

## OBJEKTIVNO VREDNOVANJE OBNOVLJIVIH ENERGIJA

Branislav ĐORĐEVIĆ

Redovni član Akademije inženjerskih nauka Srbije i Naučnog društva Srbije

E-mail: branko@grf.bg.ac.yu

*Najteže se primećuju strateške greške.  
(Maynov zakon, Marphyjevi zakoni)*

### REZIME

Autor je razvio novu metodiku za energetske objektivno vrednovanje svih vidova energije, posebno onih koji se tretiraju kao 'obnovljive energije'. Metoda se zasniva na analizi i upoređivanju svih prihoda i rashoda primarne energije - od utroška energije za izradu uređaja za konverziju energije, do svih energetske potrošnje u procesu njihove eksploatacije. Uvode se pokazatelji: vremena vraćanja uložene energije za izgradnju i održavanje energetske izvora, indeks strateškog prioriteta izvora energije ili investicionih mera energetske racionalizacije. Takvi objektivni pokazatelji otkrivaju da brojne tzv. obnovljive energije u suštini nisu obnovljive, jer se za izradu takvih postrojenja utroši više primarne energije nego što se može da dobije tokom njihove eksploatacije. Razvijena metodika pokazuje da su hidroelektrane (posebno velike i srednje) jedini stvarno obnovljivi izvor energije. Važan zaključak je da se već sada praktično celokupni tehnički iskoristiv potencijal vodnih snaga našao u kategoriji ekonomski iskoristivog potencijala. Imajući u vidu ulogu hidroelektrana u pokrivanju vršne snage i energije u EES, postoji potreba povećavanja njihove instalirane snage, što nameće potrebu projektovanja fazne izgradnje HE, posebno u slučaju akumulacionih hidroelektrana. Veoma bitan je i zaključak da je neophodno da se za sve potencijalne hidroelektrane što pre uradi planska dokumentacija na nivou studija sistema i generalnih projekata, sa prethodnim studijama opravdanosti i prostornim planovima prostora posebnih namena. Samo tako celovito planski tretirani objekti, sa odgovarajućim odlukama o građenju, biće prihvaćeni od strane EU u procesu pridruživanja Srbije toj evropskoj integraciji.

**Ključne reči:** obnovljiva energija, primarna energija, vreme vraćanja utrošene energije, hidroenergetski potencijali, vetrogeneratori, energija biomasa

### PROLOG

Iznenadujuće je veliki broj strateških stranputica kojima čovečanstvo hrlji u sve dublju socijalnu, ekonomsku i ekološku krizu. Navedimo samo zabluda o mogućnosti opstanka Sveta u uslovima: kada se stvara sve dublji jaz između bogatih i siromašnih, kada se prevelika javna potrošnja ne pokriva proizvodnjom, već obveznicama (grotesko zvuči atribut 'vrednosni papiri' za gomile hartije iza kojih ne stoji nikakva stvarna vrednost), kada se krče tropske šume, pluća planete, uz naivno očekivanje da će to proći nekažnjeno, kada... Jedna od najvećih strateških zabluda, koja je probudila avet gladi i opšte nestabilnosti Sveta usled eksplozivnog poremećaja tržišta hrane - jeste zabluda o navodnim 'obnovljivim' energetske izvorima. Postalo je pomodno pričati o obnovljivim izvorima energije, uz frapantnu činjenicu da čak i navodni eksperti koji o tome pričaju i pišu ne shvataju neke jednostavne činjenice: da se za proizvodnju i održavanje uređaja kojima treba proizvoditi tzv. obnovljivu energiju mora da utroši velika količina primarne neobnovljive energije, da se često za građenje takvih uređaja utroši više primarne energije nego što će takvo postrojenje proizvesti tokom čitavog perioda korišćenja - zbog čega atribut 'obnovljivosti' postaje besmislen, da su ekološke posledice zbog korišćenja nekih takvih izvora izuzetno teške po planetu Zemlju. Zbog svega toga autor ovog razmatranja je smatrao da je veoma važno da se definišu egzaktni pokazatelji, na osnovu kojih se može zaključivati o energetske efikasnosti svih vidova energije. Članak je u skraćenom vidu već bio prikazan, ali sada, kada su zabluda o obnovljivim izvorima energije dostigle vrhunac, kada se bez energetske i ekonomske logike grade fabrike za proizvodnju biodizela i etanola, kada se iz NIP-a, a uz podršku našeg uglednog tehničkog fakulteta gradi solarni uređaj koji sigurno ne može da vrati primarnu energiju utrošenu za njegovu proizvodnju - problem će se sada razmatriti u nešto detaljnijem vidu.

## 1. UVOD

Ubrzano iscrpljivanje neobnovljivih energetske izvora i zaoštavanje energetske problema u svetu učinilo je da se sve veća pažnja posvećuje obnovljivim izvorima energije. U okviru obnovljivih energetske resursa posebno mesto zauzima hidro energija, kao jedini koncentrisani izvor obnovljive energije, sa vrlo visokom ukupnom energetske dohodovnošću. Zbog toga u novije vreme sve veći deo tehnički iskoristivog hidro potencijala prelazi u kategoriju ekonomski iskoristivog potencijala. U novije vreme, sa enormnim porastom cene nafte na svetskom tržištu, ukupan tehnički iskoristiv hidropotencijal, onaj koji stavljen pod posebnu društvenu zaštitu (prostornim planovima i drugim merama čuvanja od obezvređivanja namene prostora i vodnih potencijala) - našao se u kategoriji ekonomski iskoristivog poencijala. Razloga za tu tendenciju ima više, pri čemu su posebno relevantni sledeći:

- (1) sa razvojem EES (elektroenergetskog sistema) i promenama nivoa konzuma i strukture proizvodnje, menja se uloga hidroelektrana u EES: hidroelektrane preuzimaju sve delikatniju ulogu u obezbeđivanju vršne snage i energije i ostvarivanju zahtevane rezerve i pouzdanosti sistema;
- (2) tendencije poskupljenja fosilnih goriva kao i sve oštrija i skuplja ekološka ograničenja koje se postavljaju u vezi sa dozvoljenom emisijom GHG (gasova koji stvaraju efekat "staklene bašte") menjaju uslove vrednovanja HE: ekonomske postaju sve HE čija je cena energije manja od cene energije najskupljih TE koje svojim ulaskom u pogon istiskuju iz EES;
- (3) kompleksno korišćenje voda učinilo je ekonomičnim mnoge energetske objekte koji nisu bili ekonomični kada su planirani jednonamenski - samo u hidro energetske izvedbi;
- (4) uvođenje novih hidroelektrana u EES povećava ekonomsku stabilnost EES;
- (5) brzi razvoj tehnologije opreme za HE (posebno za objekte na malim padovima) kao i njihova tipizacija čini opremu specifično jeftinijom i proširuje opseg ekonomske eksploatacija mnogih ranije neekonomičnih hidro potencijala.
- (6) Hidroelektrane raznih tipova i veličina povećavaju vitalnost EES u uslovima izvanrednih događaja.

I pored tih neospornih globalnih tendencija koje nameće energetske i ekološka realnost, često se u energetske laičkim sredinama osporava značaj hidroelektrana. Malo upućena javnost, pa čak i jednostrano obrazovani eksperti za pojedine oblasti, skloni su da sa puno

optimizama, pa čak i sa neodmerenom glorifikacijom, najavljuju mogućnosti korišćenja pojedinih obnovljivih izvora energije - kao zamenu za hidroelektrane. Pritom se hidroelektrane bez egzaktnih argumenata neopravdano optužuju za ekološku destrukciju životne sredine, a sasvim se prenebregavaju negativne ekološke posledice alternativnih navodno obnovljivih izvora energije, kojima se neopravdano daju atributi 'čistih energija'. Pritom se zaboravljaju sledeće veoma važne činjenice: (a) gotovo svi obnovljivi izvori energije, osim vodnih snaga, veoma su rasuti, te je neophodna njihova složena i skupa koncentracija, da bi se omogućilo korišćenje; (b) zbog velike rasutosti po prostoru, korišćenje takvih obnovljivih energetske resursa skopčano je sa velikim utroškom drugih materijalnih resursa (čelika, betona, aluminijuma, bakra, stakla, plastike, itd.), do kojih se dolazi utroškom velikih količina energija, tako da je njihova ukupna neto energetske dohodovnost dosta mala;

(c) za neke obnovljive resurse, kao što je npr. energija biomasa, troši se velika količina druge primarne energije (nafte, električne energije) za proizvodnju i sakupljanje biomase, što se začuđujuće često previđa;

(d) neki obnovljivi resursi (vetar, energija Sunca) vremenski su vrlo promenljivi, zbog čega njihovo korišćenje ne smanjuje potrebnu instalisanu snagu drugih elektrana, tako da je svaki takav izvor mora da bude dubliran i sa odgovarajućom klasičnom elektranom, čime se samo povećava pritisak na sve materijalne resurse;

(e) korišćenje nekih obnovljivih izvora nije prihvatljivo sa gledišta očuvanja životne sredine, jer se troši i / ili obezvređuje veliki prostor, ili se moraju koristiti prljave tehnologije za dobijanje materijala koji su potrebni za njihovo korišćenje.

(f) krčenje tropskih šuma radi dobijanja novih površina za proizvodnju biomasa koje se prerađuju u biodizel ili etanol - predstavlja najveću i najbesmisleniju ekološku destrukciju na planeti Zemlji, kojom se uništavaju najdragoceniji biodiverziteti i genetski resursi i stvara poremećaj globalnih razmera.

Zbog svih tih razloga se obnovljivi energetske resursi moraju brižljivo razmatrati upravo se energetske stanovišta, da se ne bi načinila strateška greška da se izgrade energetske malo dohodovna postrojenja, ona koja su progutala više energije tokom svoje proizvodnje i proizvodnje u njih ugrađenih matarijala, nego što će proizvesti energije tokom čitave svoje eksploatacije. I koja su nepovratno devastirala prostor. Zbog toga je veoma bitno da se u razmatranje uvedu objektivni i za

energetska upoređivanja očigledni i potpuno nepristrasni pokazatelji energetske dohodovnosti - kojima se kvantificira i vrednuje energetska valjanost pojedinih tipova elektrana i energetskih izvora. Ti pokazatelji se zasnivaju na objektivnom kvantificiranju i upoređivanju količina energije koje se utroše na izgradnju energetskih proizvodnih postrojenja, s jedne strane, i količine energije koju ta postrojenja mogu da proizvedu tokom čitave svoje eksploatacije, sa druge strane.

## 2. OBJEKTIVNI POKAZATELJI ENERGETSKE DOHODOVNOSTI PROIZVODNIH UREĐAJA

Ocena realne energetske efektivnosti i svrsishodnosti korišćenja pojedinih obnovljivih, ali i neobnovljivih izvora energije, kao i vrednovanje opravdanosti pojedinih investicionih mera za racionalizaciju potrošnje, može se obaviti samo ukoliko se uvedu objektivni pokazatelji energetske dohodovnosti. Smisao tih pokazatelja je da kvantificiraju i uporede ukupne rashode i prihode energije - tokom čitavog procesa izrade i eksploatacije uređaja za proizvodnju energije, ili tokom realizacije mera za štednju energije.

Pod rashodima energije podrazumeva se suma svih primarnih energija koje se moraju utrošiti za izgradnju proizvodnih postrojenja, odnosno, za realizaciju investicionih mera za smanjenje potrošnje energije. Rashodi obuhvataju ukupnu energiju koja se potroši za proizvodnju materijala za izgradnju elektrana i svih njenih uređaja, za građenje objekata, kao i za njihovo održavanje tokom čitavog veka eksploatacije. U slučaju mera štednje energije, rashode čini energija utrošena za proizvodnju materijala za termičku izolaciju zgrada, dodatna energija utrošena za realizaciju tih mera zaštite, kao i svi energetske rashodi tokom održavanja, itd. Ako se za energetske objekat koristi velika površina produktivnog zemljišta, u rashode se moraju uračunati i gubici energije biomasa koje bi se mogle proizvoditi na tom zemljištu.

Energetske prihode čini ona energija koja se dobija iz tog energetskog izvora tokom ukupnog veka njegove eksploatacije, odnosno, energija koja se uštedi kao rezultat primene tih dodatnih investicionih, u suštini - energetskih ulaganja. Da bi upoređivanje bilo korektno, i prihodi i rashodi se moraju svesti na iste jedinice primarne energije. Zavisno od načina upoređivanja i interpretacije prihoda i rashoda energije, moguće je definisati više pokazatelja, od kojih se ovde navode sledeća tri koja su dimenzionalno najočiglednija.

**1. Vreme vraćanja primarne energije utrošene za građenje.** Taj pokazatelj definiše vreme, izraženo u godinama, za koje elektrana, odnosno investiciona mera štednje, vrati primarnu energiju koja je utrošena za njenu realizaciju. Taj pokazatelj je veoma indikativan, jer ukoliko su vrlo dugački periodi vraćanja utrošene energije, to jasno pokazuje da sa dugoročnog strateškog energetskog stanovišta nema smisla graditi takva postrojenja. Da bi se takav pokazatelj definisao uvode se sledeće oznake: PE - primarna energija neposredno utrošena za proizvodnju materijala za realizaciju elektrane (ugalj utrošen za proizvodnju koksa koji se troši u proizvodnji čelika, gas, mazut, tečna goriva, itd); EE - električna energija utrošena za realizaciju postrojenja;  $\eta_k$  - koeficijent korisnog dejstva (k.k.d.) u procesu konverzije goriva (ugalj, gas, mazut, tečna goriva) u električnu energiju,  $\eta_k = (t_1 - t_0)/(t_1 + 273^0\text{C})$ , pri čemu se preliminarno može usvojiti:  $\eta_k \approx 0,33$  ( $t_1$  i  $t_0$  - ulazna i izlazna temperatura u procesu konverzije);  $k = 1/\eta_k$  - koeficijent za pretvaranje električne energije u odgovarajuću veličinu primarne energije goriva:  $k \approx 3$ ;  $P_e$  - nominalna snaga uređaja za konverziju obnovljive ili neobnovljive energije u korisni oblik energije;  $T_i$  - godišnje vreme korišćenja snage uređaja (vreme / godina);  $\eta_u$  - k.k.d. uređaja pri konverziji u korisnu energiju;  $\eta_{op}$  - nominalni srednji stepen iskorišćenja snage uređaja.

