

Koncept "energije za energiju" ili ukupna energetska racionalnost

I. Dekanić

PREGLANI ČLANAK

U radu se analizom različitih teorija energetske racionalnosti sveukupnog gospodarstva analizira globalna ekonomika odnosno energetska bilanca u proizvodnji energije i utrošku energije za dobivanje energije. Ovaj analitički pravac započeo je još analizama Rimskog kluba iz 70-ih godina XX. stoljeća, a zatim se povremeno obnavljao kroz različite koncepte, od teorije održivog razvoja i očuvanja resursa do teorije o vrhuncu proizvodnje nafte i teorije "energetske litice" koja dokazuje kako ukupna proizvodnja ugljikovodika postaje energetske sve manje racionalna. Analiza utroška energije za energiju postat će značajan segment budućih energetske analiza i energetske politika u budućnosti.

Ključne riječi: energija, koncept "energetske litice", koncept "energija za energiju", ukupna energetska racionalnost

1. Uvod

Postoje primarni, transformirani i korisni oblici energije. Primarni oblici koriste se u obliku u kako se pojavljuju, transformirani se pretvaraju u oblike pogodnije za korištenje, dok se pojmom korisni oblici označavaju oni koji su pogodni za svrsishodnu upotrebu, te koje kupci kupuju na energetskim tržištima. Ogrjevno drvo, ugljen ili prirodni plin može se koristiti u svojem prirodnom obliku, dok se nafta u većini slučajeva mora transformirati u pogodnije oblike, poput benzina, dizelskih goriva ili loživog ulja. Također, energija se transformira zbog pogodnijeg transporta.¹

Osnovi pojmovi sistematizacije energije prikazani su na slici 1.

Primarni oblici energije su oni koji se koriste u obliku u kojem se pojavljuju u prirodi, poput ogrjevnog drveta, ugljena ili prirodnog plina. Neki autori nazivaju ih i prirodnim oblicima energije.² No, samo neki od oblika energije mogu se koristiti u obliku u kojem se pojavljuju u prirodi. Najvažniji među njima su glavna tradicionalna goriva, poput drveta i ugljena, a sve više i prirodni plin.

Ostali izvori energije ne mogu se iskorištavati u oblicima kako se pojavljuju u prirodi, već se transformiraju u tehnički pogodnije, sigurnije ili ekonomičnije oblike u kojima se koriste. Zajednička osobina postupaka i postrojenja za energetske transformacije je u tome što se primarne izvore energije transformiraju u oblike pogodnije za korištenje radi zadovoljavanja potreba.

Jedna od zakonitosti proizvodnje i potrošnje energije (u gospodarskom smislu) "na višem stupnju privrednog razvoja sastoji se u tome što se sve više energije koristi u transformiranom obliku".³ Nadalje, kako se sve energetske transformacije odvijaju uz tehnički učinak koji je manji od 1, suma dobivene transformirane energije koja se može korisno upotrijebiti u transportu, industriji ili domaćinstvu uvijek je manja od količine primarne energije. Zbog toga u suvremenoj ekonomiji učinkovito korištenje energije postaje jednim od glavnih kriterija održivosti ekonomskog razvoja.

U svim procesima korištenja energije osobito važno je mjerenje i mjere koje se pri tome koriste. To podjednako vrijedi za tehničke sustave i eksploataciju energetske trošila i za ekonomiku energetike, za evidentiranje energije u industrijskim postrojenjima i pogonima kao i u transportu.

Stoga su jedinice za energiju i poznavanje točnog odnosa između jedinica za energiju u različitim mjernim sustavima neobično važni za energetske izračune, usporedbe a tako i za ekonomiku energije. Profesor I. Kolin s Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, je duhovito pokazao energetske ekvivalente najčešće korištene jedinice za energiju u SI mjernom sustavu od 1 kWh, uspoređujući mehanički rad korištenjem energije s prizorom iz Božanske komedije Dantea Alighierija. Za isti taj rad dovoljna je energija samo 86 g dizelskog goriva, a faksimil je s izvornog crtež prikazan na slici 2.

