

Marijan Kalea
Vijenac I.Meštrovića 6
31000 Osijek
marijan.kalea@os.t-com.hr

Opća svojstva nekonvencionalnih/obnovljivih izvora energije¹

Sažetak:

U radu razmatraju se i obrazlažu prednosti i mane korištenja nekonvencionalnim izvorima energije. Ti izvori imaju podjednak broj prednosti i mana te kod izbora svakog rješenja treba pažljivo razmotriti sve okolnosti, te primjereno energetsom sustavu o kojem je riječ, izabrati rješenje s najmanje mana.

Ključne riječi: konvencionalni i nekonvencionalni izvori energije, obnovljivi izvori energije

General characteristics of non-conventional/renewable energy sources

Summary:

The advantages and disadvantages of using non-conventional energy sources have been discussed and explained in this paper. These sources have an equal number of advantages and weaknesses, and all the circumstances should be carefully considered for the choice of each solution and according to energy system the solution with the minimum defects should be chosen.

Key words: conventional and non-conventional energy sources, renewable energy sources

Uvod

Nekonvencionalni izvori energije, zovu ih i: *novi* obnovljivi izvori energije, eko-izvori, alternativni izvori, aditivni izvori (danas tehnološki raspoloživi i ekonomski dostižni: hidroenergija za male HE – u pravilu: snage do 10 MW, Sunčevo zračenje, vjetar, ogrjevno drvo i druga biomasa, bioplin i otpad, geotermalna energija, toplina okoline) često se uzimaju kao *spasonosno* rješenje u budućoj opskrbi energijom. Poistovjećuje ih se i s obnovljivim izvorima energije, što nije ispravno jer velike hidroelektrane (u pravilu: snage veće od 10 MW) također koriste obnovljivi izvor energije, a konvencionalne su. Također, često se njihovo korištenje suženo poima samo kao izvor za preobrazbu u

¹ Izlaganje na Drugom savjetovanju Hrvatskog ogranka Međunarodne elektrodistribucijske konferencije Umag, 16-19. svibnja 2010.

električnu energiju, što opet nije točno jer ti se izvori mogu koristiti *i koriste se još naglašenije (kao izvor topline, te za proizvodnju biodizela)*, bez prethodne pretvorbe u električnu energiju².

Međutim, u ovom radu prvenstveno će se promatrati korištenje nekonvencionalnim izvorima energije za proizvodnju električne energije, a samo iznimno i za pretvorbu u toplinu.

Često se u medijima javlja o vodiku te o primjeni gorivnih ćelija, kao nekonvencionalnom izvoru energije, što je potpuno netočno. To uopće nije primarni, prirodni oblik energije, jer vodika nema u prirodi (dobiva se tek transformacijom nekog drugog prirodnog oblika, uz utrošak energije pri tome) a primjena gorivnih ćelija je jedna od mogućih transformacija primjerice prirodnog plina, posredno vodika, bez izgaranja, u električnu energiju i toplinu.

Primjena toplinskih crpki (dizalica topline) može se uvjetno svrstati u nekonvencionalne izvore energije³. Doduše, mora se imati raspoloživ i drugi izvor energije, primjerice izvor električne energije, pa se onda privođenjem te druge energije toplinskoj crpki ostvaruje tok toplinske energije iz okoline s jedne temperaturne razine na drugu temperaturnu razinu, uz vrlo povoljan omjer (znatno veći od 1, u određenim okolnostima) tako dobivene topline spram uložene električne energije.

U nešto daljoj budućnosti (nekoliko desetaka godina unaprijed), moguće su prilike u kojima će neki nov način korištenja nekonvencionalnim izvorima, ili čak neki novi izvor, toliko napredovati u svome razvoju da će to predstavljati bitni preokret u odnosu na sadašnje stanje i sagledavanje.

Direktivom Europske unije 2001/77/EC određeno je da će 2010. godine udio *svih* obnovljivih izvora (dakle *uključivo i velikih hidroelektrana*) u namirenju brutopotrošnje električne energije porasti na 21 posto s 12,9 posto, koliko je ostvareno u 1997. godini⁴. Direktivom 2009/28/EC, donesenom u travnju 2009. godine, utvrđen je novi cilj ali za 2020. godinu: iz obnovljivih izvora namiriti 20 posto ukupne potrošnje energije (dakle ne samo potrošnje električne energije), sa sadašnjih oko sedam posto⁵.

Uvodno, iznesimo tablični prikaz svih oblika energije razvrstane prema konvencionalnosti, obnovljivosti i istrajnosti svoje dobave, tablica 1.

² U Europskoj uniji s 25 članica, ukupno je iz nekonvencionalnih izvora energije u 2005. godini proizvedeno 187 TWh električne energije, 2081 PJ (=578 TWh) topline i 3,18 milijuna tona (=38 TWh) biodizela. Dakle, trostruko više proizvelo se topline i biodizela od električne energije iz nekonvencionalnih izvora! Radi cjelovitosti iskaza, dodajmo da je u toj godini proizvedeno iz velikih HE još 269 TWh električne energije, dakako i ta energija treba se obuhvatiti kod sagledavanja ukupnog iskorištenja obnovljivih izvora u toj godini.

³ Najnovija direktiva Europske unije o obnovljivim izvorima svrstava ih tako, nazivajući tu energiju: geotermalna, aerotermalna i hidrotermalna energija (dakle unutarnja toplinska energija tla, zraka i vode).

⁴ U Europskoj uniji s 27 članica, ukupno je u 2005. godini dosegnut udio od 14%, dakle tek dvije trećine zadana cilja za 2010. godinu!

⁵ Pri čitanju ovoga rada obratiti pozornost na korištenje pojmovima *obnovljiv* i *nekonvencionalan*.

