

VREDNOVANJE HIDROENERGETSKIH POTENCIJALA U POREĐENJU SA DRUGIM OBNOVLJIVIM ENERGIJAMA

Branislav ĐORĐEVIĆ
Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu
E-mail: branko@grf.bg.ac.yu

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

REZIME

Prikazuje se nova metodika koju je razvio autor za vrednovanje hidroenergetskih potencijala, u okviru svih obnovljivih i neobnovljivih izvora energije. Pokazuje se da će se u najskorijoj budućnosti najveći deo tehnički iskoristivog potencijala naći u kategoriji ekonomski iskoristivog potencijala. Postoji tendencija povećavanja instalisane snage hidroelektrana, imajući u vidu njihovu ulogu u pokrivanju vršne snage i energije u EES, što nameće potrebu projektovanja njihovog faznog razvoja. Uvode se pokazatelji vremena vraćanja uložene energije za izgradnju i održavanje energetskih izvora, indeks strateškog prioriteta izvora energije ili mere racionalizacije. Pokazuje se neosporna prednost hidroenergije u odnosu na sve druge obnovljive izvore.

Ključne reči: hidroenergetski potencijali, vrednovanje, obnovljiva energija, primarna energija, vreme vraćanja utrošene energije, energije Sunca, vetra, biomasa i geotermalna energija

1. UVOD

Zaoštavanje energetskih problema u svetu, izazvano sve bržim iscrpljivanjem neobnovljivih energetskih resursa - učinilo je da se sve veća pažnja posvećuje obnovljivim izvorima energije. U okviru obnovljivih energetskih resursa posebno mesto zauzima hidro energija, kao jedini koncentrisani izvor obnovljive energije, sa vrlo visokom ukupnom energetskom dohodovnošću. Zbog toga u novije vreme sve veći deo tehnički iskoristivog hidro potencijala prelazi u kategoriju ekonomski iskoristivog potencijala. Može se smatrati da će se u doglednoj budućnosti ukupan tehnički iskoristiv hidropotencijal, onaj koji je stavljen

pod posebnu društvenu zaštitu (prostornim planovima i drugim merama čuvanja od obezvređivanja namene prostora i vodnih potencijala) - naći u kategoriji ekonomski iskoristivog potencijala. 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: ekonomične 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 energetskoj izvedbi; (4) uvođenje novih HE 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 ekonomične eksploatacija mnogih ranije neekonomičnih hidro potencijala.

I pored tih neospornih globalnih tendencija koje nameće energetska i ekološka realnost, često se u energetski 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, koje se

sasvim neopravdano optužuju za ekološku destrukciju životne sredine. 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, aluminijuma, bakra, stakla, plastike, betona, itd.), do kojih se dolazi utroškom velikih količina energija, tako da je njihova ukupna neto energetska dohodovnost dosta mala; (c) za neke obnovljive resurse, kao što je npr. bioenergija, troši se velika količina druge energije (nafta) za proizvodnju i sakupljanje biomase, što se začuđujuće često previđa; (d) neki obnovljivi resursi (vetar, energija Sunca) vremenski su vrlo promenljivi, tako da njihovo korišćenje ne smanjuje potrebnu instalisanu snagu drugih elektrana, tako da je svaki takav izvor 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, odnosno, moraju se pojačano koristiti prljave tehnologije za dobijanje materijala koji su potrebni za njihovo korišćenje.

Zbog toga se obnovljivi energetske resursi moraju brižljivo razmatrati upravo se energetskeg 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 materijala, 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 kvantificiraju energetske performanse pojedinih tipova elektrana i energetske izvora. Ti pokazatelji se zasnivaju na objektivnom kvantificiranju i upoređivanju količina energije koje se utroše na izgradnju energetske proizvodnje postrojenja, s jedne strane, i količine energije koju ta postrojenja mogu da proizvedu tokom čitave svoje eksploatacije.

2. POKAZATELJI ENERGETSKE DOHODOVNOSTI

Razgraničenje energetske efektivnosti i svrsishodnosti korišćenja pojedinih obnovljivih, ali i neobnovljivih

izvora energije, kao i ocenjivanje opravdanosti pojedinih investicionih mera za racionalizaciju potrošnje, može se obaviti samo ukoliko se uvedu objektivni pokazatelji energetske dohodovnosti. Smisao tih pokazatelja je da kvantificiraju odnose ukupnih rashoda i prihoda energije - tokom izrade i eksploatacije izvora energije, ili tokom sprovođenja mera za štednju energije.

