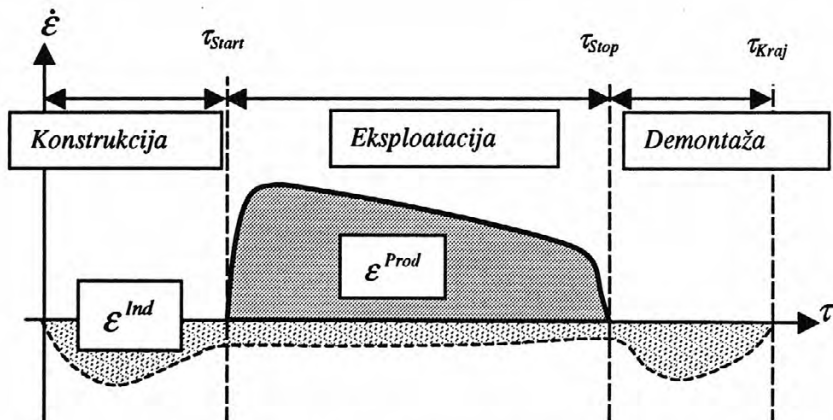


Slika 9. - Ulaz i izlaz eksergije tokom životnog ciklusa
a. Neobnovljivi izvori energije

5.2. - OBNOVLJIVI IZVORI DIREKTNE EKSERGIJE

Po definiciji, eksergija iz obnovljivih izvora ne ulazi u bilans (Sl. 10). Drugim riječima, pošto se dobija besplatno, ona i nije predmet bilansne računice. Prema tome, proizvedena eksergija se dobija iz ove "besplatne", pa i neto stvorena eksergija je >0:

$$\sum \epsilon_{Neto}^{Prod} = \sum \epsilon^{Prod} - \sum \epsilon^{Ind} \quad (17)$$

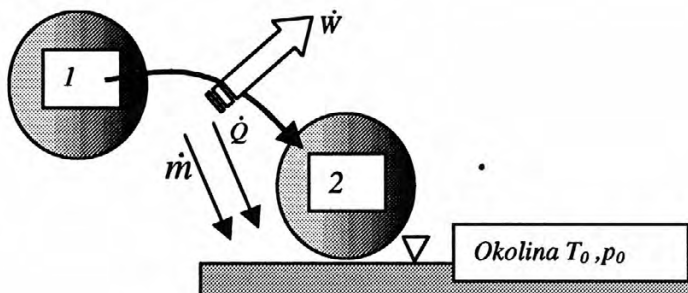


Slika 10. - Ulaz i izlaz eksurgije tokom životnog ciklusa
b. Obnovljivi izvori energije

6. - EKSERGIJA KAO UNIVERZALNI POKAZATELJ UTICAJA NA OKOLINU

Destrukcija eksurgije koja je posljedica procesa interakcije (materijalna i energetska) između sistema i okoline (Sl. 11) svodi se na bilans $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 > 0$. Smanjenje eksurgije sistema se u krajnjoj liniji manifestuje kao zagađenje okoline. To zagađenje se danas implicitno izražava kroz mnoštvo pokazatelja:

- emisija određenih produkata sagorijevanja (CO_2 , SO_2 , NO_x , CO , itd),
- termalno zagađenje voda,
- emisija različitih štetnih materija, itd.



Slika 11. - Destrukcija eksurgije

Na prvi pogled svi gore navedeni uzroci zagadjenja su različiti i zahtijevaju strogo specificirane propise. Međutim, problem nastaje kada više ovakvih prividno nezavisnih faktora integralno djeluje na određenu pojavu. Na primjer, kako izraziti uticaj zagrijevanja okoline i koncentracije određenih (štetnih) materija na, recimo, riblju populaciju?

Eksergija (njena destrukcija) može poslužiti kao univerzalni pokazatelj ugroženosti okoline od strane pojedinih aktivnosti!

Destrukcija eksergije predstavlja istovremeno porast entropije (neuredjenosti), odnosno zagadjenja:

DESTRUKCIJA EKSERGIJE=PORAST ENTROPIJE= ZAGADJENJE OKOLINE

Prema tome, u cilju zaštite okoline mogla bi se uvesti taksa [2] kojom bi se oporezovala eksergetska destrukcija, odnosno zagadjenje okoline. Analogno taksi VAT (Value Aided Tax), uvela bi se EAT (Entropy Aided Tax).

LITERATURA

- [1] M. Gong, G. Wall: "On Exergetics and Optimization of Technical Processes to Meet Environmental Conditions", *TAIES'97*, Beijing, China, 1997.
- [2] G. Hirs, *Exergy Loss-a Basis for Energy Taxing*, University of Twente 2001.
- [3] T.J. Kotas, *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*, Butterworths, London 1985.
- [4] W. Reynolds, *Thermodynamics*, Mc Graw Hill's, 1965.
- [5] E. Schrodinger, *What is life?*, Cambridge University Press, 1944.
- [6] G. Wall: "Exergy, Ecology and Democracy", *ENSEC' 93*, Krakow, Poland, July 5-9, 1993.
- [7] G. Wall: "Exergy-A Useful Concept Within Resource Accounting", Report no. 77-42, Inst. of Theoretical Physics, Goteborg, Sweden

EXERGY - THE UNIVERSAL MEASURE OF ENVIRONMENTAL IMPACT?

ABSTRACT:

In this paper, the concept of exergy as possible universal measure of environmental impact is analyzed. It is shown that in the case of thermal or material pollution, the integral effect of these processes and their potential environmental impact could be evaluated through exergy. In this way, the analysis of the environmental performance of many processes is improved.