Ogrjevno drvo korišteno kao izvor topline na tradicionalni način, ubrajamo dakako u konvencionalne izvore (jedini oblik energije u srednjem vijeku), a današnje – suvremeno njegovo korištenje pribrajamo korištenju biomasom. Bioplin, rezultat je anaerobne pretvorbe biomase ili otpada. Također, biogoriva nastaju tehnološkom pretvorbom biomase ili otpada. Nuklearno fuzijsko gorivo, također nekonvencionalni izvor, ali neobnovljiv, ovdje ne promatramo jer je njegova komercijalna primjena još vrlo daleka.

Tablica 1. Oblici primarne energije prema konvencionalnosti, obnovljivosti i istrajnosti

Oblik primarne energije	Konvencionalnost		Obnovljivost		Istrajnost	
	Konv.	Nekonv.	Obnov.	Neobn.	Stalni	Nestal.
Ugljen	X			X	X	
Sirova nafta	X			X	X	
Prirodni plin	X			X	X	
Nuklearno fuzijsko gorivo	X			X	X	
Vodne snage (korišt. velikim HE)	X		X			X
Vodne snage (korišt. malim HE)		X	X			X
Vrući izvori (geotermalna energija)		X	X		X	
Biomasa i otpad		X	X			X
Vjetar		X	X			X
Sunčevo zračenje		X	X			X
Toplina okoline (tla, zraka i vode)		X	X		X	
Plima i oseka		X	X			X
Morski valovi		X	X			X
Nuklearno fuzijsko gorivo		X		X	X	

U tablici 1 svi izvori energije razvrstani su i prema *istrainosti* svoje dobave. Stalni izvori energije su: ugljen, nafta, prirodni plin i nuklearno gorivo (konvencionalni), te geotermalna energija i toplina okoline (nekonvencionalni). Stalni izvori su oni čija dobava je gotovo potpuno sigurna (isključujući nepravodobno ugovaranje isporuke goriva, neočekivane veće zastoje u transportu i eventualna ratna ili neka druga katastrofična zbivanja), a čije je moguće korištenje sukladno potražnji. Nestalni izvori energije su: vodne snage, biomasa i otpad, vjetar, Sunčevo zračenje, plima i oseka, te morski valovi, a među njima mogu se uočiti uskladištivi i neusklađivi. U nastavku, na više mjesta, dodirnut će se svojstvo istrajnosti; ono će biti bitnim razlogom veće prihvatljivosti ili nedovoljne prihvatljivosti pojedinog nekonvencionalnog izvora.

Svojstva nekonvencionalnih izvora energije ne možemo promatrati izdvojeno od općenito znanih svojstava konvencionalnih izvora; tek usporedbom s tim svojstvima možemo utemeljeno kvalificirati nekonvencionalne izvore. Neka su svojstva nekonvencionalnih izvora poželjna a neka nepoželjna.

Pretežno dobra svojstva nekonvencionalnih izvora energije

Obnovljivost pojedinog izvora energije najlakše poimamo ako kažemo kako je obnovljiv izvor onaj čiji se prosječni dotok svake godine ponavlja – uz stanovita odstupanja – barem za ljudsko poimanje vremena. Dakle, svi promatrani a danas raspoloživi nekonvencionalni izvori obnovljivi su (tablica 1).

Općenito, nekonvencionalni izvori imaju golem *potencijal* – što je dakako poželjno svojstvo. Sa Sunca na tlo Hrvatske dostruji približno 500 puta više energije nego što je godišnja hrvatska potrošnja svih oblika energije! Biomasa, bioplin i otpad predstavljaju veći potencijal od korištenja vjetra ili vodnih snaga, ali ipak znatno manji od energije Sunčeva zračenja. Vjetar ima solidni potencijal na globusu. Male hidroelektrane predstavljaju ograničeni potencijal, kojeg naprosto nema na znatnom dijelu golemih prostranstava globusa. Geotermalna energija ima pri sadašnjem načinu korištenja ograničeni potencijal, ali prikriveni potencijal je ogroman, dođe li do prihvatljivog korištenja toplinom Zemljine nutrine s velikih dubina (tablica 2).

Tablica 2. Svjetski potencijal nekih obnovljivih izvora energije

Oblik obnovljive energije	Prema ukupnoj sadašnjoj svjetskoj godišnjoj potrošnji primarne energije	Opaska
Sunčevo zračenje	12000 puta	Ukupno dozračena energija
Biomasa	2 do 3 puta	Energetski iskoristiva
Vjetar	33%	Teoretski iskoristiv
Vodne snage (velike i male HE)	25%	Iskoristivi potencijal
Geotermalna energija	3%	Sadašnjim načinom korištenja

Izvor: www.energiewelten.de

Kod većine nekonvencionalnih izvora nema utroška energije prilikom *pridobivanja izvornog oblika* (kao što postoji značajan utrošak energije pri eksploataciji ugljenokopa, primjerice). Treba naprosto postrojenja za pretvorbu nekonvencionalnog oblika u povoljniji oblik *izložiti* djelovanju tog nekonvencionalnog izvora. Jedino se kod ogrjevnog drveta, biomase i otpada javljaju ti utrošci energije (koji mogu biti toliko značajni da cijela stvar postane energetski neracionalna), primjerice za sječu drvne mase, za nadoknadno pošumljavanje i uzgoj šume, za transport od mjesta sječe do mjesta korištenja te za pripremu drveta za korištenje. Slično je s ostalom biomasom, bioplinom i otpadom, jedino tu može izostati utrošak pri uzgoju jer se uzgoj odvija neovisno od eventualnog energetskog korištenja, primjerice slama nastaje kao rezultat poljoprivredne proizvodnje pšenice, pa će ili strunuti ili se energetski iskoristiti.