Ukupna utrošena primarna energija (UPE) za proizvodnju uređaja može se definisati izrazom:

$$UPE = PE + EE \cdot k \quad [J] \quad (1)$$

Sa UPE su obuhvaćeni svi energetske rashodi u procesu realizacije postrojenja - od proizvodnje materijala potrebnih za izgradnju, do energije koja se utroši za građenje objekata.

Dobijena korisna energija ( $DE_i$ ), kao prosečni godišnji energetske prihod od uređaja koji obavlja konverziju primarne energije u korisnu energiju, može se predstaviti u opštem vidu:

$$DE_i = P_e \cdot \eta_{op} \cdot T_i \cdot \eta_u \quad [J/\text{god}] \quad (2)$$

Ukoliko su velike fluktuacije proizvodnje tokom godine, te se ostvarena snaga iskazuje krivom trajanja snage  $N(t)$ , tada se dobijena električna energija dobija na uobičajen način

$$DE_i = \int_0^T N(t) dt \quad [\text{kWh}/\text{god}] \quad (3)$$

gde je T - referentno vreme = 8760 sati / godina.

Ukoliko se konverzija obavlja u električnu energiju, dobijena energija ima energetski ekvivalent uštedene primarne energije DPE:

$$DPE = DE_{\text{e}} \cdot k \quad [\text{J/god}] \quad (4)$$

Vreme vraćanja primarne energije ( $\theta_v$ ) koja je utrošena za izgradnju, odnosno, za proizvodnju energetskog postrojenja, ili za sprovođenje investicionih mera racionalizacije potrošnje, tada se može definisati kao:

$$\theta_v = UPE / DPE \quad [\text{J} : \text{J/god} = \text{god}] \quad (5)$$

Analize pokazuju da se po ovom pokazatelju  $\theta_v$  najbrže vraća energija utrošena za izgradnju većih gasnih elektrana i termoelektrana, kod kojih je  $\theta_v$  oko godinu dana. Slede hidroelektrane racionalnih priborskih tipova, kod kojih je taj pokazatelj  $\theta_v$  oko 1,5 ÷ 2 godine. Izrazito su dohodovne i nuklearne elektrane, kod koji je  $\theta_v$  oko dve godine. Po tom pokazatelju znatno su nepovoljnija neka postrojenja za korišćenje tzv. obnovljive energije. Zbog velike rasutosti energije većine obnovljivih izvora neizbežni su vrlo visoki specifični trošci materijala po jedinici raspoložive snage, odnosno, proizvedene energije, tako da za takva postrojenja pokazatelj  $\theta_v$  najčešće iznosi više od 10 godina. Kao što će se kasnije pokazati, neki vidovi konverzije tzv. obnovljive energije toliko su "skupi" sa stanovišta tog pokazatelja, da tokom čitavog veka eksploatacije neka takva postrojenja ne mogu da vrate primarnu energiju koja je utrošena za njihovu izgradnju. U tu kategoriju spadaju neki tipovi solarnih elektrana.

## 2. Vreme vraćanja energije za izgradnju i održavanje.

Imajući u vidu činjenicu da se u sisteme za proizvodnju energije mora stalno da unosi energija za održavanje, koja je različita za pojedine vidove konverzije i vrste uređaja, kao i da se nepovratno troši prostor kao resurs za proizvodnju obnovljive bioenergije, uvodi se nov pokazatelj - vreme vraćanja energije utrošene za izgradnju i održavanje postrojenja, kao i izgubljene energije zbog zaposedanja energetski produktivnog prostora. U tom slučaju se primarna energija ( $UPE_1$ ) utrošena za građenje, održavanje i izgubljena zbog angažovanog prostora, može kvantificirati u iznosu:

$$UPE_1 = PE + EE \cdot k + OE \cdot t_c + BE \quad [\text{J}] \quad (6)$$

gde su uvedene nove veličine: OE - primarna energija koja se troši na održavanje postrojenja u toku godine,  $t_c$  - period eksploatacije (godina), BE - ukupna energija biomasa koja se tokom čitavog perioda eksploatacije gubi na prostoru koji je zaposela elektrana, koji bi se mogao da upotrebi za neki vid proizvodnje biomasa

(računajući se turnusima moguće proizvodnje biomasa - ogrevnog drveta ili jednogodišnjih biljnih kultura).

Pokazatelj  $\theta_1$  vremena vraćanja te utrošene / izgubljene energije može se definisati odnosom

$$\theta_1 = UPE_1 / DPE \quad [\text{J} : \text{J/god} = \text{god}] \quad (7)$$

Taj pokazatelj još objektivnije kvantificira energetsku svrsishodnost korišćenja pojedinih vrsta obnovljive energije, jer obuhvata i energiju koja se mora uložiti za održavanje postrojenja, odnosno, koja se realno gubi zbog zaposedanja obradivog prostora. Taj pokazatelj je još nepovoljniji od predhodnog za niz obnovljivih energija, imajući u vidu velike specifične troške energije koji neizbežno nastaju zbog njihove velike rasutosti.

**3. Indeks strateškog prioriteta izvora energije i/ili investicionih mera štednje.** Da bi se analitički definisala i razgraničila dugoročna strateška valjanost i prioritetnost korišćenja pojedinih obnovljivih i neobnovljivih izvora energije, i/ili investicionih mera za štednju potrošnje (dogradnja termičkih izolacija zgrada, veća investiciona ulaganja u tzv. solarnu arhitekturu, itd), uvodi se indeks strateškog prioriteta (ISP) izvora energije ili mere štednje:

$$ISP = DPE / [(UPE/t_c) + GE + OE] \quad (8)$$

Od novih oznaka, ovde je: GE - potrošnja primarnih neobnovljivih energija u procesu proizvodnje korisnih oblika energije (potrošnja uglja, gasa, tečnih goriva, itd), DPE ima šire tumačenje u odnosu na jednačine (4 i 7), te predstavlja i energetski ekvivalent proizvedene i/ili uštedene primarne energije (ugalj, nafta, itd.) primenom investicionih mera za uštedu potrošnje energije.

Pokazatelj ISP je bezdimenzionalna veličina, koja može da bude veća ili manja od 1. U slučaju kada je  $ISP > 1$  sasvim je očito da se radi o izvoru energije ili meri racionalizacije potrošnje energije koji imaju neospornu dugoročnu stratešku valjanost, jer je energetski prihod veći od sume svih rashoda - potrošenih primarnih energija. Očito je da se u toj kategoriji mogu naći samo neki koncentrisani obnovljivi izvori energije, i neke energetski efikasne investicione mere štednje. Jasno je da veći dugoročni strateški prioritet imaju oni izvori energije i one mere štednje koji imaju veći indeks ISP, tako da se kriterijum za ocenu dugoročne strateške valjanosti pri izboru energetskih izvora ili mera štednje, u slučaju više mogućih opcija, može formalizovati u obliku:

$$ISP \rightarrow \max \quad (9)$$

Vrednost indeksa  $ISP < 1$  imaju svi izvori neobnovljive energije, ali i neki izvori obnovljive energije, koji zbog velike rasutosti zahtevaju velike specifične utroške materijala po jedinici proizvedene energije. Ukoliko je  $ISP < 1$ , takav energetski izvor, čak i ako je u pitanju konverzija naizgled obnovljive energije, ne može da nosi atribut "obnovljosti", jer se za njegovu izradu i održavanje utroši više primarne energije no što on može da proizvede u procesu eksploatacije. Ukoliko se analiziraju investicione mere za racionalizaciju potrošnje, pa se utvrdi da za takvu meru indeks ima vrednost  $ISP < 1$ , sasvim je očito da takva mera nema apsolutno nikakvu energetsku logiku, jer se više primarne energije izgubi za njeno sprovođenje, no što će se energije uštedeti tokom čitavog perioda eksploatacije.

Uporedne energetske analize koje je uradio autor pokazuju da najviši rang u kategoriji strateški najvrednijih izvora i mera, onih koji imaju  $ISP > 1$ , imaju mere štednje energije primenom termičke izolacije zgrada. Te mere su posebno efikasne ukoliko se izvedu odmah, tokom građenja, mada su i mere sanacije već izgrađenih nedovoljno termički zaštićenih zgrada energetski vrlo efikasne. To će se ilustrovati merenjima [13] koja pokazuju da kuća stambene površine  $100 \text{ m}^2$ , klasično građena od opeke, bez toplotne izolacije, koja se greje na  $20^\circ\text{C}$  dok je napolju  $0^\circ\text{C}$ , pri brzini vetra od  $50 \text{ km/h}$ , ima toplotne gubitke ekvivalentne snazi od  $12 \text{ kW}$ . Ukoliko se izvede toplotna izolacija zidova, poda i tavana, gubljenje toplote se smanjuje na samo oko  $6 \text{ kW}$ , uz mogućnost dodatnog smanjenja gubitaka ukoliko se klasično zastakljivanje zameni tzv. vakum-staklom, sa boljim britvljenjem pri zatvaranju svih otvora. Merenja u Nemačkoj pokazuju da ako se običnom zidu od opeke doda izolacija, sa vazдушnim međuprostorom koji se formira zidom od fasadne opeke, specifični utrošak za grejanje po  $1 \text{ m}^2$  smanjuje se sa oko  $14,8 \text{ L}$  loživog ulja na samo oko  $4,2 \text{ L}$ . Uračunavši sve energetske utroške za proizvodnju izolacionih i drugih dodatnih materijala, dobijaju se vrednosti  $ISP > 7 \div 10$ , pri čemu je posebno relevantna činjenica da je korišćenje te mere vrlo dugotrajno (računato je sa  $50$  godina, ali poznato je da kuće traju i duže). Bez obzira na izvanrednu energetsku dohodovnost, ta mera se još uvek malo sprovodi zbog: većih početnih investicija, neadekvatno vrednovane (još uvek jeftine) energije i - zbog tradicionalizma. Međutim, u novije vreme neke zemlje (u tome prednjači Kanada) uvele su obavezu i normative za termičko opremanje zgrada, što već počinje da daje željene efekte.

Na drugom mestu na listi strateški najboljih, zajednički vrednovanih energetskih izvora i mera štednje, prema indeksu  $ISP$ , nalaze se hidroelektrane raznih tipova, kod kojih je indeks  $ISP$ , po pravilu, veći od  $5$ . To hidroelektrane ubedljivo stavlja na prvo mesto izvora energije, sa gledišta dugoročnih strateških prioriteta. One su znatno ispred svih drugih obnovljivih izvora, od kojih neki, često neopravdano hvaljeni kao "energetska budućnost" sveta (npr. solarne elektrane, elektrane na vetar) imaju indeks  $ISP$  samo nešto malo veći od  $1$ , što znači da se sa gledišta bilansa unete i dobijene energije, jedva mogu da svrstaju u klasu obnovljivih energetskih resursa. Samo naizgled paradoksalno, ali potpuno tačno, jer su ti izvori energije veliki potrošači materijala, odnosno energije, po jedinici energije koju mogu da proizvedu tokom svog veka eksploatacije.

Elektrane koje troše neobnovljive primarne resurse (ugalj, gas, tečna goriva, itd.) imaju indeks  $ISP < 1$ . Naravno, to ne znači da takve izvore energije ne treba graditi, jer se bez njih ne mogu zatvoriti energetski bilansi u najvećem broju zemalja. Međutim, indeks  $ISP$  kvantificira jednu vrlo logičnu činjenicu da je jedina razumna dugoročna politika jedne zemlje - *najpre, u skladu sa kriterijumom  $ISP \rightarrow \max$  treba forsirati korišćenje onih izvora energije i onih mera štednje čiji je indeks  $ISP$  najveći, kako bi se što više usporio utrošak neobnovljivih primarnih energenata*. Iz tog ugla treba razmatrati i logičan zahtev da se forsira izgradnja hidroelektrana, onih koje nasumnjivo spadaju u kategoriju ekonomski iskoristivog potencijala, jer se njima usporava trošenje fosilnih goriva.

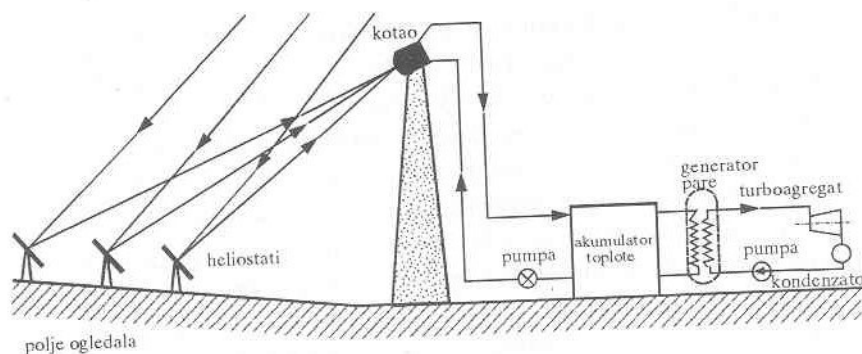
### 3. NEKI NAJČEŠĆE RAZMATANI IZVORI OBNOVLJIVE ENERGIJE

Imajući u vidu veoma nekritičku glorifikaciju nekih tzv. 'obnovljivih' izvora energije, koji se u nedovoljno obaveštenoj javnosti proglašavaju za energetski spas planete Zemlje, u nastavku će se razmotriti, sa gledišta uvedenih objektivnih energetskih pokazatelja, realne mogućnosti korišćenja i energetske dohodovnosti nekih najčešće apostrofiranih obnovljivih izvora energije. Detaljnije će se razmatraće samo oni izvori koji su najčešće apostrofirani kao energetska budućnost Sveta, upravo onih kod kojih postoji najveća strateška zabluda u pogledu njihove realne ocene. To su energije Sunca, vetra, biomasa i geotermalna energija. Analiziraće se još jedan vid energije, koji se malo pominje, ali koji zaslužuje punu pažnju, jer je neopravdano zapostavljen - konverzija energije primenom toplotnih pumpi.