Mjerenje i egzaktno preračunavanje mjerila potrošnje energije jedno su od ključnih pitanja makroekonomske analize kao i ekonomike energetike općenito. Bez egzaktnog preračunavanja kao i logičkog tumačenja izmjerenih veličina, teško je zamisliti ozbiljnu analizu učinkovitosti korištenja energije.

2. Korištenje energije i porast potrošnje energije

Tijekom proteklih stoljeće i pol potrošnja energije stalno je rasla, da bi se taj porast naročito ubrzao u drugoj polovici XX stoljeća. Potrošnja energije u svijetu utrostručena je u prvoj polovici i učeterostručena u drugoj polovici XX stoljeća, da bi se taj rast nešto usporio tek na prelasku u XXI i u prvoj XXI stoljeća. Sad se sve više traže predviđanja budućih energetske scenarija.

Za očekivati je kako će potrošnja energije i dalje rasti, unatoč njezinu poskupljenju i globalnoj gospodarskoj krizi jer je malo vjerojatno kako će zemlje u razvoju odustati od industrijskog razvitka. U ekonomskim okolnostima u kojima procesi globalizacije i transfer techno-

logija, roba i usluga potječu novi industrijski razvitak, gospodarski odnosi omogućuju širenje tržišta i potrošnje. U takvim okolnostima jedini izlaz iz sadašnje gospodarske krize za razvijene zemlje Europe i Sjeverne Amerike je porast izvoza industrijskih proizvoda i tehnologije. Zbog toga se može očekivati kako će potrošnje energije i dalje rasti.

U većini projekcija i predviđanja, očekuje se kako će se globalna energetska potrošnja rasti tijekom sljedećih nekoliko desetljeća, osobito nakon izlaska iz recesije. Veći dio budućeg porasta energetske potrošnje širom svijeta očekuje se u zemljama u razvoju, odnosno izvan područja zemalja OECD (Sjeverna Amerika, Zapadna Europa i istočna Azija). U zemljama Azije, centralne i Južne Amerike očekuje se ubrzan rast potrošnje energije u iduća dva desetljeća, uz više od polovice ukupnog svjetskog porasta. Predviđa se kako će energetska potrošnja industrijaliziranog svijeta stagnirati ili vrlo umjereno rasti.^{4,5,6}

Ukupna potrošnja primarne energije u svijetu iznosila je 2010. oko 12 milijardi tona godišnje, svedeno na ekvivalentne tone nafte (toe). U tome 4 milijarda tona ili 34% otpada na naftu, 24% na prirodni plin, 30% na ugljen, 7% na električnu energiju dobivenu iz hidroelektrana odnosno vodnih snaga, kao i ostalih obnovljivih izvora energije, te 5% na električnu energiju dobivenu nuklearnom fisijom. Nakon znatnog pada potrošnje energije u 2009. kao posljedice financijske krize i gospodarske recesije, koja je uslijedila u razvijenim zemljama, potrošnja energije u 2010. ponovno počela rasti te je povećana na oko 12,5 milijardi toe.^{7,8}

Struktura ukupne potrošnje energije u svijetu prikazana je na slici 3.

Analiza stupnja djelovanja energetske transformacije i upotrebe transformirane energije u pogonskim strojevima predstavlja bit ekonomiziranja ukupnim korištenjem energije, od dobivanja primarnih oblika energije, preko energetske transformacije do korištenja energije, odnosno utroška energije u ekonomskom smislu, u energetske trošilima odnosno pogonskim strojevima za korištenje energije. Složenost izračuna ukupne učinkovitosti različitih izvora energije i ukupne učinkovitosti energetske supstituta za sada se rješava komparacijom troškova i proizvodne cijene alternativnih pogona.

Prema tome, analiza energetske učinkovitosti pojedinih gospodarskih sektora ili cjelokupnog gospodarstva tek je na početku svoje univerzalne šire primjene u gospodarskom planiranju. Za sada se provode komparativne analize usporedivih oblika korištenja energije, odnosno međusobno zamjenjivih oblika energije. Ocjene energetske učinkovitosti cjelokupnog gospodarstva obavljaju se uspoređivanjem potrošnje energije i novostvorene vrijednosti odnosno društvenog proizvoda. Takve analize mogu se raditi za gospodarske sektore, ili za gospodarstvo u cjelini, obično usporedbom rasta potrošnje energije u odnosu na porast bruto domaćeg proizvoda.