Lokalno *opterećenje okoliša emisijom* štetnih tvari ili bukom na mjestu pretvorbe nekonvencionalnog oblika energije u iskoristiviji oblik općenito je maleno ili ga uopće nema. Ali korištenje vjetrom izaziva buku i neravantnu pokretnu sjenu za sunčana vremena na tlu, a izgaranje biomase izaziva emisiju plinova eventualno manje štetnih od konvencionalnih goriva jer praktički nema sumpora (kao u ugljenu ili nafti). Ipak je emisija iz tih

postrojenja nešto veća nego li iz konvencionalnih postrojenja iste snage, jer riječ je o nešto manjem stupnju djelovanja pri pretvorbi energije i manjim jedinicama. Emisija kod korištenja otpada može biti i opasna ako se prethodno iz otpadaka (smeća) ne izdvoje evidentno štetni sastojci.

Lokalno *vizualno opterećenje okoliša* vjetroelektrana zna biti znatno, ako je lokacija smještena na kakvo uzvišenje ili planinu do koje se mora izgraditi pristupni put i time znatno i zauvijek osakatiti zatečeni prirodni ambijent. Jednako tako, izgradnja većeg fotonaponskog postrojenja na slobodnom tlu zauzima veliku površinu⁶, zauvijek opterećujući panoramu. Svi ostali nekonvencionalni oblici energije (male hidroelektrane i elektrane: geotermalne, na biomasu, bioplin, te otpad), na mjestu svoga korištenja ne opterećuju vizualno okoliš bitno drugačije od konvencionalnih rješenja.

Najznačajnije praktično poželjno svojstvo nekonvencionalnih izvora energije je mogućnost posvemašnje *disperzirane (raspršene) primjene*. Praktički, svi izvori nekonvencionalne energije – dakako, ako su raspoloživi na promatranom mjestu – mogu se koristiti *u malome*, na komunalnoj ili još nižoj razini, što bliže potrošnji – u vlastitoj režiji, djelomice ili potpuno u samogradnji – time se trošak rada pri instaliranju, pogonu i održavanju praktički dade izbjeći ili barem prikriti („*radim za sebe, u slobodno vrijeme – dakle besplatno*“). A, korist za elektroenergetski sustav: snizuje se prosječno opterećenje električnih mreža i – time – snižavaju gubici u mrežama. Spoznaja o tome svojstvu nije još dovoljno široko prodrla u našu javnost.

Konačno, o *CO₂-neutralnosti* nekonvencionalnih izvora energije. Najčešće se ističe ta neutralnost prilikom pretvorbe nekonvencionalnog oblika u iskoristiviji oblik (*izravna emisija*). Tada je gledanje o CO₂-neutralnosti svih nekonvencionalnih izvora točno. Za biomasu to je dakako ispunjeno samo ako je godišnje iskorištavanje mase jednako ili manje od godišnjeg prirasta nove mase. Tada će emisija CO₂ pri korištenju tom biomasom biti jednaka emisiji CO₂ prilikom fotosinteze te biomase. Premda moguće ne očekujemo izravnu emisiju hidroelektrana, ipak ona je posljedica ishlapljivanja metana iz područja uspora vode ili akumulacijskog jezera.

Promatra li se čitav energijski lanac, od pridobivanja prirodnog oblika energije, preko transporta i njegove pripreme za korištenje, te energije potrebne za izradu i transport opreme i materijala za izgradnju postrojenja za transformaciju i njihova zbrinjavanja nakon korištenja (*neizravna emisija*) dolazi se do pojma ukupne, kumulativne emisije i ta nije za sve nekonvencionalne izvore povoljna. Ima li se na umu proizvodnja cementa, čelika, stakla i raznih drugih potrebnih materijala za izgradnju fotoćelija a donekle i kolektora, onda izlazi kako je primjena Sunčeva zračenja kumulativno „*kvazi-CO₂-neutralna*“ (tablica 3).

Tablici 3 dodajmo podatak iz knjige D.Feretić i dr.: *Elektrane i okoliš*, da ukupna emisija iz nuklearne elektrane iznosi 27-44 grama CO₂-ekvivalenta/kWh.

⁶ Najveći njemački solarni park od 53 MW, drugi po veličini u svijetu (2009), prostire se na 162 hektara ploštine, velike kao 210 nogometnih igrališta (www.energetika-net.hr/20.08.2009)!

Izgaranje plinova koji sadrže metan, povoljnije je od njihova eventualna ispuštanja u atmosferu, jer je metan 21 puta staklenički štetniji od ugljikova dioksida.

Tablica 3. Ukupna emisija klimatski štetnih plinova⁷ iz elektrana (CO₂-ekvivalent, gram/kWh)

Tip elektrana	Izravna emisija	Neizravna emisija	Ukupna emisija
Velike hidroelektrane	3,5-40	10-20	13,5-55
Male hidroelektrane	3,5-35	15-20	18,5-55
Vjetroelektrana 600 kW	0	40	40
Vjetroelektrana 1,5 MW	0	50	50
Elektrana na biomasu 700 kW	13	50	63
Elektrana na biomasu 11,5 MW	18	45	63
Velika fotonaponska elektrana	0	180	180
Mala fotonaponska elektrana	0	220	220
Konv.termoelektrane na plin	340	80	420
Konv.termoelektrane na kam.ugljen	820	100	920

Izvor: VEÖ-Journal 3/2004

Korištenje nekonvencionalnim izvorima energije snizuje energetske uvozne ovisnosti (ili je barem prigušuje) zemlje o kojoj je riječ, odnosno povećava ukupnu sigurnost dobave energenata, jer su nekonvencionalni oblici energije a priori domaći. To je vrlo važno svojstvo za veliku većinu europskih zemalja jer je u njih zatečena uvozna ovisnost viša od 50%⁸. Dakako, treba razlikovati – pri tom gledanju – ukupnu sigurnost dobave na godišnjoj razini od trenutne, tekuće sigurnosti koja može biti značajno ugrožena ukoliko je udio nestalih konvencionalnih (velike HE) i nekonvencionalnih izvora energije visok, a rezerva stalnih izvora energije u elektroenergetskom sustavu mala.