### 3.1. ENERGIJA SUNČEVOG ZRAČENJA

Korišćenje energije Sunca je najstariji način korišćenja energije uopšte, te kao takav nije sporan, bar kada se radi o neposrednoj konverziji u toplotu, bilo korišćenjem zakonitosti solarne arhitekture, bilo kada se radi o grejanju vode, u okviru tzv. male energetike, ili energije "nižih temperatura", kojom se štedi energije preuzeta iz EES. Takav vid korišćenja sunčeve energije treba stimulisati merama državne politike (fiskalne i organizacione mere). Međutim, veoma je sporno euforično i neargumentovano insistiranje na konverziji solarne energije u električnu energiju, u okviru velikih postrojenja (elektrane "visokih temperatura"), što će ovde biti razmotreno iz ugla energetske dohodovnosti. (Koliko je duboka strateška zabluda o mogućnostima korišćenja sunčeve energije za proizvodnju električne energije, autor se uverio tokom diskusija o nekim osporavanim projektima hidroelektrana, kada su neki najugledniji intelektualci tvrdili da naša zemlja može sve svoje elektroenergetske potrebe da zadovolji isključivo korišćenjem energije Sunca i vetra! Pravi energetske eksperti takvim mišljenjima ne bi pridavali pažnju da takve besmislice ne pričaju članovi najviše naučne institucije zemlje, oni koji svojim formalnim zvanjima i autoritetom utiču na strategiju razvoja zemlje i javno mnjenje).

Ukupna energija Sunca koja dopire do Zemlje je vrlo velika i iznosi oko  $1 \cdot 10^9$  TWh/god. To je oko 15 puta više od energije u ukupnim svetskim zalihama uglja.



Slika 1. Solarna elektrana sa centralnim prijemnikom (CRS)

**Posredna konverzija** u solarnoj elektrani (SE) podrazumeva koncentraciju sunčeve energije preko ogledala na kolektor toplote, kako bi se zagrejao radni medij i njemu. Postoje dva sistema SE: (1) za manje elektrane - DCS - *Distributed Collectors System*, kod

Reklo bi se, na osnovu tih cifara, da bi ta energija mogla da bude glavna energija budućnosti. Postoji, međutim, niz problema koji to jako relativizuju. Prvi je taj što je zračenje Sunca veoma rasut energetski izvor, tako da je prosečni dotok energije jednak snazi od oko  $230 \text{ W/m}^2$ , uz veliku fluktuaciju. Zato su za koncentraciju te energije, radi konverzije u električnu energiju, potrebni vrlo prostrani, veliki uređaji, za koje se moraju utrošiti ogromne količine energije: • u fazi izgradnje takvih uređaja - ugradnjom materijala za čiju su proizvodnju utrošene velike količine energije, • u fazi njihovog održavanja, • sa stanovišta zauzimanja prostora, koji takođe predstavlja važnu energetske kategoriju, što se iznenađujuće često zaboravlja. Naime, površine na kojima su smešteni solarni uređaji ne mogu se koristiti za proizvodnju bioenergije. Drugi veliki problem je dnevna, sezonska, godišnja i stohastička (meteorološka) promenljivost sunčane energije, uz vrlo nepovoljnu asinhronost, tako da je energija Sunca najmanja zimi, upravo kada je energija najpotrebnija. Treća teškoća su tehnološki problemi konverzije sunčeve energije u električnu energiju i dosta niski koeficijenti korisnosti uređaja.

Za konveziju sunčeve energije u električnu energiju postoje dva pristupa. Prvi je *posredna konverzija*: sunčeva energija → koncentracija toplotne energije na radni medij → stvaranje pare → mehanička energija u parnoj turbini → električna energija. Drugi pristup je *neposredna konverzija*, preko fotonaponskih ćelija.

koga radni medij teče kroz cevi oko kojih su postavljena parabolična ogledala, koja fokusiraju zrake na cev, prenoseći na taj način toplotu na radni medij; (2) za veće elektrane - CRS - *Central Receiver System*, sa centralnim prijemnikom, na koga se ogledalima prenosi

celokupna sunčeva energija na kolektor toplote sa radnim medijem. Šema takve solarne elektrane (SE), sa centralnim prijemnikom (CRS), prikazana je na slici 1. Takvu SE odlikuje centralni visok stub (viši od 100 m), na kome se nalazi rezervoar sa radnim medijom, kao kolektor toplote. Oko stuba su raspoređena ogledala (heliostati), čiji se položaj stalno kompjuterski koriguje, tako da bez obzira na promenu položaja Sunca na nebeskom svodu tokom dana, uvek reflektuju sunčeve zrake na kolektor na vrhu tornja. Zagrejan medij (mineralna ulja, tekući natrijum) dovodi se preko akumulatora toplote do razmenjivača, u kome se generiše para, koja pokreće parnu turbinu.

Na tim principima su realizovano više eksperimentalnih SE. Na Pirinejima, Francuska, u radu je SE tipa CRS, snage 2,4 MW, sa tornjem visokim 109 m. Poznata je CRS elektrana "Solar one", u Kaliforniji, snage 10 MW. Prema podacima iz literature, ta SE ima 1.500.000 ogledala (!), koja fokusiraju sunčeve zrake na kolektor na vrhu tornja visokog preko 100 m, kroz koje struji sintetičko ulje, koje u izmenjivaču toplote zagreva vodu i stvara paru. No, interesantan je podatak vezan za održavanje: 20 ekipa od po 20 ljudi, radeći noću, neprekidno čisti ogledala, kako bi SE mogla nesmetano da radi. I još jedan, veoma bitan podatak: troškovi izgradnje te SE, snage 10 MW, iznosili su 142.000.000 USD, što daje specifične investicije od 14,2 USD/W ! To je oko 15 puta skuplje od klasičnih elektrana. No, imajući u vidu pogonska ograničenja zbog promenljivosti i diskontinuiteta u dotoku sunčeve energije, efektivna snaga je nekoliko puta manja od instalisane - vršne, što SE čini više desetina puta skupljom od klasične.

Razmotrimo ključno energetska pitanje: u kojoj meri je energija solarne elektrane zbilja - obnovljiva? Naizgled neozbiljno pitanje, ali samo za one površne optimiste koji računaju samo sa neto energijom koju SE proizvodi, prenebregavajući ogromne količine energije koje se moraju nepovratno utrošiti za dobijanje materijala koji su ugrađeni u objekat i uređaje elektrane. Ako se analizira suština - zbog čega su SE tako skupe, dolazi se do zaključka da nisu u pitanju "dečje bolesti" razvoja novih tehnologija, već je u pitanju konceptijski problem kome nema leka - zbog male specifične snage energije Sunca po jedinici angažovanog prostora, solarne elektrane su neverovatni "gutači" materijala, za čiju su proizvodnju potrebne ogromne količine - primarne energije. Već su navedene cifre o broju ogledala. Baterije ogledala se nalaze na ozbiljnim čeličnim

konstrukcijama, koje treba valjano fundirati, svaka od njih ima svoje uređaje za pokretanje, tu je i džinovski stub sa kolektorom, koji je svojevrsni konstruktorski podvig. Prema podacima iz studija (EDF, Francuska, 1988) u slučaju SE sa ogledalima (CRS) treba računati sa 20 do 30 puta većim specifičnim utroškom ključnih materijala (čelik, beton) nego u slučaju klasičnih TE.

Pošto je poznata energija koja se mora utrošiti za dobijanje energetske vrlo "skupih" materijala ugrađenih u jednu SE (čelik, beton, staklo, plastika, aluminijum, izolacioni materijali), može se izračunati da je vreme vraćanja energije ( $\theta_v$ ) kod takvih elektrana ne manje od 15 godina! Podatak izuzetno važan za strateška razmišljanja: elektrana čiji fizički vek sigurno nije duži od 20÷25 godina (niko još nije izračunao koliko godina mogu da traju ogledala, a koliko uređaji koji ih neprekidno pokreću), bar 15 godina bi "otplaćivala" energiju koja je samo utrošena za njenu gradnju, da bi tek nakon toga počela neto energetska proizvodnju. I taman kada započne stvarno "novu" proizvodnju, dolazi vreme da se rashoduje, ili da se menjaju vitalni uređaji, za koje je potrebno utrošiti novu energiju! A gde su energetska troškovi održavanja, koje niko nije realno samerio. I što je izuzetno važno da se ne zaboravi: solarne elektrane mora da bude "dublirane" sa odgovarajućom klasičnom elektranom, čiji je rad neizbežan noću i kada je vreme oblačno. Znači, pomenuti energetska troškovi za izgradnju SE su dodatni, pored onih koji su neizbežni za klasičnu elektranu koja je "dublira". Kada se sve te energije neophodne za održavanje uračunaju, uključiv i izgubljenu bioenergiju na angažovanom prostoru, može se zaključiti da je pokazatelj vraćanja ukupne energije  $\theta_1 > 20$  godina! Znači, elektrana radi otprilike onoliko vremena koliko je potrebno da vrati energiju koja je utorošena za njeno građenje! Da li se onda može govoriti o obnovljivoj i ekološki čistoj energiji, kada se zna uz koliko se veliku ekološku i energetska destrukciju dobijaju gvožđe, aluminijum, cement, staklo, plastika, razni izolacioni materijali koji se ugrađuju u solarnu elektranu? Govoriti o obnovljivoj, ekološki čistoj energiji solarne elektrane velika je strateška zabluda, u skladu sa motom ovog članka.

Mora se uzeti u obzir još jedan problem - prostor. Prema istoj studiji (EDF, 1988), za jednu SE od 100 MW vršne snage (čije je vreme korišćenja kraće od 5% sa krive trajanja) bilo bi potrebno oko 20.000 ogledalnih grupa, površine od po 45 m<sup>2</sup>, svaka sa uređajem za automatsko pomeranje ogledala, kako bi se i pored menjanja

položaja Sunca zraci uvek reflektovali neposredno na kolektor na vrhu tornja, koji bi bio visok oko 300 m. Ogdalala bi bila raspoređena na površini od preko 4 km<sup>2</sup>. Ukoliko se takva elektrana ne gradi u pustinji, već na nekom produktivnom prostoru, mora se uzeti u obzir i to trajno zauzimanje prostora, na kome nije moguća bilo kakva produkcija bioenergije (ratarske kulture, šume). Izuzetno složen je i problem održavanja, što su pokazale sve do sada izgrađene eksperimentalne SE. Ako je SE u pustinji, ogdalala su stalno ugrožena istaložavanjem vrlo sitnog peska, koji radikalno smanjuje refleksiju sunčevih zraka, a time i stepen efektivnosti SE, a ako je na nekoj planinskoj visoravni, i leti i zimi se ogdalala neprekidno moraju čistiti, zimi od snega, inja, leda, leti od prašine. A kakav je učinak? Veoma skroman, što se može ilustrovati primerom eksperimentalne SE na Krimu. Njena vršna snaga je 5,6 MW, temperatura pare 250°C, pritisak 40 bara, neto površina ogdalala je preko 40.000 m<sup>2</sup>. Proizvodnja - samo oko 250.000 kWh/god, što ukazuje na veoma nisku iskoristivost instalisane snage. Ako je tačan podatak koji je autor dobio naknadno, da je sa tom SE zaposednuta površina od oko 200.000 m<sup>2</sup>, dobija se vrlo interesantan zaključak o "energetskoj dohodovnosti angažovanog prostora": u solarnoj elektrani se po 1 m<sup>2</sup> angažovane površine dobija samo oko 1,25 kWh/m<sup>2</sup>·god električne energije, dok bi se u slučaju da se na toj istoj površini intenzivno (plantažno) gaje šumske kulture, dobijalo oko 2,5 kWh/m<sup>2</sup>·god energije biomase (specifičan godišnji priraštaj drvne mase, koja se može da eksploatiše i koristi za gorivo). Autor ostavlja da čitalac sam uporedi te dve cifre i eksplicitira zaključak, ali on je nedvojbjen, sadržan u već citiranom Marphyjevom zakonu: najteže se primećuju - stateške zablude. U ovom slučaju, zabluda da je energija Sunca rešenje energetskih problema čovečanstva! I da je ona obnovljiv, ekološki čist vid energije. Znači, nije cinična preporuka: na mestu planiranom za solarnu elektranu treba saditi šumu, uz znatno veće energetske i neuporedivo veće ekološke dobiti.