Rashode energije predstavlja suma svih primarnih energija koje se utroše za izgradnju postrojenja / elektrane, 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, 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 energetskeg izvora, odnosno, koja se uštedi kao rezultat primene tih dodatnih investicionih, u suštini - energetske 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.

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 energetskeg 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, tečna goriva, itd); EE - električna energija utrošena za realizaciju postrojenja; η_k - koeficijent korisnog dejstva (k.k.d.) u procesu konverzije goriva (ugalj, gas, tečna goriva) u električnu

energiju, $\eta_k = (t_1 - t_0)/(t_1 + 273^\circ\text{C})$, 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); η_u - k.k.d. uređaja pri konverziji u korisnu energiju; η_{op} - nominalni srednji stepen iskorišćenja snage uređaja.

Utrošena primarna enegija (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, te se ostvarena snaga iskazuje krivom trajanja snage $N(t)$, tada se 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.

U slučaju da se konverzija obavlja u električnu energiju, dobijena energija ima energetske ekvivalent uštedene primarne energije DPE:

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

Vreme vraćanja primarne energije (θ_v) koja je utrošena za izgradnju / proizvodnju postrojenja, ili za sprovođenje investicionih mera racionalizacije potrošnje, tada se može definisati kao:

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

Okvirne analize pokazuju da se po ovom pokazatelju θ_v najbrže vraća energija utrošena za izgradnju većih termoelektrana i gasnih elektrana, kod kojih je θ_v oko

godinu dana. Slede hidroelektrane racionalnih priborskih tipova, kod kojih je taj pokazatelj θ_v oko 1,5 ÷ 2 godine. Izrazito su dohodovne i nuklearne elektrane, kod koji je θ_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 θ_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 vrata primarnu energiju koja je utrošena za njihovu izgradnju. U tu kategoriju spadaju neki tipovi solarnih uređaja.

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 produktivnog prostora. U tom slučaju se primarna energija (UPE_1) utrošena za građenje, održavanje i izgubljena zbog angažovanog prostora, može kvantificirati u iznosu:

$$UPE_1 = PE + EE \cdot k + OE \cdot t_e + BE \quad [J] \quad (6)$$

gde su uvedene nove veličine: OE - primarna energija koja se troši na održavanje postrojenja u toku godine, t_e - period eksploatacije (godina), BE - ukupna energija biomasa koja se tokom čitavog perioda eksploatacije gubi na elektranom zaposednutom prostoru, koji bi se mogao da upotrebi za neki vid proizvodnje biomasa (računajući se turnusima moguće proizvodnje biomasa - ogrevnog drveta ili jednogodišnjih kultura).

Pokazatelj θ_1 vremena vraćanja te utrošene / izgubljene energije može definisati odnosom

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

Taj pokazatelj još objektivnije kvantificira energetske svrsishodnost korišćenja pojedinih vrsta obnovljive energije. On je još nepovoljniji od predhodnog za niz obnovljivih energija, imajući u vidu velike specifične troške energije, koji 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 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 energetske ekvivalent proizvedene i/ili uštedene energije, primenom investicionih mera za uštedu potrošnje energije.

Indeks 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 energetske 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 energetske 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 energetske 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 energetske izvor, čak i ako je u pitanju konverzija obnovljive energije, ne može da nosi atribut "obnovljivosti", jer se za njegovu izradu i održavanje utroši više energije no što on može da proizvede u procesu eksploatacije. Ukoliko se analiziraju investicione mere za racionalizaciju potrošnje, pa se utvrdi da je za takvu meru indeks $ISP < 1$, sasvim je očito da takva mera nema apsolutno nikakvu energetske logiku, jer se više primarne energije izgubi za njeno sprovođenje, no što će se energije uštedeti tokom čitavog perioda eksploatacije.