Na veće korištenje nekonvencionalnim izvorima često se gleda i kao na izvor dopunskog *domaćeg zapošljavanja*. Istina, ono bi se povećavalo kada bi se povećavala domaća proizvodnja komponenata ili sustava za opskrbu energijom iz nekonvencionalnih izvora, a pogotovo kada bi se ostvarivao značajniji izvozni udjel u njihovim isporukama. Dakle, trebalo bi se raditi o učinkovitosti podjednakoj inozemnim uzorima, cijenama sumjerljivim uvoznju konkurenciji te o kreditnoj i poreznoj podršci kakvu eventualno uživa strana konkurencija... Inače, teško je govoriti o nekakvom direktno primjenjivom iskustvu neke uzorne zemlje u kojoj je došlo do vrlo velikog zapošljavanja u branši nekonvencionalnih izvora, koje zapošljavanje se mjeri desetinama tisuća radnika, ali – propušta se uočiti – i o godišnjim isporukama koje se mjere tisućama megavata⁹.

⁷ Tu se klimatski štetnim plinovima razumjevaju oni što su sankcionirani Kyoto-protoklom o zaštiti klime (dakle, ponajprije ugljikov dioksid i metan, ali i neki drugi plinovi, primjerice sumporov heksafluorid, koji izazivaju pojačanje stakleničkog efekta). Kako njihov utjecaj u stakleničkom efektu nije jednak, to se njihovi pojedinačni udjeli preračunavaju u djelovanja jednakovrijedno ugljikovu dioksidu i zbrojena količina iskazuje tzv. CO₂-ekvivalentom.

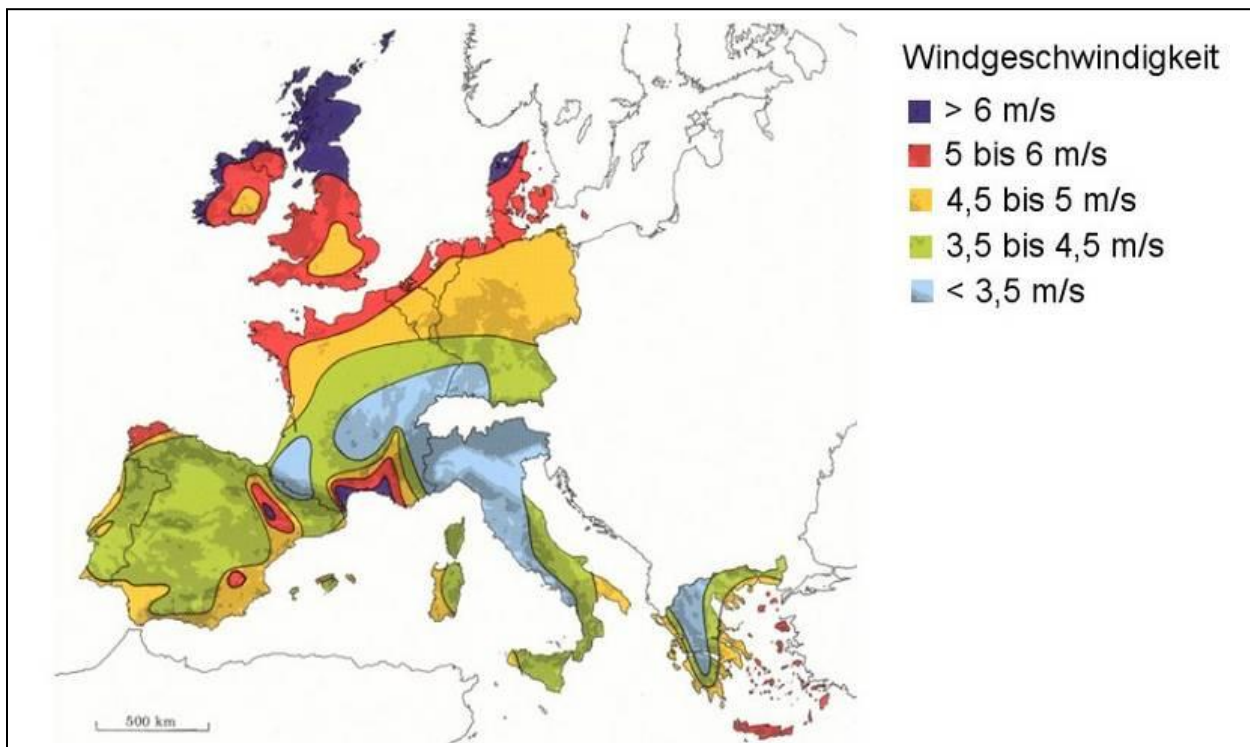
⁸ Prosječno za cijelu Europsku uniju ta je ovisnost oko 55%, 2006. godine; treba dodati kao vrlo važno to da je u statističkom obuhvatu Europske unije svo nuklearno gorivo a priori uzeto kao domaće – točno gledanje još bi tu uvoznju ovisnost povećalo.