**Neposredna konverzija** sunčeve u električnu energiju obavlja se u fotonaponskim ćelijama, koje predstavljaju noviju tehnologiju, zasnovanu na poluprovodnicima. Ne ulazeći u fizikalno razjašnjenje funkcionisanja poluprovodnika, jer to nije predmet ovog razmatranja, razimiramo najsažetije. Vrlo tanke pločice kristala silicijuma sa primesom arsena, na odgovarajući način prevučene izuzetno tankim "filmom" bora, izloženi

zračenju Sunca ponašaju se kao poluprovodnički spoj. Čestice svetlosti, fotoni, imaju dovoljno energije da atomima silicijuma na koje naleću izbijaju elektrone. Javlja se složen fotoelektrični proces, čiji je rezultat da se na jednoj strani poluprovodničkog spoja stvara višak negativnog, a na drugoj višak pozitivnog naboja, usled čega na priključnicama poteče struja. Sve naizgled čisto i - izgledno za korišćenje. Međutim, praksu korišćenja silicijumskih fotonaponskih ćelija prati više vrlo ozbiljnih problema. Prvi je - vrlo niska efikasnost uređaja, sa k.k.d. koji je oko 0,15. Drugi problem je veoma niska energetska dohodovnost fotonaponskih ćelija. Njihova izrada zahteva specifično veliki utrošak "energetski najskupljih" materijala (aluminijuma, bakra, silicijuma, itd.), tako da je vreme vraćanja uložene energije  $\theta_v \sim 20$  godina! Niko ne zna tačno koliko godina bi takvi uređaji mogli da rade, ali je procena da je to vreme kraće od vremena za koje se može vratiti energija koja je u njih uložena. Znači, ukoliko se korektno analiziraju količine unete energije (energije utrošene za proizvodnju fotonaponskih ćelija) i proizvedene energije tokom čitavog veka eksploatacije, dolazi se do zaključka: solarne ćelije nisu izvor obnovljive energije, već se radi o svojevrsnom energetskom "pretvaraču" neobnovljive energije, koji u njega uloženu energiju kasnije samo delimično vraća, koristeći za to energiju Sunca. Zato taj pretvarački uređaj ima smisla koristiti samo tamo gde je to jedini način za snabdevanje električnom energijom nekih izolovanih, važnih i skupih uređaja. Tako se solarne ćelije sada upravo i koriste: za snabdevanje energijom kosmičkih brodova i stanica, geostacionarnih satelita, udaljenih automatskih meteoroloških stanica, itd. Zato veoma čudi pomodarstvo koje je dospelo i kod nas, pa je kao veoma značajna vest razvojnog prosperiteta Srbije nedavno objavljeno da se iz NIP-a (Nacionalnog investicionog plana) ulože u takvo postrojenje na krovu zgrade Opštine Vračar. I to sve uz angažovanje uglednog tehničkog fakulteta, koji svoj ugled stavlja iza vrlo opskurnog projekata, unapred osuđenog da bude žalostan primer promašene investicije.

Fotonaponske ćelije se proizvode tokom zadnjih decenija, zbog rešavanja energetskih problema kosmičkih programa, te se njihova cena smanjivala i sada se stabilizovala na oko 10 USD/W i smatra se da će tu i ostati. Ako se ima u vidu da se radi o vršnoj snazi, onoj u vedro sunčano podne, efektivna specifična cena je nekoliko desetina puta veća nego kod konvencionalne



elektrane. Tu ekonomsku neodrživost pokazala je i pompezno najavljivana fotonaponska sunčana elektrana (FSE) kod Madrida, snage 100 kW, koja je prema podacima iz štampe koštala oko 5,5 miliona USD! Specifične investicije su oko 55 USD/W vršne snage, ili, uzimajući u obzir periode osunčenja, oko 160 USD/W. Sa tim je u saglasnosti i najnoviji podatak iz EU, po kome je cena energije iz solarnih uređaja oko 45 €/kWh (450 €/MWh!). Znači, ne samo energetska, već i finansijska katastrofa!

Među korišćenim atributima 'besplatna i čista', koji sasvim neodmereno prate glorifikaciju solarne energije, videli smo da je atribut 'besplatna' daleko od istine. Kako stoji stvar sa atributom 'čista'? I to je velika, strateška zabluda neobaveštenih ljudi. Treba podsetiti na dve ključne činjenice: (a) za izgradnju solarnih elektrana troši se desetine puta više materijala i ulazne energije no kod klasičnih elektrana; (b) zbog neraspoloživosti SE u dužim intervalima, solarne elektrane moraju da budu "dublrane" sa klasičnim elektranama. Imajući u vidu i vreme vraćanja energije, koje je gotovo ravno amortizacionom periodu solarnih elektrana, analitički je jasno da bi se njihovim masovnijim građenjem samo povećao destruktivni pritisak na okolinu: u sferi eksploatacije ruda metala i nemetala, u sferi proizvodnje neophodnih materijala u vrlo "prljavim" industrijama (čelik, aluminijum, staklo, cement), u sferi korišćenju neobnovljivih energenata, ali i u sferi devastacije prostora, jer su solarne elektrane veliki "potrošači" prostora. Ko u to ne veruje, neka pogleda na jednu prelepu padinu na planini Tari, kompletno zaposednutu šumom čeličnih nosača, cevi i solarnih tabli, i sve to da bi se jednom omanjem hotelu ("Beli bor") obezbedila topla voda – samo u sunčanim razdobljima! Pri čemu se taj hotel nije "skinuo" sa EES, već je cela ta glomazna, ružna i energetska skupa instalacija, koja predstavlja vizuelno zagađenje prelepe planine Tare, dublrana kompletnim klasičnim grejnim električnim sistemom - kada nema sunca. Da je napravljena valjana energetska i ekološka analiza, pokazalo bi se da je taj uređaj, ustvari, pravi energetska rasipnik! Znači, nažalost, solarne elektrane nisu obnovljiv izvor energije, niti je ta energija ekološki čista. Tačnije, ona jeste neposredno ekološki čista, ali su veoma prljave tehnologije kojima se obezbeđuju ogromne količine materijala potrebnih za izradu solarnih uređaja. A građenje velikih solarnih uređaja troši i ekološki devastira prostor.

### 3.2. ENERGIJA VETRA

Kinetička energije vetra, transformisana u mehaničku energiju za pogon mlinova ili za pumpanje vode, korišćena je od drevnih vremena. I sada se snaga vetra logično koristi za pumpanje vode iz bunara u rezervoare, odakle se razvodi prema mestima potrošnje. Snaga vetra je odavno masovno korišćena i za proizvodnju električne energije, ali prevashodno na malim postrojenjima, snage 2÷5 kW, kojima su obezbeđivane najnužnije potrebe usamljenih farmi i drugih objekata (opet - tzv. "mala energetika", koja nije sporna). Pošto se u novije vreme vetrenjače - eolske elektrane (EE) sve više najavljaju kao spektakularni izvor za proizvodnju obnovljive energije u "velikoj energetici", razmotrimo bazne principe i probleme tog vida konverzije energije.

Bruto snaga vetra ( $P_v$ ) iznosi:  $P_v = \rho \cdot V \cdot v^2 / 2$  (W), gde su:  $\rho$  - gustina vazduha, oko 1,25 kg/m<sup>3</sup> blizu površine zemlje,  $V$  - zapremina vazduha koji struji kroz površinu  $A$ , brzinom  $v$ :  $V = A \cdot v$ , te je

$$P_v = \rho \cdot A \cdot v^3 / 2 \quad [\text{W}] \quad (10)$$

tako da se bruto snaga vetra može predstaviti relacijom:

$$P_v = 0,625 \cdot A \cdot v^3 \cdot 10^{-3} \quad [\text{kW}] \quad (11)$$

Od te bruto snage može se iskoristiti samo ona kinetička energija koja odgovara razlici brzina vetra ispred i iza krila vazdušne turbine, pri čemu se može pokazati da je najveća snaga ukoliko je razlika brzina iza turbine ( $v_2$ ) i ispred turbine ( $v_1$ ):  $v_2/v_1 = 1/3$ . Ako se to uzme u obzir, i ako se uvedu i realni koeficijenti korisnog dejstva vetrenjače, koji iznosi prosečno oko 0,65, i generatora, koji iznosi oko 0,8, dobija se električna snaga agregata vetrenjače:

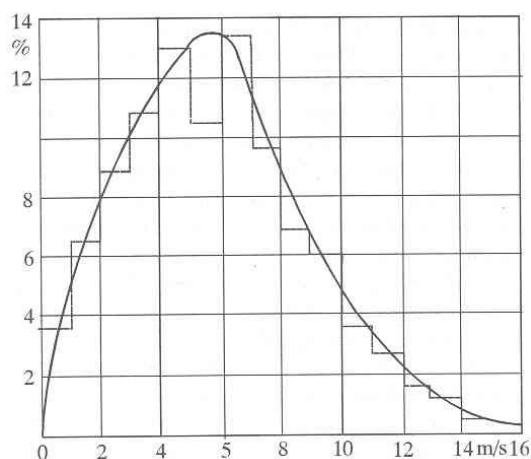
$$P_{el} = 0,193 \cdot A \cdot v^3 \cdot 10^{-3} \quad [\text{kW}] \quad (12)$$

Znači, u jednoj vetrenjači se u električnu snagu može transformisati samo oko 31% od bruto kinetičke snage vetra. Ukoliko se ta snaga prikaže ne preko površine  $A$ , već preko očiglednije veličine, prečnika krila vetrenjače  $D$  (m), dobija se pregledniji izraz za električnu snagu vetrenjače:

$$P_{el} = 0,152 \cdot D^2 \cdot v^3 \cdot 10^{-3} \quad [\text{kW}] \quad (13)$$

Kao što je poznato, ključni problem je velika promenljivost brzine vetra, koja se menja od nule, do preko 30 m/s, ali vrlo retkog javljanja i trajanja. Ona se definiše krivama frekvencije (primer na slici 2). Zbog

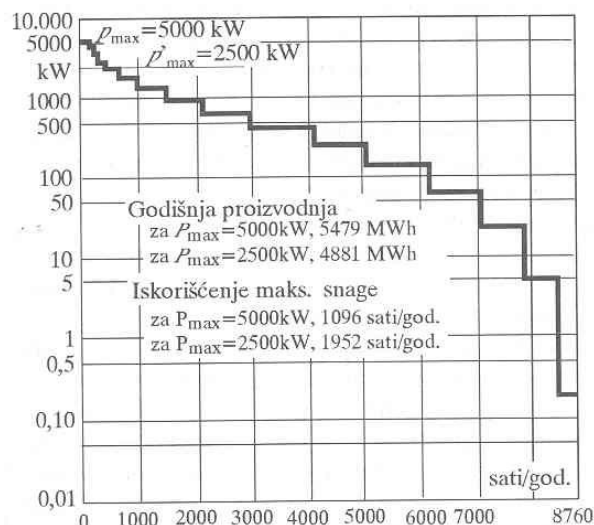
tako velike promenljivosti brzine vetra, iskorišćenje instalisane snage je vrlo malo, što se ilustruje sledećim primerom. Za područje na kome su brzine vetra definisane krivom frekvencije na sl. 2, i za prečnik krila  $D=100$  m, maksimalna snaga vetrenjače od oko 5 MW, koja odgovara brzini od 15 m/s, ostvarivala bi se samo 130 sati godišnje (samo 1,5% vremena!), dok bi se u 50% vremena razvijala snaga od samo 250 kW (samo 5% od maksimalne snage!), ili manje od toga, čak i samo oko 0,2 kW. Kriva trajanja ostvarene električne snage, za vetrenjaču sa prečnikom krila  $D = 100$  m (neophodno veoma visoko i robusno toranjsko postrojenje!), prikazuje se na slici 3.



Slika 2. Tipična kriva frekvencije brzine vetra

Fluktuacije brzine vetra imaju velike praktične reperkusije: uključivanje elektrana na vetar u EES uopšte ne smanjuje potrebnu instalisanu snagu drugih elektrana, već se svodi na štednju goriva u termoelektarnama. Naravno, samo onda kada ima vetra!

Autor je siguran da će se u vezi sa takvom tvrdnjom odmah javiti i oponenti, koji će svoj "vetroenergetski optimizam" zasnivati na spektakularnom razvoju elektrana na vetar u Nemačkoj, Danskoj i još nekim zemljama EU. To je tačno, ali treba znati i sledeće. Razvoj vetroenergetike je posebno izražen u onim zemljama EU kod kojih se čitava struktura vlasti nalazi na "klackalici" čija ravnoteža zavisi od partija "zelenih", koje svoje učešće u vlasti uslovljavaju ultimativnim stavovima o zatvaranju nuklearnih i termo elektrana, uz navodnu supstituciju te energije "ekološki čistim" izvorima energije, od kojih se posebno insistira na energiji vetra. Zato je važno ukazati na sledeće činjenice.