Usporedne 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, ma da su i mere sanacije već izgrađenih nedovoljno termički zaštićenih zgrada energetske vrlo efikasne. To će se ilustrovati merenjima koja pokazuju da kuća stambene površine 100 m^2 , klasično građena od opeke, bez toplotne izolacije, koja se greje na $20 \text{ }^\circ\text{C}$ dok je napolju $0 \text{ }^\circ\text{C}$, pri brzini vetra od 50 km/h , ima toplotne gubitke ekvivalentne snazi od 12 kW . Ukoliko se izvede toplotna izolacija zidova, poda i tavana, gubljenje toplote se smanjuje na samo oko 6 kW , uz mogućnost dodatnog smanjenja gubitaka ukoliko se klasično zastakljivanje zameni tzv. vakum-staklom, sa boljim britvljenjem pri zatvaranju svih otvora. Merjenja 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 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 energetske 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 najvaljanijih, zajednički vrednovanih energetske 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 apostrofirani kao "energetske budućnost" sveta (npr. solarne elektrane, elektrane na vetar) imaju indeks ISP nešto malo veći od 1 , što znači da se sa gledišta bilansa unete i dobijene energije, jedva mogu da svrstaju u klasu obnovljivih energetske resursa. Samo naizgled paradoksalno, ali potpuno tačno, jer su ti izvori energije veliki potrošači materijala, odnosno energije, po jedinici proizvedene energije.

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 energetske bilansi u najvećem broju zemalja. Međutim, indeks ISP kvantificira jednu logičnu činjenicu da je jedina razumna dugoročna politika jedne zemlje - *da se najpre forsira 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 obavještenoj javnosti proglašavaju za energetske spas planete Zemlje, u nastavku će se razmotriti, sa gledišta uvedenih objektivnih energetske pokazatelja, realne mogućnosti korišćenja i energetske dohodovnosti nekih najčešće apostrofiranih obnovljivih izvora energije. Razmatraće se samo oni izvori koji su u našim uslovima najčešće apostrofirani kao naša energetska budućnost, 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.

ENERGIJA SUNČEVOG ZRAČENJA. Korišćenje energije Sunca je najdrevniji 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

projektima HE, kada su neki naši najugledniji intelektualci tvrdili da naša zemlja može sve svoje elektro-energetske potrebe da zadovolji isključivo korišćenjem energije Sunca i vetra!).

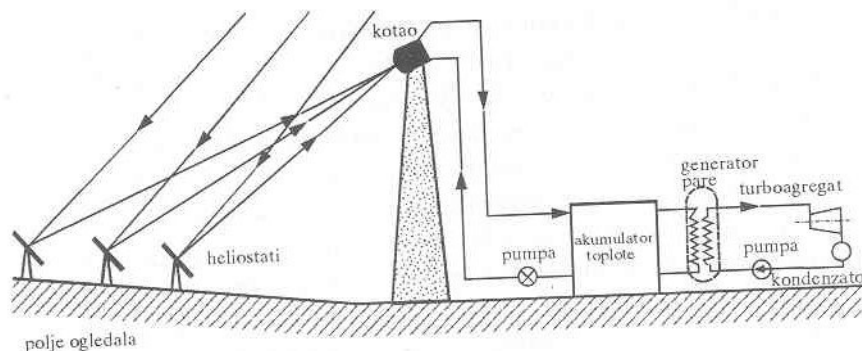
Energije Sunca koja dopire do Zemlje je impresivna, i iznosi oko $1 \cdot 10^9$ TWh/god. To je oko 15 puta više od energije u ukupnim svetskim zalihama uglja. Reklo bi se, na osnovu tih cifara, da bi ta energija mogla da bude glavna energija budućnosti. Postoji, međutim, niz problema koji to jako relativizuju. Prvi je taj što je zračenje Sunca veoma rasut energetske izvor, tako da je prosečni dotok energije jednak snazi od oko 230 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 energetske kategoriju. 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 nepovoljnu asinhronost, tako da je energija Sunca najmanje zimi, upravo kada je najpotrebnija. Treća teškoća su tehnološki problemi konverzije sunčeve energije i još uvek dosta niski koeficijenti korisnosti uređaja.

Za konverziju 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.

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



Slika 1. Solarna elektrana sa centralnim prijemnikom (CRS)

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.

Ključno energetska pitanje je: u kojoj meri je energija solarne elektrane zbilja - obnovljiva? Naizgled neozbiljno pitanje, ali samo za one 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 -

solarne elektrane su neverovatni "gutači" materijala, za čiju su proizvodnju potrebne ogromne količine - 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 svojevrstni 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) no u slučaju TE.