⁹ U Njemačkoj je u vjetroenergetskoj branši ukupni broj zaposlenih (na projektiranju, proizvodnji opreme, gradnji, montaži i održavanju) porastao s oko 10 tisuća u 1997. godini na oko 90 tisuća u 2007. godini. Ali, godišnji promet ostvaren u 2007. godini bio je 11,7 milijarda eura (to je više od trećine godišnjeg hrvatskog bruto domaćeg proizvoda!), u tome je otkupna vrijednost električne energije iz vjetroelektrana bila 3,5

U pravilu: nepoželjna svojstva nekonvencionalnih izvora energije

Površinska raspodjela (površinska distribucija) Sunčeva zračenja po Zemlji *najpravednija* je od svih prirodnih oblika energije. Sunčevo zračenje dopire do svakog izloženog kutka Zemlje, ako ne izravno – onda barem difuzno. Donekle je sukladna s potražnjom i površinska distribucija otpada (otpada ima svugdje gdje ima aktivnosti ljudi a tu je potrebna i energija, nema ga tamo gdje nema nikakve ljudske aktivnosti pa tamo nema niti potrebe za energijom). Ostali nekonvencionalni oblici energije nisu ravnomjerno raspoređeni po globusu (male HE, biomasa, vjetar, geotermalna energija); primjer vjetra, slika 1. Valja znati da je snaga vjetroelektrane proporcionalna brzini vjetra na *treću* potenciju! Dvostruko veća brzina vjetra na sjeveru Europe, znači 8 puta veću snagu vjetroelektrane od one koju bi imala na jugu Europe a jednakog promjera elise.

Slika 1. Površinska raspodjela srednjih brzina vjetra u nekim europskim zemljama
(Windgeschwindigkeit = brzina vjetra)



Izvor: www.windenergie.de

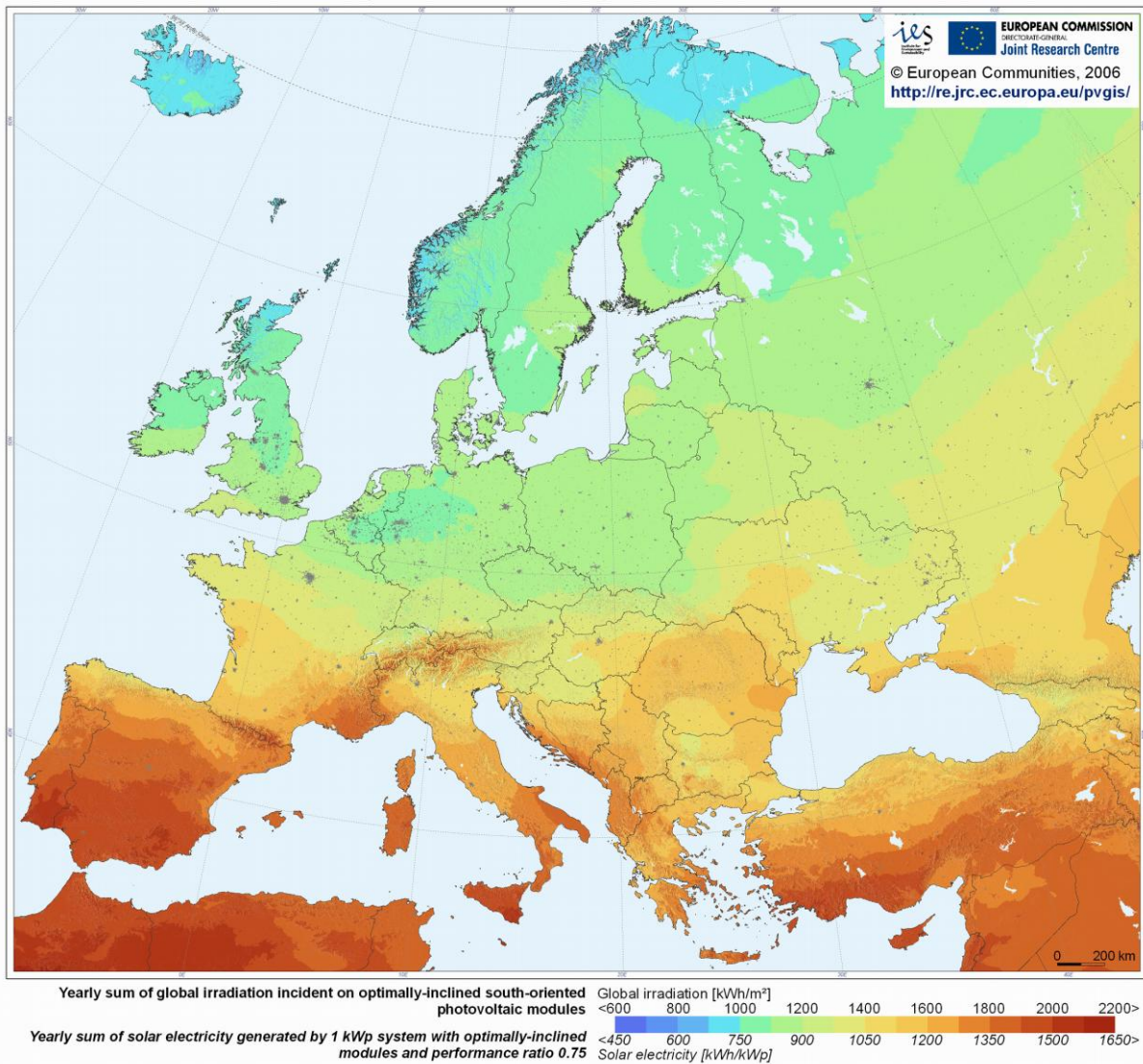
Površinska gustoća mala je za Sunčevo zračenje, znatno manja za biomasu, bioplin i otpad, te samo nešto veća za vjetar (ali tamo gdje ga uopće ima raspoloživog za energetske korištenje), jedino je kod malih hidroelektrana i kod toplih izvora površinska gustoća primjereno visoka. Na jedan četvorni metar na našoj geografskoj širini dostruji

milijarda, investicije u nove njemačke vjetroelektrane 2,2 milijarde a izvozna vrijednost 6 milijarda eura. *Njemačka drži danas 36% svjetskog vjetroenergetskog tržišta!*

godišnje 1200-1600 kilovatsati Sunčeva zračenja (slika 2), a ako uzgojimo pšenicu na tom četvornom metru, slama će imati energetska sadržaj od samo 2 kilovatsata.