Slika 3: Kriva trajanja snage vetrenjače ( $D=100$  m, kriva učestalosti iz slike 2)

- Niska energetska dohodovnost EE se može pokazati i na sledećem primeru. Jedna dosta reklamirana komercijalna jedinica instalisane snage 25 kW koštala je 25.000 USD, odnosno, 1 USD/W, što je, na prvi pogled, na nivou drugih elektrana. Međutim, ogromna je razlika između instalisane i raspoložive snage vetrogeneratora! Čak i na najvetrovitijim mestima Teksasa takva elektrana u više od 50% slučajeva radi sa snagom oko 15 puta manjom od instalisane (to se vidi i na slici 3), te je po tom pokazatelju bar 15 puta skuplja od klasične. Pored toga, ona ne smanjuje potrebu za korišćenjem konvencionalnih izvora energije, tako da se mora investirati i u njih, kao da u EES ne postoje elektrane na vetar.
- Sadašnji razvoj elektrana na vetar se temelji na državnim subvencijama i velikim poreskim olakšicama, što sebi mogu da priušte samo one zemlje koje su vrlo bogate i koje moraju da podržavaju takvu politiku, zbog pomenute osetljive političke ravnoteže. Velike državne subvencije jasno otkrivaju da se radi o vidu protekcionizma koji, kao što ćemo posebno videti, nema opravdanja upravo sa ekološkog stanovišta. No, sve češće se dešava da neki jednostrano obrazovani ekološki pokreti, pod parolama zaštite životne sredine, svojim krutim stavovima uvaljuju planetu Zemlju u veće ekološke nevolje od onih koje žele da izbegnu.
- Glorifikacija vetroenergije kao "potpuno čiste energije" - nije utemeljena na realnosti. Obično se

zastupnici vetroenergetike pozivaju na sprečavanju posledica emisije GHG (gasovi "stakne bašte") u termoelektranama, ali se ne bave i vrlo nepovoljnim ekološkim posledicama EE. Bar tri posledice su vrlo relevantne: (a) buka i vibracije, posebno u domenu bliskom infra delu spektra, koje ne podnose životinje i divljač, tako da se područja oko farmi EE brzo "isprazne", jer divljač napusti te zone, bežeći od zvuka i vibracija koje ih iritiraju; (b) drastično vizuelno zagađivanje i devastacija pejzaža i estetskih vrednosti na širokom prostoru oko farmi vetrogeneratora; (c) visoka cena energije proizvedene u EE je posledica činjenice da takve elektrane imaju dosta visoke specifične troške materijala po realizovanoj snazi, a ti materijali (čelik, bakar, itd) se dobijaju uz i te kako velike ekološke posledice po okruženje. Ne uzimati u obzir vrlo velike količine materijala i energije potrebne za proizvodnju uređaja elektrana na vetar, koje spadaju u specifično veoma "skupe" elektrane upravo sa gledišta utroška materijala po jedinici instalisane snage (ta resursna "skupoća" je mnogo veća kada se uzme u obzir raspoloživa snaga) - neverovatan je previd "vetro-optimista", koji kao da pretpostavljaju da materijal i energija za izradu tih reursno vrlo skupih uređaja - pada sa neba. Zbog toga je veoma naivna i začuđujuća tvrdnja nekih autora da *"iza korišćenja energije vetra nema nepoželjnih otpadaka, a da bi se iskoristio vetar nisu potrebni ni rudnici, ni vode reka"*. To je frapantna besmislica koja pokazuje ili nepoznavanje ili ignorisanje vrlo dugog proizvodnog lanca, od rudnika, flotacija, džinovskih dampera, vozova i brodova koji tu rudu prevoze na sve veća rastojanja, čeličana, termoelektrana... Svi ti elementi proizvode i prevoze razne materijale, gutajući ogromne količine energije - sve dok se konačno ne proizvede vetrogenerator i montira na stubu visokom stotinak metara. Vetar jeste obnovljiv izvor energije, ali su neobnovljivi resursi koji se moraju utrošiti za izradu uređaja za njegovo korišćenje. A ti resursi se nikako ne mogu proizvesti bez velikog zagađenja okoline, samo negde drugde - u Smederevu, Ruru, Boru, Beočinu, Majdanpeku - a ne na samom lokalitetu farmi vetrogeneratora. Zato, ma kako to na prvi pogled čudno izgledalo, potpuno je netačna tvrdnja da vetrogeneratori ne emituju GHG: ne emituju ih oni, ali ih i te kako emituju svi ostali proizvodni pogoni u prethodnim karikama tehnološkog lanca, oni koji su morali da proizvedu obilje materijala za njihovo građenje. Npr. specifična potpošnja čelika

za građenje vetrogeneratora preko 100 puta je veća po instalisanom kW snage no u slučaju termoelektrana, uz znatno veći specifični utrošak i ostalih materijala: betona, bakra, plastike. A ti materijali i te kako ekološki "koštaju" planetu Zemlju.

- Vreme vraćanja primarne energije EE je 15-tak godina. Ako im je radni vek oko 20÷25 godina (ukoliko ne završe kao naše eksperimentalne EE, koje su brzo uništili gromovi), jasno se vidi da nema mesta za neki preterani "vetroenergetski entuzijazam": najveći deo svog radnog veka vetrogeneratori rade da bi otplatili primarnu energiju koja je utrošena za njihovu proizvodnju i gradnju. Ukoliko se imaju u vidu i troškovi održavanja EE, koji takođe odnose energiju koja se mora uzeti iz drugih izvora, proizilazi da je njihov neto energetski učinak dosta skroman. Jedva da vrata, ako uopšte vrata, energiju koja je utrošena za njihovu izgradnju. Zato autor, koji se profesionalno bavi i analizom uticaja na ekološko okruženje, mora da potseti na dva ekološka postulata koja su potpuno prenebregnuta: • Za sve treba platiti. • Sve je međusobno veoma tesno povezano.
- Upravo zbog ovih ekoloških razloga sve se čvrše konsoliduje i jača otpor masovnom građenju EE. Nedavno je u našoj štampi bio objavljen vrlo instruktivan članak pod naslovom "La Manča ponovo protiv vetrenjača" u kome se dosta slikovito, uz poređenje sa Servantesovim junakom koji je jurišao na vetrenjače, na vrlo dokumentovan način opisuje otpor žitelja španske provincije La Manče, koji su listom ustali protiv toga da se na njihovom području grade farme EE. Oni su protiv vetrenjača upravo iz pomenutih ekoloških razloga, jer farme vetrogeneratora razaranja ekološki sklad i ravnotežu na veoma velikim prostranstvima.
- U jednoj neobjavljenoj, prenatlašeno optimističkoj analizi, kao najpogodnija mesta u Srbiji i Crnoj Gori za instaliranje farmi vetrogeneratora nabrajaju se Stara planina, Ozren, Vlasina, Zlatibor, Tara, Deliblatska peščara, Durmitor, Bjelasica, Kopaonik, Divčibare, kao i priobalni pojas Crnogorskog primorja. Da li ste zapazili da se u najvećem broju slučajeva radi o nacionalnim parkovima, rezervatima, zonama posebnih prirodnih vrednosti nadnacionalnog značaja, ili se radi o zonama koje već sada imaju intenzivnu turističku valorizaciju, sa planovima da upravo u tim najatraktivnijim planinskim i primorskim područjima okosnica

ekonomskog razvoja bude turizam. A turizam se ne razvija usred velikih farmi vetrenjača koje brundaju sa 80-tak dB! Autor i pored brojnih pokušaja nije mogao da napravi misaoni eksperiment, da zamisli padine Durmitora (nacionalni park - rezervat biosfere pod zaštitom UNESCO-a), Bjelasice (nacionalni park), Stare Planine (park prirode), Tare (nacionalni park), Zlatibora (najveće turističko središte), itd. - zaposednute beskrajnim farmama EE, koje uništavaju najveću dragocenost – pejzažne vrednosti i planinski mir za ljude i divljač. Zamislite na Durmitoru ili Zlatiboru beskrajne nizove vetrogeneratora, na rastojanju 5D×7D, kako se obično razmeštaju na "farmi"! Zar je to ekološki najčistiji vid energije? (Dok se ovaj članak rediguje sa pompom se najavljuje izgradnja 'farme' vetrenjača u Deliblatskoj peščari. Autor, veliki ljubitelj prirode, a posebno tog divnog ekološkog lokaliteta, unapred saoseća sa mnoštvom divljači koja sada obitava u šumama Peščare, koje će takav projekat trajno isterati iz tog njihovog mirnog staništa. One nemaju gde da odu, jer se svuda oko njih nalaze polja sa monokulturama, koje ne mogu da budu njihovo životno stanište! I sve to zarad bednog energetskog učinka, kojim se jedva uspeva da vrati – tokom čitavog perioda eksploatacije tih elektrana – samo primarna energije koja je utrošena za njihovo građenje).

- U najnovije vreme, upravo dok se ovaj članak rediguje, objavljeni su podaci da je naglo splasao 'vetro entuzijazam' u Danskoj i Nemčkoj, ali i drugim zemljama koje su uz pomoć državnih subvencija masovno gradile EE. Pokazalo se kako je sve teže njihovo uklopavanje u EES, uočene su i ekonomske dubioze tih projekata, a takođe, na videlo su izašle i sve brojnije ekološke nevolje koje nastaju usled građenje elektrana na vetar.

Zbog toga se može zaključiti da se u prostornim i meteorološkim uslovima Srbije ne može očekivati masovni razvoj EE, na nivou 'velike energetike'. Svakako će se graditi pojedinačne EE, posebno za podmirivanje potreba usamljenih potrošača (udaljenih gazdinstava, izolovanih malih naselja i vojnih objekata), ali se zbog njihove niske energetske dohodovnosti i pomenutih ekoloških posledica ne može očekivati da se njima izvrši značajnija supstitucija primarne energije. A tamo gde i budu sagrađene, kao one najavljene u Deliblatskoj peščari, ubrzo će razgoliti svu svoju energetsku, ekonomsku i ekološku nesvršishodnost i pogrešnost. Naravno, onima koji su ih zastupali i

izgradili – neće se desiti ništa. Reći će da je njihova ideja odlična, ali da je 'nekonsistentno realizovana'.

### 3.3. ENERGIJA KORIŠĆENJA BIOMASA

Postoji više načina konverzije energije biomasa u korisne oblike energije: (a) neposredno sagorevanje radi dobijanja toplotne energije, (b) digestija - prerada otpadaka životinjskog i biljnog porekla u biogas, kao zamena za zemni gas, (c) prerada biomasa u alkohol (etanol) kao zamena za benzin, (d) proizvodnja biljnih ulja kao zamena za dizel. Prva dva načina konverzije su tradicionalna, dok se druga dva tek u novije vreme uvode u upotrebu, uz veoma oprečne sudove o energetskoj i ekološkoj svrsishodnosti takvih zahvata.

Korišćenjem biomasa podmirivane su od pamtiveka energetske potrebe domaćinstava. Na takav način i sada se koriste za ogrev drvo ili biljni otpadci, dok se stočne izlučevine koriste za stvaranje biogasa u malim digestorima (u Aziji, posebno u Kini i Indiji, ima na milione digestora, uglavnom na seoskim posedima). Tako dobijen biogas može da podmiruje energetske potrebe domaćinstava, a koristi se čak i za pokretanje poljoprivrednih mašina. Znači, nesumnjivo je potpuno opravdana upotreba biomase u tzv. *maloj energetici*, te se ovde taj vid korišćenja neće razmatrati.

Međutim, u novije vreme se dosta govori o korišćenju biomasa u tzv. *velikoj energetici*, bilo za realizaciju većih elektrana na biogas, bilo za masovnu proizvodnju alkohola - etanola (zamena za benzin), bilo za proizvodnju biljnih ulja (zamena za naftu). Euforično se otvaraju novi proizvodni pogoni, pa su i kod nas sa velikom pompom izgrađene dve takve fabrike. (Ona u Šidu je uskoro prestala da proizvodi biodizel i prešla na proizvodnju ulja, jer je uočena ekonomska besmislenost proizvodnje goriva). Upravo zbog takve strateške besmislice došlo je u Svetu do dramatičnog skoka cena hrane, uz razbijanje ranije decenijama stabilnog tržišta žitarica.

U uslovima kada se etanol i biodizel proizvode upravo iz hrane, i to u uslovima eksplozivnog porasta gladi u Svetu, primena biomasa u te svrhe mora se podvrći vrlo ozbiljnoj analizi, pre svega sa stanovišta strateške energetske logike. Takva primena je tehnološki jednostavna, ali se postavljaju sledeća pitanja: (a) ima li smisla praviti velika centralizovana postrojenja za energetsko iskorišćenje biomasa, u okviru većih proizvodnih jedinica, (b) da li je energetski svrsishodno sakupljanje biljnih otpadaka, sa gledišta baznih principa

održavanja ekosistema zahvaljujući kruženju materija u njemu, (c) ima li smisla proizvoditi biogas u okviru većih postrojenja, za koja bi se skupljala i transportovala biomasa sa većih prostora, (d) napokon, ima li smisla u energente pretvarati - ljudsku ili stočnu hranu? Ukoliko se uradi ozbiljnija analiza energetske dohodovnosti, preko prikazanih pokazatelja, odgovori na sva ta pitanja su decidno - negativni!

Veličina proizvodnih jedinica za korišćenje biomasa mora se posmatrati kroz prizmu utroška energije koja je neophodna za koncentraciju biomase na mestu korišćenja. Biljni otpaci (kukuruzovina, slama) imaju malu specifičnu energetska vrednost i zbog toga je besmisleno njihovo prevoženje na veća rastojanja, radi korišćenje u većim termoenergetskim jedinicama. Više bi se utrošilo nafte na rad traktora i mašina za sakupljanje i prevoz tih otpadaka, no što bi se od njih dobilo energije u elektrani. Uostalom, upravo iz tih razloga mnogo kaloričniji lignit se ne transportuje na veća rastojanja, već se sagoreva u termoelektranama, koje se uvek grade u blizini rudnika.

Sakupljanje otpadnih biomasa mora se posmatrati kroz prizmu izuzetno važnog održavanja proizvodnog potencijala i pedološkog stanja zemljišta. Kao što je poznato, za razliku od energije koja "protiče" kroz ekosistem, *materija - kruži u ekosistemu*. To se posebno odnosi na makro i mikro elemente, koji predstavljaju osnovne nutrijente u procesu biljne proizvodnje. Odnosnje svih biljnih otadaka sa polja, čak i kada bi to bilo energetska logično (a nije!), dovelo bi do ubrzanijeg siromašenja zemljišta makro i mikro elementima, koji bi morali da budu nadoknađivani pojačanim unošenjem veštačkih đubriva, za čiju se proizvodnju troše izuzetno velike količine energije. S druge strane, biljni otpaci koji se razlažu na poljima, imaju svoju ulogu i sa gledišta održavanja povoljne fizičke strukture zemljišta, što je vrlo bitno sa gledišta poljoprivredne proizvodnje. Može se pokazati da bi radikalno korišćenje biljnih otpadaka upravo na energetskom planu bilo potpuno pogrešna strategija, koja bi imala dva nepovoljna ishoda: (a) dovela bi do osiromašenja zemljišta i kvarenja njegove fizičke strukture, a time i do pada njegove proizvodnje, koja ima energetska ekvivalent, (b) zahtevala bi znatno veći unos veštačkih đubriva, čija proizvodnja je jedan od najvećih "gutača" energije. Dugoročnije gledano, siromašenje poljoprivrednog zemljišta nelogično je upravo sa energetskog stanovišta: više se energije gubi no što se dobija.