3. Iscrpljivanje fosilnih izvora energije

Problem iscrpljivanja najboljih ugljenokopa ili rudišta star je koliko i rudarenje. Profesor A. Zambelli 50-ih

godina XX stoljeća formulirao je iskustvena gledišta o iscrpljivanju mineralnih resursa na sljedeći način: "Sva rudišta imaju svoju životnu dob, odnosno, u rudištu se nalazi samo stanovita korisna količina mineralne sirovina. U rudištu, koje se počne iskorištivati, rudne supstance biva sve manje i manje, do njezinog konačnog iscrpljivanja".⁹ Problem iscrpljivanja prirodnih izvora je aktualizirala industrijalizacija i intenzivna eksploatacija fosilnih resursa, a osobito sve intenzivnije korištenje fluidnih ugljikovodika tijekom proteklog stoljeća i pol. Tijekom većeg dijela XX stoljeća gospodarski rast bio je neupitan. Vjerovalo se kako će znanstveni i tehnološki razvitak riješiti sve prepreke tom razvitku. Tek su energetske krize ponovno pobudile interes za propitivanje rasta i potaknule primjenu teorije o ograničenim materijalnim resursima na prirodne izvore, poput ekološkog potencijala Zemlje ili energetske izvore.

Prvi koji je postao poznat po procjenama o smanjivanju buduće proizvodnje ugljikovodika je američki geolog i geofizičar Marion K. Hubbert. On je 1956. postavio tezu kako se ukupna američka i svjetska proizvodnja nafte može opisati krivuljom sličnom krivulji normalne raspodjele i objavio predviđanja proizvodnje nafte u SAD-u i u svijetu. Izračunao je kako će oko 1970. doći do vrhunca proizvodnje nafte u SAD-i i da će se nakon toga smanjivati američka, a početkom XXI. stoljeća i ukupna svjetska proizvodnja nafte. Po njemu je krivulja koja opisuje globalnu proizvodnju nafte u vremenu, nazvana Hubbertovom krivuljom, a maksimalna proizvodnja Hubbertovim vrhuncem.¹⁰

Hubbertova krivulja za proizvodnju nafte u svijetu prikazana je na slici 4.

Ovaj problem je pobudio globalni interes nakon izvještaja istraživačke skupine s Massachusetts Institute of Technology za nacrt Rimskog kluba o dilemama čovječanstva, koji je objavljen u knjizi "Granice rasta" 1972.¹¹ Pri tome se analizirao eksponencijalni gospodarski rast i to usporedilo s projekcijama raspoloživih prirodnih izvora. Iz ograničenosti hrane i ostalih prirodnih izvora izvedena su ograničenja za dugoročno održiv gospodarski rast. Ta su istraživanja postala popularna 70-ih i 80-ih godina, ali su nakon pojefinjenja nafte 1986. i potisnuta u zaborav. To je trajalo sve do početka XXI. stoljeća i obnove globalnog interesa za održivi razvoj.

Još 1997. britanski geolog Colin J. Campbell objavio je studiju "Dolazeća naftna kriza" (The Coming Oil Crisis) u kojoj je reafirmirao Hubbertova stajališta o skorom vrhuncu svjetske proizvodnje nafte, opadanju i postupnom iscrpljivanju rezervi.¹² Campbell je 2001. osnovao Udrugu za proučavanje vrha proizvodnje nafte i plina (Association for the Study of Peak Oil&Gas). Iste godine američki geolog Kenneth S. Deffeyes objavio je knjigu "Hubbertov vrhunac: svijetu prijeti nestašica nafte".¹³

Ubrzo nakon toga sve se više pisalo o iscrpljivanju energetske izvora, globalnom zatopljenju, te ograničenjima koja proizlaze iz potrebe očuvanja okoliša i ostalim prirodnim, tehnološkim i bilančnim ograničenjima intenzivne upotrebe fosilnih izvora energije. Povećana potrošnja energije i sve intenzivnije negativne posljedice industrijalizacije na okoliš utjecali su i na reafirmaciju teorije održivog razvitka, koja je formuli-

rana 80-ih ali je u 90-im godinama potisnuta u pozadinu. Problemi iscrpljivanja energije i rasprava o krivulji crpljenja nafte jedno su od glavnih proturječna suvremene energetske paradigme.