Ukoliko se sračuna energija koja se mora utrošiti za dobijanje energetski vrlo "skupih" materijala ugrađenih u jednu SE (čelik, beton, staklo, plastika, aluminijum, izolacioni materijali), može se izračunati da je vreme vraćanja energije (θ_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 energetsku 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 energetski troškovi održavanja, koje niko nije realno samerio. I što je izuzetno važno da se ne zaboravi: solarna elektrana mora da bude "dublirana" sa odgovarajućom klasičnom elektranom, čiji je rad

neizbežan noću i kada je vreme oblačno. Znači, pomenuti energetske troškovi za izgradnju SE su dodatni, pored onih koji su neizbežni za klasičnu elektranu koja je "dublira". Da li se onda može govoriti o obnovljivoj i ekološki čistoj energiji, kada se zna uz koliko se veliku ekološku i energetske 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 m², 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. Ogledala bi bila raspoređena na površini od preko 4 km². 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, ogledala 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 ogledala neprekidno moraju čistiti, zimi od snega, inja, leda. A učinak? Veoma skroman, što se može ilustrovati eksperimentalnom SE na Krimu. Njena vršna snaga je 5,6 MW, temperatura pare 250 °C, pritisak 40 bara, neto površina ogledala je preko 40.000 m². 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 m², dobija se vrlo interesantan zaključak o "energetskoj dohodovnosti angažovanog prostora": u solarnoj elektrani se po 1 m² angažovane površine dobija oko 1,25 kWh/m²·god električne energije, dok bi se u slučaju da se na toj istoj površini intenzivno (plantažno) gaje šumske kulture, dobijalo oko 2,5 kWh/m²·god energije biomase (godišnji priraštaj drvne mase, koja se može da eksploatiše i koristi za gorivo!). Autor se ne usuđuje da 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 energetske problema čovečanstva!

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 najsazetije. 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 oko - 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.

Fotonaponske ćelije se proizvode tokom zadnjih decenija, zbog rešavanja energetske 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! Znači, ne samo energetska, već i finansijska katastrofa!

U 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 desetina 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 - 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 baš i nisu spektakularno 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.

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 najnužije 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: ρ - gustina vazduha, oko 1,25 kg/m³ 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:

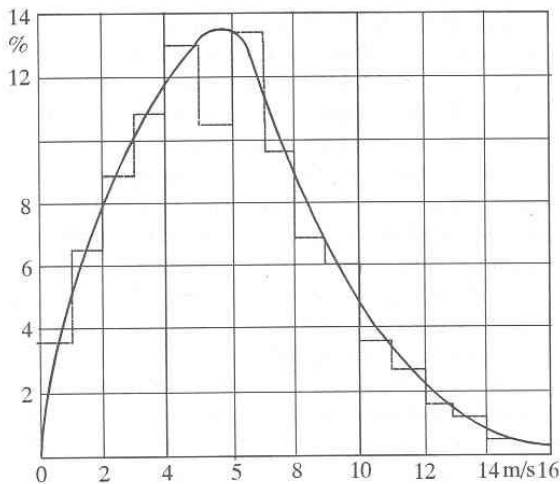
$$P_v = 0,625 \cdot A \cdot v^3 \cdot 10^{-3} \quad [\text{kW}] \quad (11)$$

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:

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



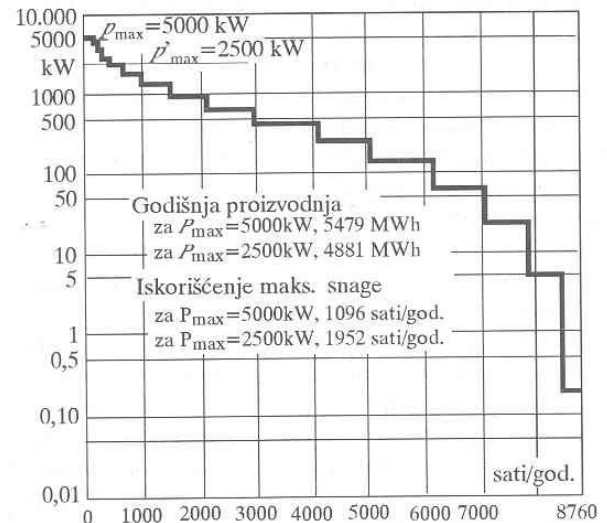
Slika 2. Tipična kriva frekvencije brzine vetra

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.