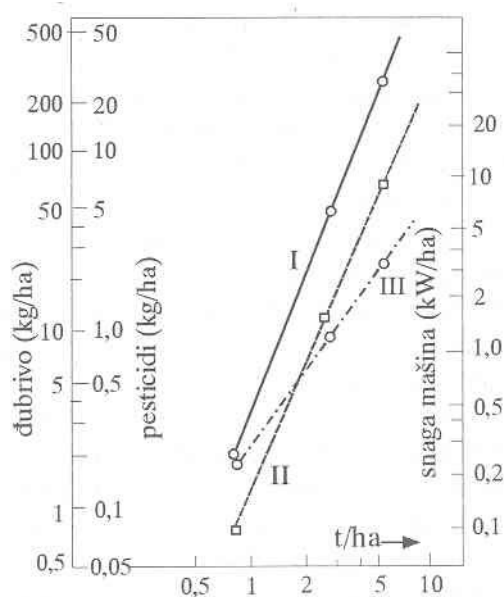
Ima li smisla hranu pretvarati u energiju - suštinsko je energetska, ali i etičko pitanje. Proizvodnja etanola i ulja, kojima se delimično može obaviti zamena benzina ili dizela, svodi se na korišćenje energetska najproduktivnijih biljaka - šećerne trske, slatkog sirka, kukuruza, krompira, uljane repice, manioke - koje predstavljaju osnovne sirovine za proizvodnju ljudske hrane, neposredno, ili posredno, preko stočne hrane. I za čiju se proizvodnju troši neobnovljiva energija, pre svega nafta, za pogon poljoprivrednih mašina, kao i gas i električna energija, za proizvodnju veštačkih đubriva i za destilaciju alkohola.

Taj problem se mora razmotriti sa gledišta energetska bilansa. Šećerna trska, koja je energetska najefikasnija biljka, iskorišćava u procesu fotosinteze samo oko 1,4% sunčeve energije. Iz nje se dobija šećer, koji je ljudska hrana. Zbog velike rasutosti sunčeve energije i malog energetskog učinka čak i najproduktivnijih biljaka, preradom šećera u etanol dobija se poražavajuće nepovoljan ukupni energetska učinak. Prosečna gustina obnovljive energije koja se može dobiti iz biomase najintenzivnije gajenih šuma (godišnji prirast oko  $2 \div 2,5\%$ , što iznosi oko  $6 \div 8 \text{ m}^3/\text{ha}$  drvene mase, pa i  $10 \text{ m}^3/\text{ha}$  u intenzivno gajenim šumama ogrevnog drveta) iznosi oko  $2 \text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{god}$ . Slično je i u slučaju najintenzivnije obrađivanih poljoprivrednih površina, kod kojih se dobijaju poljoprivredni proizvodi čiji je energetska ekvivalent oko  $1,5 \div 2 \text{ kWh}/\text{m}^2\cdot\text{god}$ . Pretvorena u prosečnu snagu, čak i najintenzivnija poljoprivredna proizvodnja iznosi samo oko  $0,2 \text{ MW}/\text{km}^2\cdot\text{god}$ .

Radi očiglednog dokaza energetska nelogičnosti korišćenja biljne proizvodnje za konverziju u tečno gorivo, navode se sledeći bilansni pokazatelji. Ako bi čovečanstvo htelo da izvrši supstituciju energija koju je trošilo pre nekoliko godina (oko 300 kvada,  $1 \text{ Quad} = 293 \text{ TWh}$ ) energijom biomasa, trebalo bi da ima tri puta veće poljoprivredne površine no što ih ima na planeti Zemlji, i da ih isključivo koristi samo za proizvodnju sirovina za preradu u energiju!

Energetska besmislica strateške orijentacije da se bioenergija masovno pretvara u druge energetska vidove (pre svega, u zamene za derivate nafte - etanol i biljna ulja), dobija pravu konotaciju tek kada se napravi energetska bilans takvog posla. Povećanje poljoprivredne proizvodnje, radi ublažavanja problema gladi, čovečanstvo je rešavalo - sve većim unošenjem energije u proizvodnju. Početkom ovog veka, u ekstenzivnoj poljoprivredi, čovečanstvo je u proseku za dobijanje

jednog džula hrane trošilo oko jedan džul energije. Sada se u proseku troši 10 J energije radi dobijanja 1 J hrane (se tendencijom daljeg pogoršavanja tog odnosa), što rečito govori da je poljoprivreda postala jedan od najvećih potrošača energije. *Stalno povećanje specifičnog unosa energije u poljoprivrednu proizvodnju - to je tajna "zelene revolucije"*, kojom je u drugoj polovini XX veka donekle ublažen problem hrane i gladi u svetu. To važi za sve poljoprivredne kulture, pa i kulture iz kojih se može dobijati energija. To se očigledno vidi na slici 4, na kojoj je prikazana zavisnost prinosa žitarica (Odum, 1977) od primene veštačkih đubriva, pesticida i utrošene specifične snage mašina. Zapaža se jedan veoma idikativan podatak: da bi se udvostružio prinos, potrebno je za nekoliko puta povećati unošenje energije, preko đubriva, pesticida i potrebne snage poljoprivrednih mašina. Zbog toga je naivno, ali i vrlo opasno mišljenje da će se borba za hranu dobiti samo genetskim inženjerstvom. Zaboravlja se na ogromne količine energije koje se moraju stalno unositi u poljoprivrednu proizvodnju iz sistemske okoline, neposredno, preko rada mašina, ili posredno, preko đubriva i ostalih unetih materija, radi podrške tih nestabilnih, genetski "dopingovanih" agrocenoza, koje mogu da daju visoke prinose samo u "energetskom blagostanju".



Slika 4. Zavisnost prinosa žitarica od primene đubriva (I), snage mašina (II) i pesticida (III)

Energetska "glad" pri proizvodnji hrane vidi se iz sledećeg bilansa. Za 1t žita sada se troši preko 1700 kWh energije, od čega oko 450 kWh za pogon mašina,

oko 250 kWh za proizvodnju tih mašina, oko 510 kWh za proizvodnju azotnih đubriva (ogromni "gutač" energije!), itd. Analizirajmo sada energetske (ne)logičnosti proizvodnje etanola kao zamene za pogonsko gorivo. Iz 1t šećerne trske, energetski najrentabilnije kulture, može se dobiti oko 100 kg šećera, a od te količine šećera dobija se samo oko 50 L etanola, pogodnog za gorivo. Bilans je energetski poražavajući: za proizvodnju se utroši ne manje od 1500 kWh energenata - najvećim delom iz neobnovljivih izvora, pre svega - nafte, dok je energetska vrednost tog goriva samo oko 700 kWh! Zapazite, još jednom: uložite u proizvodnju primarnu energiju u iznosu ne manjem od 1500 kWh, a dobijete primarnu energiju od 700 kWh! Čista energetska besmislica, sa gledišta bilansa energije unete u proizvodnju i dobijene na izlazu iz čitavog proizvodnog procesa konverzije bioenergije u tečno gorivo. Pa zbog čega se to radi, sledi umesno pitanje. Odluku o tome su doneli svetski centri moći koji su i želeli da izazovu novu najveću krizu u Svetu, krizu razbijenog tržišta hrane i galopirajuće gladi, jer se u takvim uslovima otvara prostor za profitabilno upravljanje krizom.

Zato se može nedvojbeno zaključiti u vezi korišćenja bioenergenata. (a) Pretvarati dragocenu hranu u neki tečni ili bilo kakav drugi energent - nerazumno je upravo se energetskog stanovišta, jer se znatno više neobnovljive energije mora uneti u proizvodnju, no što se može dobiti od proizvedenog alkohola ili ulja. Strateški gledano, problem se može rezimirati potpuno suprotno: *ne treba proizvoditi energiju na račun proizvodnje hrane, već obrnuto, potrebno je obezbediti energiju da bi se moglo da proizvodi više hrane!* (b) Upotreba biomasa za energetske svrhe ima smisla samo na nivou tzv. male energetike, na nivou domaćinstava, ili manjih grupa potrošača. Realizacija velikih postrojenja, za koja je potrebno sakupljati biomasu na širim prostorima i transportovati ih do centralnog postrojenja - nema smisla zbog velikog utroška energije za sakupljanje i transport. (c) Sa sakupljanjem biljnih otpadaka sa njiva treba biti vrlo obazriv, zbog osiromašenja zemljišta, jer se time radikalno narušava dragocen proces kruženja materija u ekosistemu, čime se uništava proizvodni potencijal zemljišta, koji mora da bude kompenziran unošenjem nutrijenata (a time i energije!) sa strane. (d) Pri korišćenju bioenergije treba ići na što manji broj energetskih transformacija. Konverzija na relaciji: *biomasa → biogas → električna energija*, ima smisla samo na mestima gde je zbog nekih drugih razloga koncentrisana velika količina otpadnih

organskih materija (velike stočne farme, postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, u kojima se proces prečišćavanja mulja preostalog u procesu prečišćavanja mora završiti u digestorima, u kojima se kao nusprodukt stvara i biogas, koji se može iskoristiti za proizvodnju električne energije, itd.).

### 3.4. GEOTERMALNA ENERGIJA

Geotermalna energija se iz "esnafskih" razloga sve više prezentira kao energetski spas čovečanstva, te je treba objektivno ocenjivati. Postoji više oblika geotermalne energije: (a) energija vruće vode, koja se dobija bilo na prirodnim izvorima ili bušotinama, (b) geotermalna energija pare, (c) petrotermička energija - energija vrućih stena u velikoj dubini, koja se može koristiti ubacivanjem kroz bušotine hladne vode, koja se zagrejana vraća na površinu (do oko 99°C, u vidu vruće vode, ili do oko 400°C, u vidu pare).

**Geotermalna energija pregrejane pare** može se koristiti za proizvodnju električne energije samo ukoliko pregrejana vodena para ima temperaturu veću od 200°C, a to je moguće samo u područjima vulkanskih aktivnosti i gejzira. U tom slučaju se pregrejana para uvodi u *geotermičku elektranu (GTE)*, koja je dosta slična sa parnim termoelektranama, sa jednom razlikom: umesto parnog kotla parogenerator je priključen na zacevljene bušotine, zatvorene regulacionim ventilima. Sem nekih izuzetaka (Novi Zeland, koji podmiruje deo svojih energetskih potreba iz GTE iz poznatog gejzirnog područja na Severnom ostrvu, gde je temperatura pare oko 200°C, sa dubine samo oko 400÷700 m), do sada je konverzija toplotne u električnu energiju bila dosta skromna, jer se radi o manjim objektima, koji su specifično skuplji od ostalih elektrana. I to u uslovima kada postoji mogućnost energetski znatno unosnijeg neposrednog korišćenja toplotne energije, na racionalniji način. U Italiji u Larderello-u, kraj Sijene, još od 1932. koriste se za proizvodnju električne energije izvori pare temperature 140÷215°C. Više manjih TE snage oko 350 MW proizvode oko 2,5 TWh. Zapaža se postepeno smanjivanje izdašnosti kapaciteta bušotina. Sada se gradi GTE u zoni gejzira na Kamčatki. Međutim, realne mogućnosti konverzije u električnu energiju daleko su ispod euforično preuveličanih procena. Ispostavilo se da GTE nisu ni ekološki besprekorne, kao što se to najavljavalo. Pored uništenja niza unikalnih prirodnih rariteta gejzira, koji su svojevrsna prirodna retkost, ima i drugih propratnih fenomena: inducirani potresi, koncentrisano oslobađanje

H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> i nekih drugih gasova, itd. Posebno treba istaći opasnost od upotrebe freona, jer se jedan od vidova korišćenja geotermalne energije nižih temperatura svodi i na to da se freon koristi kao radni medij, jer isparava na nižim temperaturama, a zatim se on koristi za pokretanje turbina. Kao što je poznato, freon je najveća opasnost za ozonski omotač Zemlje, te njegova masovna upotreba u 'velikoj energetici' donosi veliki ekološki rizik najglobalnijih razmera.

**Geotermalna energija vruće vode.** Na najvećem broju nalazišta geotermalne energije (procena je da je to u preko 80% slučajeva) radi se o izvorištima sa znatno nižim temperaturama, ispod 80÷90°C), tako da nije moguća neposredna konverzija u mehaničku i električnu energiju. Takva izvorišta se mogu veoma uspešno koristiti, ali neposredno, kao termički izvori: za grejanje naselja, za intenzivnu poljoprivrednu proizvodnju u grejanim staklenicima, itd. Nesporo je da tu energiju treba što ažurnije koristiti ('mala energetika'), ali treba upozoriti na velika preterivanja u procenama tih potencijala.