Slika 2. Površinska gustoća ukupne energije godišnje dozračene od Sunca

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Izvor: <http://re.jrc.ec.europa.eu/solarec/index.htm>

Vjetrogenerator, lociran na mjestu gdje je maksimalna iskoristiva brzina vjetra 20 m/s, uz godišnje trajanje od 2000 sati, ostvarivao bi godišnju proizvodnju od 3440 kilovatsati po svakom četvornom metru ploštine površine koju u vrtnji opisuje elisa. Gdje je to u usporedbi s naftnom bušotinom s godišnjim iscrpkom od recimo 100 tisuća tona čiji je energetska sadržaj otprilike 1 milijarda kilovatsati a zauzima ploštinu tla od par stotina četvornih metara?!

Na europskom prostoru, dakle, inverzno je raspodijeljen potencijal vjetrova i Sunčeva zračenja, u smjeru sjever–jug. Gustoća dozračene Sunčeve energije mijenja se od južnih predjela do sjevernih, obuhvaćenih slikom 1; omjer je – po prilici – 2, jednako kao za brzine vjetrova, samo od sjevernih k južnim predjelima. Već je rečeno, vjetar je iskoristljiviji 8 puta više na sjeveru, a Sunčevo zračenje 2 puta više na jugu. Kako se iskorištenje vjetrova vjetrogeneratorom odvija uz ukupni stupanj djelovanja od oko 34% a fotonaponsko iskorištenje Sunčeva zračenja uz stupanj djelovanja 6-16%, izlazi značajna prednost sjevera (korištenjem vjetrom) prema jugu Europe (fotonaponskim korištenjem Sunčevim zračenjem). Znatno bolje iskorištenje Sunčeva zračenja postiže se primjenom kolektora za preobrazbu u toplinu (oko 45%), te bi to trebala biti naglašena orijentacija za korištenje Sunčevim zračenjem na Sredozemlju.

Ima li se na umu *energija potrebna za proizvodnju opreme i materijala* koje treba ugraditi u postrojenja za korištenje nekonvencionalnim izvorima, a ne samo toj energiji adekvatan novac, onda izlazi da pojedini izvor mora neprekidno raditi i nekoliko godina, da bi tek tada postao neto-proizvođač energije. Jer treba proizvesti cement, čelik, staklo, aluminij i razne druge materijale i pri toj proizvodnji utrošiti energiju. A kako za pojedine oblike nekonvencionalne energije treba mnogo takvog materijala (temelji i nosači fotoćelija i kolektora, same fotoćelije i kolektori, visoki betonski ili čelični stupovi vjetrogeneratora, pristupni putevi itd), to se energija za proizvodnju opreme i materijala ne smije zanemariti. Naglašeni utrošak energije je pri proizvodnji fotonaponskih ćelija.

S time u vezi promatra se takozvano trajanje energetske amortizacije; to je vrijeme potrebno da proteče pri korištenju pojedinog tipa elektrane da se *vрати* energija prethodno uložena za izradu opreme i gradnju postrojenja te naknadno uložena energija za njegovu razgradnju, na kraju vijeka trajanja. Tek nakon isteka tog vremena, elektrana počne biti neto-proizvođač energije. U tablici 4. nije obuhvaćena energija potrebna za pridobivanje, transport i pripremu goriva, za one elektrane koje koriste gorivo (ugljen, plin, nuklearno gorivo). Ako bi se i ta energija uzela u obzir, trajanje energetske amortizacije za te elektrane bi se približno udvostručilo.

Tablica 4. Trajanje energetske amortizacije

Tip energetskeg postrojenja	Energ.amortizacija
Plinsko-parna termoelektrana na plin	oko 1 mjesec
Nuklearna elektrana (PWR)	oko 3 mjeseca
Termoelektrana na mrki ugljen	oko 3 mjeseca
Termoelektrana na kameni ugljen	oko 4 mjeseca
Hidroelektrana, velika	oko 14 mjeseci
Vjetroelektrana	7-16 mjeseci
Hidroelektrana, mala	24-36 mjeseci
Fotonaponsko – amorfne ćelije	20-35 mjeseci
Fotonaponsko – multikristalne ćelije	35-60 mjeseci
Fotonaponsko – monokristalne ćelije	45-70 mjeseci

Izvor: www.energie-fakten.de/14.11.2007

Vidimo da u prvoj grupi elektrana dolazi do energetske amortizacije u trajanju znatno

manjem od godinu dana, da kod vjetroelektrana to znade iznositi preko godinu dana, a kod sunčanih fotonaponskih elektrana od godinu i pol do čak šest godina! Ovisi o tehnološkoj zgotovljenosti sunčanih ćelija koje se primjenjuju: amorfni kristali su najjeftiniji, ostvaruju najmanji stupanj djelovanja pri transformaciji energije Sunčeva zračenja u električnu energiju (oko 6%), ali traže i najmanje energije za njihovu izradu. Najučinkovitije su monokristalne ćelije (stupanj djelovanja do 16%), ali su najskuplje i traže najviše energije pri svojoj proizvodnji.