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 termoelekttranama. 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)

- Proizvodna cena energije na vetrogeneratorima najnovijih generacija nije manja od 7÷8 €/kWh. (Nedavno je jedan energetska ekspert iz Nemačke, koji se upravo zalaže za što masovniju izgradnju elektrana na vetar, na predavanju koje je održao u Inženjerskoj akademiji SCG, naveo podatak da su to opsezi proizvodnih cena u najnovijim elektranama na vetar. Rekao je da je problem što pri apriornom ugovaranju kupovine električne energije od poznatog proizvođača nema interesa za energijom iz takvih izvora, pa će se, kako je rekao, primenjivati "sistem obaveznosti"!?)
- 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

instalirane (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.
- Glorifikacija vetroenergije kao "potpuno čiste energije" - nije utemeljena na realnosti. Obično se zastupnici vetroenergetike pozivaju na sprečavanju posledica emisije GHG (gasovi "staklene 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 nižim delovima i 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 instalirane 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 tvrdnja koja pokazuje ili nepoznavanje ili ignorisanje vrlo dugog proizvodnog lanca, od rudnika, flotacija, čeličana, termoelektrana koji proizvodi razne materijale i energiju - sve dok se konačno ne proizvede vetrogenerator i montira na stub visok 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, 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 emituju svi ostali 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 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 25 godina, 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. 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 Sevrantesovim 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, prenatlaženo optimističkoj analizi, kao najpogodnija mesta u SCG za instaliranje farmi vetrogeneratora nabrajaju se Stara planina, Ozren, Vlasina, Zlatibor, Durmitor, Bjelasica, Kopaonik, Divčibare, kao i priobalni pojas Crnogorskog primorja. Da li ste zapazili da se u najvećem broju slučajeva radi o nacionalnim

parkovima, 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÷100 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 (nacionalni park), Zlatibora (najveće turističko središte), itd. - zaposednuto beskrajnim farmama EE, koje uništavaju najveću dragocenost - pejzaž i planinski mir za ljude i divljač. Zamislite na Durmitoru ili Zlatiboru beskrajne nizove vetrogeneratora, na rastojanju 5D×7D, kako se razmeštaju na "farmi"! Zar je to ekološki najčistiji vid energije?

Zbog toga se može zaključiti da se u prostornim i meteorološkim uslovima SCG ne može očekivati masovni razvoj EE, na nivou "velike energetike". Svakako će se graditi 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.

ENERGIJA KORIŠĆENJA BIOMASA. Postoji više načina konverzije energije biomasa u korisne oblike energije: (a) neposredno sagorevanje, (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 dosta oprečnih sudova o 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 i za pokretanje poljoprivrednih mašina. Znači, nesumnjivo je 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). 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 energetske iskorišćenje biomasa, u okviru većih proizvodnih jedinica, (b) da li je energetske 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 - 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 energetske vrednost i zbog toga je besmisleno njihovo prevoženje na veća rastojanja, radi korišćenja 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 energetske 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 energetski 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 energetsko, ali i etičko pitanje. Proizvodnja etanola i ulja, kojima se delimično može obaviti zamena benzina ili dizela, svodi se na korišćenje energetski 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 energetskih bilansa. Šećerna trska, koja je energetski 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 energetski učinak. Prosečna gustina obnovljive energije koja se može dobiti iz biomase najintenzivnije gajenih šuma (godišnji prirast oko $2 \div 2,5\%$, što iznosi oko $6 \div 8 \text{ m}^3/\text{ha}$ drvne mase, pa i $10 \text{ m}^3/\text{ha}$ u intenzivno gajenim šumama ogrevnog drveta) iznosi oko $2 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{god}$. Slično je i u slučaju najintenzivnije obrađivanih poljoprivrednih površina, kod kojih se dobijaju poljoprivredni proizvodi čiji je energetski ekvivalent oko $1,5 \div 2 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{god}$. Pretvorena u prosečnu snagu, čak i najintenzivnija poljoprivredna proizvodnja iznosi samo oko $0,2 \text{ MW/km}^2 \cdot \text{god}$.