**Energija vrućih stena u dubokim slojevima.** Fenomen da su stenske mase na dubini od oko 5÷10 km zagrejane zbog blizine magme, podstakao je ideje da se to iskoristi za proizvodnju električne energije na sledeći način. Izbuši se bušotina duboka nekoliko kilometara, i na dnu se snažnom eksplozijom stvori kaverna, koju prati šira zona izlomljene stenske mase (neophodno radi ostvarivanja što veće kontaktne površine za prenos toplote sa stene na vodu). Zatim se kraj te bušotine izbuši još jedna. Kroz jednu bušotinu se sa površine upumpava u podzemnu kavernu hladna voda, kroz drugu se napolje izvodi para, koja se koristi u GTE. Naizgled, vrlo jednostavno i - čisto. Međutim, problem je upravo u ekologiji, bezbednosti i trajanju. Potrebna kaverna na dnu se ne može napraviti klasičnim TNT eksplozivom, već se predlaže nuklearna eksplozija (!), ekvivalentna 30÷50 kt trinitrotoluola - TNT (bomba bačena na Hirošimu imala je ekvivalent 20 kt TNT)! Treba li komentarisati ekološku valjanost i bezbednost takvog rešenja? Pre svega, sa radijacionog i seizmičkog stanovišta (radijaciono zagađenje podzemnih voda, efekat Rangely indukovane seizmičnosti, zbog injektiranja vode u podzemlje, ovog puta - podzemlje valjano razdrobljeno i uzdrmano snažnom eksplozijom). Drugi problem je trajanje takve GTE. Početna temperatura pare bila bi oko 200°C, ali se stena tokom stalnog hlađenja vodom i sama hladi, te bi tokom vremena, koje je znatno kraće od veka parogeneratora i turbina,

temperatura spala na nivo koji je nedovoljan za rad GTE. Zasad se sve svodi na matematičke modele. No, postavlja se pitanje elementarne socijalne i ekološke održivosti takvih manijakalnih ideja. Da li možete zamisliti područje na planeti Zemlji čiji bi žitelji prihvatili da se u njihovoj blizini na dubini od nekoliko km izvrši nuklearna eksplozija? A učinak klasičnih eksplozija bio bi sasvim mali - mala kaverna i uzana zona drobljenja, što bi kao rezultat imalo male efekte i vrlo brzo hlađenje. Zato valja otvoreno reći da taj vid konverzije energije ne samo da ne pruža optimističke izgleda za budućnost, već spada u ekstremne energetske destruktivnosti. A te ideje otkrivaju da su njihovi tvorci potpuno izvan sveta realnog i suvislog rasuđivanja.

### 3.5. TOPLOTNE PUMPE

Toplotne pumpe ne proizvode električnu energiju, ali se ovde razmatraju jer imaju sve vidniju i sve izgledniju ulogu za zagrevanje domaćinstava i radnih prostorija, čime se štedi električna energija. Njihov princip rada je inverzan toplotnoj mašini. Toplotne pumpe crpu toplotu sa hladnijeg mesta i prenose tu toplotu na toplije - potrošačko mesto koje treba grejati. Naravno, taj protivprirodni tok toplote (suprotan smeru poznatom iz II principa termodinamike, po kome se toplota prenosi samo sa toplijeg prema hladnijem mestu), omogućen je utroškom - električne energije. Međutim, pošto se radi samo o prebacivanju već postojeće toplote, energetska dohodovnost tako uložene energije je vrlo visoka. Naime, ako toplotna pumpa (TP) uzima toplotu iz sredine sa temperaturom  $t_2$ , a prenosi je u sredinu sa temperaturom  $t_1$ , tada je njena granična teorijska efektivnost  $\xi_t$ , kao odnos prenete toplote i utrošene električne energije, jednaka:

$$\xi_t = (t_1 + 273 \text{ }^\circ\text{C}) / (t_1 - t_2) \quad (14)$$

Tako na primer, ako se toplota "pumpa" iz vazduha oko kuće, koji je na  $0^\circ\text{C}$ , a prenosi se na radijatore koji se zagrevaju na  $60^\circ\text{C}$ , tada je teoretska efektivnost  $\xi_t=5,55!$  Ne radi se, naravno, o "perpetum mobile", jer nije u pitanju proizvodnja energije, već veoma efikasano prebacivanje, što znači da bi u pomenutom slučaju bilo prebačeno čak 5,55 puta više energije no što je utrošeno električne energije za pogon toplotne pumpe. Iz jednačine (14) je jasno da je efektivnost veća ukoliko je razlika temperatura ( $t_1 - t_2$ ) manja, tj. ako se toplota "pumpa" sa toplijeg mesta (iz reke ili jezera). Međutim, pogledajmo ceo energetska bilans. Energetska efikasnost termoelektrana iznosi oko 30÷40%, jer se u električnu energiju pretvara samo oko 30÷40 % toplotne energije, dok je ostalo otpadna toplota, koja se ne može izbeći.

Kada bi se za grejanje umesto električnih grejalica upotrebljavale toplotne pumpe, sa efikasnošću u prenosu oko  $\xi_t = 6$ , tada bi se dobilo oko dva puta više toplotne energije nego što je proizvedeno izgaranjem goriva u termoelektrani. Strateški gledano, to je valjan put za rešavanje problema grejanja. Pa zbog čega se TP ne koriste masovnije? Razlozi su: veća početna ulaganja, neadekvatno vrednovanje električne energije i - tradicionalizam. Potrebne su veće početne investicije, još u fazi građenja zgrada, u odnosu na jeftine električne grejne jedinice. To je strateška greška ne samo kod nas, već greška i na globalnijem, svetskom planu. Sa dubljim ulaskom u energetska krizu, postoje indikacije da će se svet sve više okretati tom veoma efikasnom načinu grejanja.

### 3.6. KORIŠĆENJE ENERGIJE MORA

U medijima se sve češće javljaju 'energetski spasioci' čovečanstva tekstovima o neiscrpoj obnovljivoj energiji koja se može dobiti iz mora. Mada Srbija nema mora, ovde će se samo kratko pomenuti neki od najčešće pominjanih načina konverzije energije iz mora, tek koliko da se u sve to unese neophodno otrežnjenje i suvislo energetska rasuđivanje, sa gledišta analize šta se energetska dobija, a šta gubi takvim uređajima.

#### 3.6.1. Energija morskih talasa

Nije sporno da morski talasi raspolažu velikom energijom. Problem je u tome što se radi o veoma rasutom energetska izvoru, čije se korišćenje nikako ne može koncentrisati na užoj lokaciji.

Ukoliko su karakteristike talasa kao na slici 5, prema linearnoj teoriji talasa malih amplituda, uz uslov da je  $d/L > 1/2$  (talasi u dubokoj vodi), mogu se odrediti parametri talasa po relacijama:

$$\text{dužina: } L = gT^2/2\pi, \text{ brzina: } v = \sqrt{gL/2\pi},$$

$$\text{period talasa } T = \sqrt{2\pi L/g} \quad (15)$$

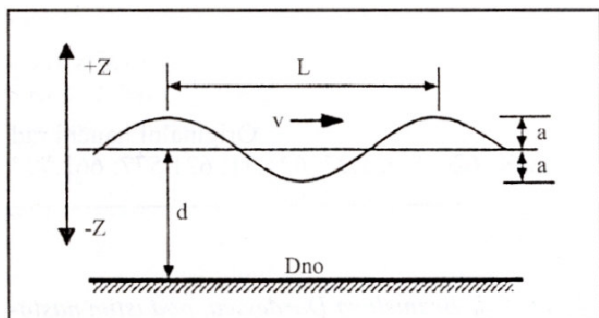
Ukupna energija (E) koju poseduje talas jedne valne dužine (L), na jedinicu širine iznosi:  $E = \rho g H^2 L/8$ , gde je  $H = 2a$ , te je specifična energija  $E_s = E/L$ :

$$E_s = \rho g H^2/8 \quad [\text{J/m}^2] \quad (16)$$

Specifična snaga talasa na površini mora varira od nule (u periodu bonace), do oko  $10 \text{ kW/m}^2$ , pri najvećim talasima. Prosečna vrednost snage talasa na severu Atlantika je oko  $4 \text{ kW/m}^2$ . Radi se o vrlo velikoj snazi i energiji (procena je da je snaga talasa duž obala svetskih mora oko 1 TW). Velike mane tog izvora energije su:



(a) ta snaga je veoma rasuta, (b) snaga talasa je najveća na površini i naglo opada sa dubinom, tako da je korišćenje moguće samo sa objektima na površini mora, (c) uslovi za konverziju energije talasa u električnu energiju su ekonomski i ekološki vrlo problematični.



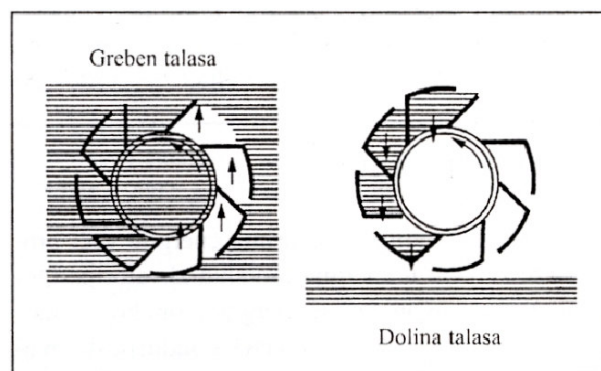
Slika 5. Geometrijske karakteristike morskog talasa

Pronalazači se utrkuju u maštovitosti crtajući uređaje za korišćenje snage talasa u tzv. Posejdonovim elektranama. Jedan pristup je da se duž obale u dugom nizu, na rastojanju valne dužine, postave plutače. U plutačama se nalaze cilindri sa klipovima koji su krutim štapovima fiksirani za dno. Prilikom podizanja i spuštanja plutača na talasima, cilindar se pomera u odnosu na nepokretan klip, čime pumpa vodu na veću visinu, odakle se ona koristi na već jasan način, kroz turbinu. Varijanta te ideje je da se pri podizanju i spuštanju plutače ne pumpa voda, već da se komprimira vazduh, koji se zatim koristi za pogon vazdušne turbine. I još jedna podvarijanta tog sistema: kretanje klipa se preko prenosnika pretvara u rotaciono kretanje, što bi omogućilo da se na svakoj plutači ugradi po mali agregat za proizvodnju električne energije.

Postoji još jedna ideja: plutače - plovci na površini vezani su sa klipom koji se nalazi u cilindru koji je u vertikalnom položaju fiksiran za dno. Plutača osciluje gore-dole i klip proteruje vodu kroz malu turbinu koja se takođe nalazi na dnu. Sve je to vrlo maštovito i verovatno bi i funkcionisalo, ali analize pokazuju da takvi uređaji boga Posejdona ne bi vratili primarnu energiju koja je utrošena za njihovo građenje.

Drugi pristup je da se energije talasa pretvara u rotacionu energiju aluminijumskih cilindara. Cilindri rotiraju zbog nesimetričnog punjenja komora (slika 6) pri nailasku talasa, i zbog težine ispunjenih komora, pri spuštanju talasa. Spojeni u dugom nizu, cilindri rotaciono kretanje preko zglobnih veza prenose na agregat - generator.

Napravljeno je jedno eksperimentalno postrojenje, koje se sastoji od niza pontona, postavljenih jedan uz drugi, međusobno spojenih vratilima, tako da se prilikom različitog povijanja pontona pod udarom talasa, stvara energija rotacije vratila. To vratilo prolazi kroz sve pontone, međusobno povezano zglobnim vezama, tako da je jedinstveno za ceo niz pontona. Na kraju tog niza se nalazi turbina na koju se prenosi to zbirno rotaciono kretanje. Jedna od varijanta je da se tako dobijena energije iskoristi za komprimiranje vazduha u vazдушnim rezervoarima, tako da sabijen vazduh pokreće vazдушnu turbinu. U Japanu je u pogonu eksperimentalni brod-elektrana, koja energiju ljuljanja broda usled talasa transformiše u energiju rotacije, a zatim u električnu energiju. Ogroman brod, a proizvedena snaga manja od 2 MW!



Slika 6. Princip talasnog rotora

U slučaju Posejdonovih elektrana ideje su vrlo maštovite - na crtačem stolu. Da bi čitalac sam mogao da proceni da li je korišćenje talasa energetski i ekološki logično, evo jednog podatka, iz analiza Politehnike u Lankasteru. Da bi se realizovao objekat od 20 MW u ekstremno povoljnim uslovima (najveći talasi), potrebne su 25 plivajuće konstrukcije, svaka dužine od 200 m! Zamislite: punih 5 km obale je zaposednuto i okovano plivajućim pontonima koji se ljuļaju i škripe, da bi se proizvelo 20 MW snage, ali samo onda kada su talasi ekstremno visoki (manje od 5% na liniji trajanja snage). Treba zamisliti tu ogromnu količinu materijala (zapazili ste varijantu sa aluminijumskim rotorima?), za čiju je proizvodnju potrebna ogromna količina upravo - električne energije. A šta ćemo sa činjenicom da je i morska obala najvrednije nacionalno dobro jedne zemlje, koje se mnogo rentabilnije koristi za turizam, odmor i rekreaciju? Gruba analiza koja je urađena za elektranu sa pontonskim krilima, međusobno spojenim vratilima sa zglobnim vezama, pokazuje da bi vreme vraćanja

uložene energije bilo ne manje od 15 godina. Nije računato sa energijom potrebom za vrlo složeno održavanje takvih postrojenja u agresivnoj morskoj vodi. Sasvim je izvesno da takva elektrana ne bi mogla da fizički preživi taj period vraćanja uložene energije, imajući u vidu korozivnu agresivnost morske vode i delikatnost zglobnih veza pontona i vratila. Vrednost izgubljenog prirodnog resursa, zbog devastacije obale kao morskog dobra, nije uračunata, ali je izuzetno visoka.