4. Teorija "energetske litice" i koncept "energija za energiju"

Tijekom proteklog desetljeća, globalne energetske odrednice promijenile su polazišta za buduće energetske politike. Američka plinska revolucija, tj. proizvodnja prirodnog plina iz nekonvencionalnih ležišta ponovno je dovela SAD na čelo svjetske proizvodnje plina, stvorivši mogućnosti za re-industrijalizaciju na temelju jeftine energije. U Europi se razvila tehnologija i proizvodnja opreme za dobivanje električne energije iz obnovljivih izvora, ali istodobno je ekspanzija proizvodnje i korištenja ugljena u Kini, Indiji i drugim zemljama u razvoju dovela do nekontrolirane emisije CO₂ i ostalih stakleničnih plinova. Stoga redukcija emisije u razvijenom dijelu svijeta, koji ionako već troši manji dio ukupne energije, skoro da i nema mnogo smisla u globalnoj bilanci onečišćenja eko-sustava Zemlje.

Uz to, raspravom o vrhuncu proizvodnje nafte (engl. Peak Oil), kojom je oživljena Hubbertova teorija počinje propitivanje energetske bilance pojedinih energenata. Zabrinutost nepovoljnim klimatskim promjenama povezuje se s korištenjem fosilnih izvora energije. Pri tome se sve izravno povezuju teorija vrhunca proizvodnje ugljikovodika s teorijom o iscrpljivanju prirodnih resursa. Tako je ova problematika postepeno oblikovana u teoriji takozvane energetske litice (engl. Energy Cliff).

Početak je bio koncept energetske povrata investicija u energiju (engl. Energy Return on Investment - EROI) koji je u recentnom obliku u proteklih 10-ak godina osmislio američki ekolog Charles A. S. Hall.¹⁴ Ovom teorijom se istražuje omjer koliko je energije potrebno za dobivanje energije u finalnoj potrošnji.

Koncept EROI Charlesa Halla prikazan je na slici 5.

Treba naglasiti kako je ova ideja vrlo bliska konceptu "energija za energiju" hrvatskog energetičara Hrvoja Požara, koji je osmišljen i diskutiran u još u drugoj polovici 80-ih godina XX. stoljeća, ali stjecajem okolnosti ni profesor H. Požar ni ostali energetičari iz zagrebačkog energetskeg analitičkog kruga nisu ga tada sustavno analizirali ni publicirali.

Izračunavanje neto uložene energije za dobivenu energiju (EROI) podrazumijeva makroekonomsku analizu ukupne bilance energije prema jednadžbi:

Neto dobivena energija $E_{neto} = E_{dobivena} - E_{uložena}$;

pri čemu je energetske povrat investicije jednak odnosu dobivene energije i energije uložene u njezino dobivanje.

Koncept energetske litice za proizvodnju energije iz različitih vrsta fosilnih goriva je prikazan na slici 6. Proizlazi da je dobivena energija u odnosu na uloženu sve manja, kako eksploatacija ugljikovodika zalazi u dublje slojeve Zemlje ili sve dublja podmorja, ili sve složenija ležišta sa sve skupljim istraživanjem, razradom i pridobivanjem. Na krivulji je prikazan i odnos uložene i dobivene energije kod proizvodnje električne energije iz za sada glavnih izvora obnovljive energije: vjetra i Sunca.

Sličnim metodama mogu se analizirati bilance svih energenata koji se koriste u suvremenoj energetici. Broj energetske transformacije u tehnološkom procesu istraživanja, razvoja, pridobivanja, transporta, distribucije i korištenja energije zakonito smanjuje ukupni odnos dobivene i uložene energije, jer svaka transformacija ima koeficijent korisnog učinka manji od 1. Tehničko polazište odnosa materijalnih resursa i energije profesor H. Požar je formulirao ovako: "U principu, naime, mogu se sve kemijske osnovne tvari iskorištavati u zatvorenom ciklusu, ali je za njihovu ponovnu pripremu potrebna energija."¹¹

Pri tome se postavlja pitanje koji dio pripreme tehnologije i proizvodnje opreme treba uključiti u analizu uložene energije za dobivenu energiju. Je li potrebno uključiti energiju u dobivanje aluminija u proizvodnji krila za vjetrenjače? Treba li računati i energetske trošak u tehnološki razvitak i proizvodnju tankih reflektirajućih folija za foto-naponske elektrane? Sve su to dileme koje energetska analiza još nije jednoznačno riješila.