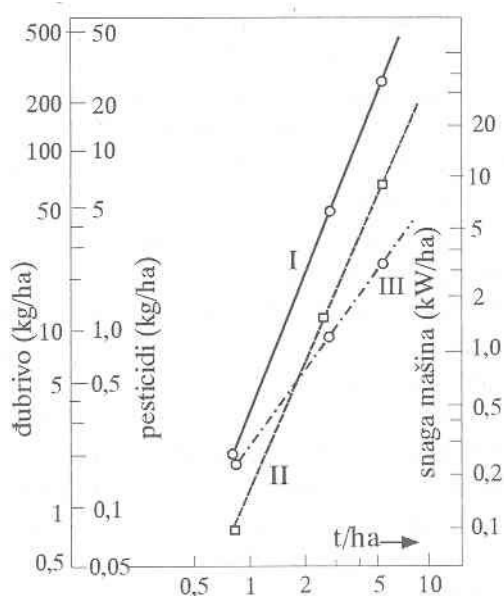
Radi očiglednog dokaza energetske nelogičnosti korišćenja biljne proizvodnje za konverziju u tečno

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 energetske vidove (pre svega, u zamene za derivate nafte - etanol i biljna ulja), dobija pravu konotaciju tek kada se napravi energetski bilans. 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 udvostručio prinos, potrebno je za nekoliko puta povećati unošenje energije, preko đubriva, pesticida i potrebne snage poljoprivrednih mašina. Zbog toga je naivno, ali i 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 systemske 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".

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 energetsku (ne)logičnost 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! Čista energetska besmislica, sa gledišta bilansa energije unete u proizvodnju i dobijene na izlazu iz čitavog proizvodnog procesa konverzije bioenergije u tečno gorivo.



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

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 mogla da proizvodi hrana!* (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 biomase 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: *biomase* → *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).

GEOTERMALNA ENERGIJA. Ta 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 termoelektoranama, 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 gejziškog 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 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 najavljivalo. Pored uništenja niza unikalnih prirodnih rariteta gejzira, koji su svojevrsna prirodna retkost, ima i drugih propratnih fenomena: inducirani potresi, koncentrisano oslobađanje H₂S, NH₃, CO₂ 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. Freon je najveća opasnost za ozonski omotač Zemlje.

Geotermalna enegija 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. Nesporno 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 20 kt)! 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. 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 destuktivnosti.

TOPLOTNE PUMPE. Toplotne pumpe ne proizvode električnu energiju, ali se ovde razmatraju jer imaju sve vidniju ulogu za zagrevanje domaćinstava i radnih prostorija, čime se štedi električna energija. Njihov princip rada je inverzan toplotnoj mašini. One 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 uzima toplotu iz sredine sa temperaturom t_2 , a prenosi je u sredinu sa temperaturom t_1 , tada je njena granična teorijska efektivnost ξ_t , kao odnos prenete toplote i utrošene električne energije, jednaka:

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

Tako na primer, ako se toplota "pumpa" iz vazduha oko kuće, koji je na 0 °C, a prenosi se na radijatore koji se zagrevaju na 60 °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 one 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. ZAKLJUČCI

- U analizu domena iskoristivosti obnovljivih izvora energije uvedeni su objektivni pokazatelji, zasnovani na bilansu energije koja se utroši u procesu izrade proizvodnih uređaja, kao i tokom korišćenja energetske objekata, s jedne strane, i energetske prihoda koji se ostvare tokom eksploatacije, sa druge strane. Uvedena su tri pokazatelja: (1) vreme vraćanja primarne energije utrošene za građenje postrojenja (θ_0), (2) vreme vraćanja energije za izgradnju i održavanje postrojenja (θ_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, vrlo je korisno 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 energije na zaposednutom prostoru), i energetske prihoda - 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.
- 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 energetska logiku - energetske prihodi su dovoljno veći od ukupnih energetske rashoda. Neargumentovano forsiranje nekih obnovljivih izvora, čija postrojenja zbog velike rasutosti energije nisu dovoljno energetska dohodovna - predstavljalo bi grešku sa najtežim posledicama. To bi čovečanstvo uputilo na stratešku energetska stranputicu, opasniju od one koja je dovela do razaranja ekonomija država sa centralističkim, netržišnim planiranjem.
- 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 energetska 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 Collins.
- [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] Watson, D. (1989): *Energy Conservation Through Building Design*, McGraw-Hill.

VALUATION OF HYDROPOWER POTENTIAL IN THE CONTEXT OF ENERGETIC RENEWABLE SOURCES

by

Prof. Branislav ĐORĐEVIĆ
Faculty of Civil Engineering, Belgrade, E-mail: branko@grf.bg.ac.yu

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: the time of return of energy used for construction, maintenance and exploitation of energetic sources; index of strategic priority of energetic sources. These relations show clearly that hydropower potential is the best renewable energetic source.

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

Redigovano 06.06.2004.