### 3.6.2. Energija temelnih gradijenata toplih mora

Pošto je temperatura vode na površini toplih mora  $25\div 30^{\circ}\text{C}$ , a na dubini od oko  $700\div 900$  m oko  $4\div 6^{\circ}\text{C}$ , postoji mogućnost da se ta razlika, korišćenjem baznih principa termodinamike, iskoristi za proizvodnju energije. Princip je sa gledišta zakona fizike jednostavan: topla voda, zahvaćena iz gornjeg, toplog sloja mora iskoristila bi se za isparavanje freona ili amonijaka, čije su tačke ključanja oko  $25^{\circ}\text{C}$ . Para freona pokreće turbo-generator, na izlazu iz turbine hladi se vodom koja se pumpama dovodi sa dubine od oko 900 m, pretvara se ponovo u tečno stanje i vraća u radni ciklus. Varijanta tog sistema je da se posebnom vakum pumpom u sistemu obori pritisak na samo oko 3,5 kPa, tako da na tako niskom pritisku može da ekspandira u paru i morska voda, temperature oko  $27^{\circ}\text{C}$ . To bi omogućilo da se istovremeno proizvodi pitka voda i električna energija. Eksperimentiše se sa pilot-postrojenjima snage  $25\div 50$  kW (Havaji, Karibi, Japan, Francuska). Urađen je projekat elektrane od 5,5 MW, koji energetski i ekonomski nije ohrabrujući: neto snaga je 3,5 MW, jer se 2 MW utoši na pumpanje hladne vode sa dubine od oko 700 m, a cena energije bi bila nekoliko puta veća od energije iz klasičnih elektrana. Zbog male razlike pritiska turbine su veoma velikih prečnika (radno kolo 8 m).

To je tehnički moguć sistem, ali sa niskim k.k.d. konverzije toplotne u mehaničku energiju. Prema zakonima termodinamike, teorijski k.k.d.  $\eta_t$  toplotne mašine (bez toplotnih i mehaničkih gubitaka), čija je ulazna temperatura  $t_1$ , a izlazna  $t_2$ , iznosi:

$$\eta_t = (t_1 - t_2) / (t_1 + 273^{\circ}\text{C}) \quad (17)$$

To znači, da je čak i u slučaju vrlo toplih mora, kod kojih su  $t_1=30^{\circ}\text{C}$ ,  $t_2= 5^{\circ}\text{C}$ ,  $\eta_t$  samo oko 8%. Ta niska energetska dohodovnost je razlog što je taj sistem konverzije i ekonomski dubiozan. Međutim, taj pristup nije ni ekološki bezazlen, kao što na prvi pogled izgleda. Naime, upotreba freona je opasna - dugoročno ekološki gledano, jer je on glavni uzročnik razaranja ozonskog

sloja iznad Zemlje. Sistem je opasan i za okolnu morsku faunu i floru, u slučaju nekih gubitaka radnog medija. Realno bi se moglo očekivati da taj sistem konverzije energije doživi primenu samo za snabdevanje nekih dosta izolovanih ostrva u toplim morima. I u tom slučaju je energetska dohodovnost veoma dubiozna, sa vremenom vraćanja energije koje je približno vremenu trajanja takvog postrojenja. Drugim rečima, taj način proizvodnje u suštini i nije obnovljiv izvor energije.

### 3.6.3. Energija morskih struja

U morima i okeanima postoje stabilne morske struje, lokacijski dosta određene. To je dalo ideju da se njihova kinetička energije iskoristi za proizvodnju električne energije. Problem je u tome što se čak i najpoznatije morske struje kreću - veoma sporo! Tako Golfska struja na najbržem mestu, na izlasku iz Floridskog prolaza, ima brzinu od samo 9 km/dan ( $10,4$  cm/s), a slična je brzina i ostalih struja (u Jadranu su brzine oko 8 cm/s). Zato kao gubljenje elementarnih energetskih rezona (utrošak energije za izgradnju uređaja treba da bude znatno manji od energije koja će se dobiti tim uređajem!) deluje ideja kinetička energije struje čija je brzina 10 cm/s?! Nije u pitanju samo novac, u pitanju je elementarna energetska dohodovnost - i elementarna zdrava pamet. A takva radna kola i celokupna oprema koja ih prati, morala bi se često menjati, zbog korozije metala u agresivnoj morskoj vodi! Očigledno je da se radi o idejama koje će i završiti u arhivama patentnih biroa.

### 3.6.4. Energija osmoze

Proces osmoze je dobro poznat, jer se sve češće koristi za dobijanje pitke vode u pustinjskim zemljama. Ako se između slane i slatke vode postavi polupropusna membrana, ona sprečava prolaz česticama rastvorene soli. Usled toga stvara se osmotski pritisak, koji podiže nivo slane u odnosu na nivo slatke vode. Kao rezultat osmoze dobija se slatka voda, i - denivelacija nivoa između slane i slatke vode. Sada su se pojavili mudrijaši koji su zaključili da se taj fenomen može iskoristiti - za pokretanje turbina!? I dok je prvi deo zadatka kao što je navedeno - nesumnjiv, energetska primena je krajnje dubiozna, upravo zbog toga što takvi uređaji imaju veoma nepovoljan odnos uložene i dobijene energije.

## 4. ZAKLJUČCI

- Suštinsko pitanje - da li neki energetski izvor zaista spada u kategorije obnovljive energije - razmatra se preko objektivnih pokazatelja, zasnovanih na bilansu energija koje se utroše u procesu izrade proizvodnih uređaja, kao i tokom njihovog korišćenja i održavanja, s

jedne strane, i energetske prihode koji se ostvare tokom eksploatacije, sa druge strane Uvedena su tri pokazatelja: (1) vreme vraćanja primarne energije utrošene za građenje postrojenja ( $\theta_v$ ), (2) vreme vraćanja energije za izgradnju i održavanje postrojenja ( $\theta_1$ ), (3) indeks strateškog prioriteta izvora energije i/ili investicionih mera štednje (ISP).

- Hidroenergija je jedini obnovljiv izvor energije koji, zahvaljujući velikom stepenu koncentracije, omogućava vrlo racionalno korišćenje u okviru velikih energetske sistema. Izražena je tendencija da se ekonomski iskoristiv potencijal povećava tokom vremena, tako da se može računati da će se u toj kategoriji naći sav tehnički iskoristiv hidropotencijal koji je prostornim planiranjem stavljen pod zaštitu od obezvređivanja. Hidroelektrane imaju najveći indeks strateškog prioriteta (ISP), koji predstavlja objektiviziran pokazatelj energetske dohodovnosti, te kao takve moraju imati apsolutni prioritet u strategijama energetske razvoja.

- Korišćenje drugih ovde razmatranih obnovljivih izvora (Sunce, vetar, biomase, geotermalna energija) veoma je otežano zbog njihove velike rasutosti. Zbog toga se oni mogu koristiti najvećim delom u okviru tzv. male energetike, pre svega za zadovoljenje toplotnih potreba nižih temperatura (grejanje, priprema potrošne tople vode, klimatizacija, itd). Njihovo neposredno korišćenje, uz što manji broj konverzija, korisno je kao oblik substitucije energije preuzete iz velikih sistema, te kao takvo treba da bude podržavano merama državne politike. Preporuka EU o postepenom povećavanju korišćenja obnovljivih energija, ima najveći značaj upravo u domenu supstitucije energije koja se preuzima iz velikih sistema.

- Znatno su ograničenije mogućnosti korišćenja tih rasutih obnovljivih izvora u tzv. velikoj energetici, za visokotemperaturne potrebe (proizvodnja električne energije, procesna toplota). Zbog toga je nužno da se njihovo korišćenje prethodno detaljno analizira sa gledišta energetske dohodovnosti, upoređivanjem svih energetske rashoda - za izgradnju postrojenja, njihov pogon i održavanje (uključiv i izgubljene energiju na zaposednutom prostoru), i energetske prihode - energije koja se dobija tokom korišćenja postrojenja. U skladu sa tim, neophodno je da se odredi vreme vraćanja primarne energije utrošene za građenje i održavanje izvora energije, kao i da se kvantifikuje indeks strateškog prioriteta izvora energije. Tek se na osnovu takvih analiza može egzaktno utvrditi da li se zaista radi o obnovljivim energijama, ili se radi o previdu, zbog toga što nisu uzete u obzir ukupna energija utrošena za izradu

i održavanje postrojenja. Zbog toga je vrlo bitan zaključak da neki od navodno obnovljivih izvora energije u suštini to nisu, jer se više primarne energije utroši za njihovu izradu i održavanje no što ti uređaji proizvedu energije u čitavim svom periodu eksploatacije.

- Mere stimulacije korišćenja obnovljivih izvora energije (fiskalnom politikom, organizacionim merama) ima smisla samo ukoliko se putem objektivne analize prihoda i rashoda energije pokaže da se zaista radi o merama koje imaju energetske logiku - energetske prihodi su dovoljno veći od ukupnih energetske rashoda. Neargumentovano forsiranje nekih obnovljivih izvora, čija postrojenja zbog velike rasutosti energije nisu dovoljno energetske dohodovna - predstavljalo bi grešku sa najtežim posledicama. To bi čovečanstvo uputilo na stratešku energetske stranputicu, opasniju od one koja je dovela do razaranja ekonomija država sa centralističkim, netržišnim planiranjem.

- Posebno zabrinjava što se u novije vreme sve više podstiče proizvodnja tečnih goriva od biomasa, u suštini - od hrane. Energetske analize nedvojbeno pokazuju da takva mera nema ni energetske, ekonomske i ekološke logiku, jer se proizvede oko dva puta manje energije od primarne energije koja se utroši u procesu proizvodnje. Ujedno, proizvodnja goriva iz hrane je i ekološki veoma opasna mera, jer dovodi do krčenja tropskih šuma i do uništavanja dragocenih biodiverziteta. A o (ne)etičkoj dimenziji takve proizvodnje ne treba ni govoriti.

- Najveći efekat imaju mere planske racionalizacije potrošnje, pri čemu se posebno izdvajaju: nužnost utvrđivanja i striktnog poštovanja propisa za toplotnu izolaciju zgrada, kao i donošenje regulative po kojoj se u promet mogu da stavljaju samo proizvodi koji su atestirani sa gledišta energetske racionalnosti. Veliki energetske učinak imaju i sistemi grejanja sa toplotnim pumpama, koje će svoj pravi značaj iskazati u uslovima adekvatnog vrednovanja energije. Njih treba stimulisati merama fiskalne politike.

## LITERATURA

- [1] Bartelnus, P. (1986): *Environment and Development*, RSC., London.
- [2] Daniels, F. (1988): *Direct Use of the Sun's Energy*, Ballantine Books, NY.
- [3] Dorf, R.C. (1991): *The Energy Factbook*, McGraw-Hill, New York.
- [4] EDF (1988), Bulletin N° 4.
- [5] Gulliver, J.S. (1991): *Hydropower Engineering Handbook*, McGraw-Hill.

- [6] Đorđević, B. (1990): *Vodoprivredni sistemi*, Naučna knjiga, Beograd.
- [7] Djordjevic, B. (1993): *Cybernetics in Water Resources management*, WRP, Fort Colins.
- [8] Đorđević, B. (1998): Hidroenergetika Jugoslavije. Stanje i pravci daljeg razvoja, *Energija*.
- [9] Đorđević, B. (2001, 2002): Prilog objektivnijem vrednovanju obnovljive energije, I i II, *Elektroprivreda*, N° 4 (2001) i N° 1 (2002).
- [10] Đorđević, B. (2001): Hidroenergetsko korišćenje voda, Građevinski fakultet, Beograd
- [11] Lambert, M. (1986): *Future Sources of Energy*, Hove.
- [12] Odum, E.P. (1977): *Fundamentals of Ecology*, W.B.Saunders Co., London.
- [13] Paar, V. (1984): *Energetska kriza*, Školska knjiga, Zagreb.
- [14] Požar, H. (1987): *Osnove energetike, I i II*, Školska knjiga, Zagreb.
- [15] Ristić, M. (1981): *Opšta energetika*, Mašinski fakultet, Beograd.
- [16] Stojić, P. (1995): *Hidroenergetika*, Građevinski fakultet, Split.
- [17] Udovičić, B. (1993): *Elektroenergetika*, Školska knjiga, Zagreb.
- [18] Udovičić, B. (1988): Energija, društvo i okolina, I, II & III, Građevinska knjiga, Beograd
- [19] Udovičić, B. (1989): Energija i okolina, knjiga IV, Građevinska knjiga, Beograd
- [20] Watson, D. (1989): *Energy Conservation Through Building Design*, McGraw-Hill.
- [21] Feretić, D. i drugi (2000): *Elektrane i okoliš*, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb

## MORE OBJECTIVE EVALUATION OF RENEWABLE SOURCES

by

Branislav ĐORĐEVIĆ

Full Member of the Academy of Engineering Sciences of Serbia  
Member of Serbian Scientific Society

### Summary

The paper presents a new approach for valuation of hydropower potential, in the context of all energetic renewable and nonrenewable sources. Contemporary trends are mainly the increase of higher installed capacity of new power plants and upgrading of existing ones, increase the part of technically usable potential that became also economically usable. Feasibility of hydropower generation becomes: any power plant is economically justified if it produces cheaper energy than thermal and nuclear power plants, taking into account also the expenses for environmental protection. The author defines relations: (1) the time of return of energy used for construction of power plants, (2) the time of return of energy used for construction, maintenance and exploitation of energetic sources and energy lost due to occupying of premises; (3) index of strategic priority of

energetic sources. This relations show clear that hydropower potential is best renewable energetic source. The paper also deals with most frequently mentioned forms of renewable energy – energy from the sun, wind, bioenergy, etc. Through analysis of mentioned indexes, low energy income from those sources of renewable energy is shown. Other renewable sources of energy are also considered in this paper and conclusions are given on undoubtedly great advantages of hydro potential compared to all other renewable resources.

Key words: renewable energy, hydropower potential, evaluation, the time of return of energy used for construction, maintenance and exploitation of energetic sources.

Redigovano 06.06.2008.