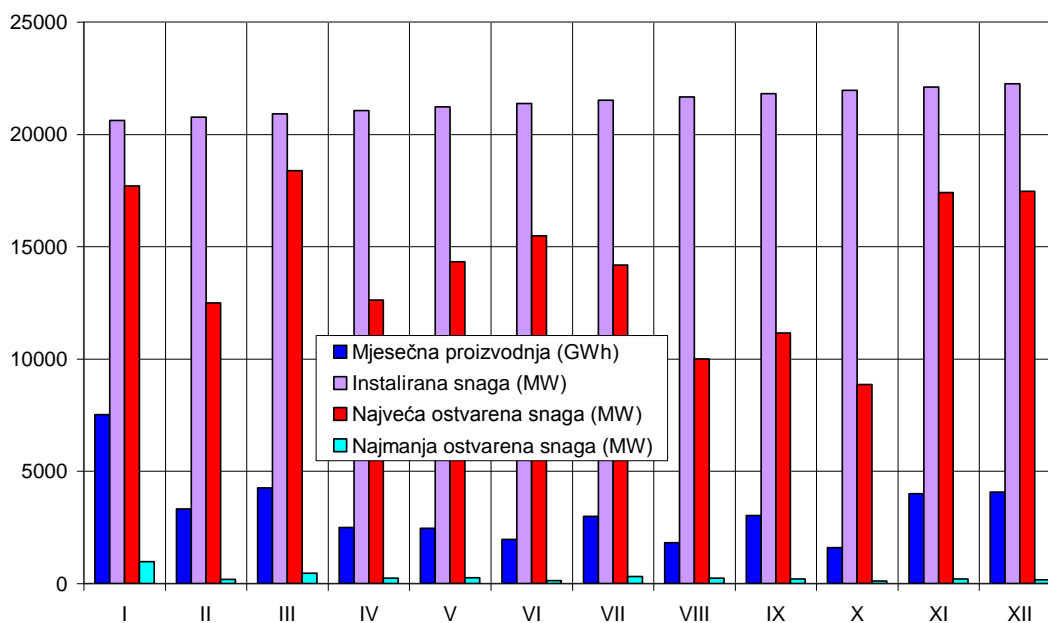
Općenito, izvorno se ne daju *transportirati* mnogi nekonvencionalni oblici energije, kao ni *uskladištiti* u izvornom obliku. Moraju se trošiti na mjestu i u ritmu svoga nastanka. Jedino se ogrjevno drvo te ostala biomasa i otpad daju transportirati na razumno veliku udaljenost, jer bi pretjerana udaljenost tražila više energije za transport od energetskog sadržaja tvari koja se prevozi, pa bi to bilo energetski nerazumno; to im je bitno ograničavajuće svojstvo. Ali, biomasa i otpad uskladištivi su oblici energije i to im je bitno poželjno svojstvo. Uskladištive su vodne snage korištene akumulacijskim i crpno-akumulacijskim hidroelektranama (na višemjesečnoj ili čak višegodišnjoj osnovi), a djelomično se mogu uskladištiti vodne snage korištene elektranama na plimu i oseku (na dnevnoj osnovi). Sva konvencionalna goriva, geotermalna energija i toplina okoline zapravo su prirodno, izvorno uskladišteni oblici energije. Neuskadištivi izvori su vodne snage korištene protočnim hidroelektranama, vjetar, Sunčevo zračenje, te morski valovi.

Oscilacija prirodnog dotoka velika je kod svih nekonvencionalnih oblika energije, jedino geotermalna energija i toplina okoline ne poznaju oscilaciju, ravnomjerno dotječu iz svojih izvora. Gotovo ravnomjeran je i dotok bioplina i otpada. Donekle je oscilacija dotoka ogrjevnog drveta manja a uzevši u obzir i mogućnost njegova uskladištavanja, oscilacija se može kompenzirati. Biomasa sazrijeva praktički trenutno i onda se to ponavlja tek – u pravilu – za godinu dana; opet pomaže mogućnost uskladištenja. Vjetar (njemački primjer, slika 3; vidljivo je da su mjesečni ukupni angažmani vjetroelektrana u Njemačkoj između 0,5% i 88% ukupne instalirane snage) ima oscilaciju od nula do *preko sto posto*, jer pri olujnom vjetru mora se obustaviti korištenje vjetrogeneratorom, kao i pri vrlo malim brzinama vjetra. Kako je snaga vjetrove turbine proporcionalna brzini vjetra na treću potenciju, to i mala promjena brzine predstavlja znatniju promjenu snage. Sunčevo zračenje jednako tako predstavlja izvor s oscilacijom od 0 do 100 posto, jer ga noću uopće nema. Male HE također mogu biti na takvim vodotocima, koji u određenim prilikama znaju posve presušiti. (I velike hidroelektrane imaju vrlo naglašenu varijaciju proizvodnje, primjerice u Hrvatskoj: od 3,5 TWh/god – u sušnoj godini, do 7 TWh/god – u vlažnoj godini.)

Trajanje iskorištenja instalirane snage, dakle omjer godišnje proizvedene energije i instalirane snage, maleno je kod svih izvora čije su prirodne oscilacije velike, a uskladištenje nemoguće, jer su samo mali dio godišnjeg vremena *u punom pogonu*. Za sve oblike energije čije je trajanje godišnjeg iskorištenja malo, mora se osigurati akumulacija energije, pa ju onda koristiti iz akumulatora ako je dotok malen ili posve izostao a potražnja postoji. Ali, akumulacija praktički dolazi u obzir kod toplinskog korištenja Sunčevim zračenjem (akumulator je dobro toplinski izoliran bojler) ili akumulacija manje količine električne energije u električnom akumulatoru kod fotonaponskog korištenja Sunčevim zračenjem ili – moguće, u budućnosti – akumulacija

proizvodnjom vodika iz električne energije. Vjetroelektrane u Njemačkoj (najviše ih je tamo u svijetu) imaju vjetra toliko da bi proizvele cijelu svoju godišnju proizvodnju kada bi jedan dan radile punom snagom i onda četiri dana potpuno mirovale, i tako redom!