Ako usporedimo globalne bilance korištenja energije tijekom protekla 4 desetljeća iz analiza Međunarodne agencije za energiju, dolazi se do zanimljivih činjenica. Odnosi korištenja primarnih izvora energije i finalne potrošnje ne pokazuju napredak u raspolaganju ukupno iskorištene energije.

Potrošnja energije u zemljama OECD-a, je od 1973. do 2010. malo je porasla, ali uz značajan tehnološki razvitak, uvećanje nove vrijednosti i unaprjeđenje proizvodnje energetske opreme i povećanje energetske transformacije (porast električne energije za dva i pol puta), Zabilježen je znatan napredak iskorištenja energije u finalnim trošilima, poput energetske učinkovitijih automobila, zrakoplova i električnih strojeva.

Bilance finalne potrošnje energije naspram primarne energije ne pokazuje bitno učinkovitije korištenje finalne u odnosu na ukupnu primarnu energiju. Tako je; prema podacima Međunarodne agencije za energiju (engl.: International Energy Agency - IEA) udio finalne potrošnje energije OECD-a u 2010. godini u odnosu na "ulaz" primarne energije iznosio oko 68% (3,666 milijardi tona ekvivalentne nafte u odnosu na ulaz od 5,392 milijarde toe); dok je isti postotak 1973. iznosio 75% (2,817 milijardi toe u finalnoj potrošnji u odnosu na 3,75 milijardi toe u primarne energije).⁴

Objektivna makroekonomska analiza potrošnje energije i učinkovitosti cjelokupnog lanca energetske transformacije u korištenju energenata, pokazala bi stvarnu dugoročnu održivost pojedinih izvora energije. Tu fosilni izvori ne stoje dobro zbog njihove ograničenosti i ekoloških opterećenja. Ako bi se u račun uključila i energija utrošena u proizvodnji energetske opreme i energija za razvoj novih energetskeg sustava u kompletnom tehnološkom lancu, od razvoja novih tehnologija obnovljivih izvora do energije utrošene u proizvodnji opreme, ni obnovljivi izvori u odnosu na fosilne izvore energije ne bi vjerojatno bili bitno povoljniji.

5. Zaključak

Teorija "energetske litice" kao i koncept izračuna "energije za energiju" otvaraju brojna temeljna pitanja gospodarskog rasta i energetske politika. U dugoročnom planiranju svakako bi trebalo izračunavati "energiju za energiju" za sve ključne energetske tehnologije, jer se samo tako može kvantificirati ukupna energetska racionalnost nacionalnog, kontinentalnog ili globalnog gospodarstva.

Buduća energetska politika itekako će morati voditi računa o obračunu energije utrošene za energiju u cjelokupnom ciklusu dobivanja, transporta, distribucije i korištenja energije. Štoviše, energetska politika trebala bi uzeti u obzir i proizvodnju opreme za dobivanje energije, zatim elemente nacionalne i energetske sigurnosti, pri čemu učešće domaće komponente u dobivanju "energije za energiju" ili "domaće dodane vrijednosti za energiju" nipošto nije zanemarivo. Zbog toga, buduće energetske politike bit će složene kombinacije kvantitativnog modeliranja, stohastičke analize i ekonomske politike, sasvim različite od sadašnjeg jednostavnog i skoro ideologiziranog zalaganja za fosilna goriva ili za obnovljive izvore energije.



Autor:

Igor Dekanić, doktor tehničkih znanosti, redoviti profesor u trajnom zvanju na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu;
Adresa: Sveučilište u Zagrebu, RGN-fakultet, Zagreb, Pierottijeva 6;
E-mail: igor.dekanic@rgn.hr

UDK : 620.97 : 622.276/.279 : 330.13

620.97 energetika, energija
622.276/.279 proizvodnja nafte i plina
330.13 ekonomika