Slika 3. Mjesečna ostvarenja vjetroelektrana u Njemačkoj u 2007. godini



Izvor: www.bdew.de

Njemački primjer trajanja iskorištenja instalirane snage elektrana prikazan je tablicom 5. Tu valja istaknuti razliku korištenja elektranama na stalne izvore energije (nuklearne elektrane i elektrane na fosilna goriva) od elektrana na nestalne izvore energije (vodne snage, vjetar). Elektrane na stalne izvore energija koriste se prvenstveno prema njihovoj proizvodnoj cijeni (jeftinije najviše, a skuplje manje) i rasporedu potražnje električne energije (dnevna i tjedna oscilacija) – ali one bi se mogle koristiti i znatno više od toga, te prema tekućem ostvarenju elektrana na nestalne izvore energije (neke godine više, a neke godine manje). Elektrane na nestalne izvore energije koriste se upravo maksimalno moguće, onoliko koliko omogućuje prirodni dotok energije i više se niti ne mogu koristiti.

Zapažamo da je iskorištenje instalirane snage protočnih hidroelektrana približno polovina ukupnog godišnjeg trajanja (godina traje 8760 sati!), akumulacijskih hidroelektrana oko osminu godine, a vjetroelektrana u Njemačkoj *samo* između petine i šestine godine.

Dodajmo da je fotonaponskim korištenjem Sunčevim zračenjem u Njemačkoj posljednjih godina ostvareno prosječno trajanje iskorištenja vršne instalirane snage od 700-800 sati/godišnje.

Veću količinu električne energije ne može se ekonomično akumulirati u akumulatorima jer bi oni bili velikih masa i time preskupi, tako da se gotovo kod svih nekonvencionalnih

izvora poseže za elektroenergetskim sustavom kao rezervnim rješenjem ili dizel-generatorom. *Potrebna rezerva* u konvencionalnim postrojenjima može biti znatna, praktički može doći do udvostučenja instalacije na nacionalnoj razini, radi li se o nekonvencionalnom nestalnom izvoru energije. *To je bitno a najnepovoljnije svojstvo svih nestalnih izvora energije!* S jedne strane instaliramo postrojenja na nekonvencionalni izvor, a s druge strane isto toliku konvencionalnu rezervu, koja će – k tome – biti slabije iskorištena jer će raditi uz nepovoljan stupanj djelovanja u razdobljima kada je nekonvencionalni izvor raspoloživ¹⁰. Regulacijska svojstva takve rezerve moraju biti iznimno visoka jer je za dio nekonvencionalnih izvora karakteristična njihova brza a teško predvidljiva promjena. Prijenosna električna mreža, koja povezuje područja gdje su koncentrirani takvi nekonvencionalni izvori s područjima u kojima je konvencionalna rezerva, također mora biti pojačana. *Primjena nekomercijalnih goriva: ogrjevnog drva, ostale biomase i otpada te geotermalne energije ne traži takvu rezervu* (osim, dakako, rezerve koju mora imati svaka elektrana na razini elektroenergetskog sustava, za slučaj iznenadnog zastoja i za trajanja remonta), te je to razlog nužnosti njihova favoriziranja u korištenju nekonvencionalnim izvorima.

Tablica 5. Trajanje iskorištenja instalirane snage elektrana u Njemačkoj (sati/godišnje)

Tip elektrane	2001. godine	2004. godine
Nuklearne elektrane	7250	7670
Elektrane na mrki ugljen	7240	7320
Elektrane na kameni ugljen	4500	4460
Elektrane na prirodni plin	2100	2730
Vjetroelektrane	1330	1600
Protočne i akumulacijske hidroelektrane		4430
Crpno-akumulacijske hidroelektrane		1070
Protočne hidroelektrane	5620	
Crpno-akumul. i akumulacijske hidroelektrane	980	
Termoelektrane na loživo ulje	250	

Izvor: www.strom.de

Zauzimanje prostora na mjestu pretvorbe prirodnog oblika energije u iskoristiviji oblik veliko je pri korištenju onim nekonvencionalnim oblicima, čija je površinska gustoća mala. Za fotonaponsko korištenje Sunčevim zračenjem to je izrazito naglašeno¹¹, a kod korištenja vjetrom i kolektorskog korištenja Sunčevim zračenjem nešto manje. Ogrjevno drvo te ostala biomasa i otpad traže nešto više prostora od onoga kojeg bi tražila konvencionalna termoelektrana ili toplana jednake snage, uz znatnije veći skladišni prostor. Ogrjevno drvo može se i izravno koristiti – u štednjaku za kuhanje, peći za zagrijavanje prostora ili sanitarne vode – pa onda opet traži prostor za uskladištavanje. Geotermalna energija, ukoliko se koristi izravno za zagrijavanje, troši najmanje prostora.

¹⁰ Nijemci uzimaju da je potrebna snaga konvencionalnih elektrana za rezervu vjetroelektranama 0,85-0,95 MW po svakom megavatu u vjetroelektranama, radi sačuvanja sigurnosti opskrbe u elektroenergetskom sustavu. Izvor: Hohe Kapazitätsauslastung im deutschen Strommarkt, www.strom.de/14.11.2006

¹¹ Vidi ponovno 6. fusnotu!

Stupanj djelovanja pri pretvorbi u koristan oblik općenito je malen ili manji nego li kod konvencionalnih izvora energije. Osobito je to naglašeno kod fotonaponskog korištenja Sunčevim zračenjem, kod kojeg je prosječni stupanj djelovanja samo oko 10 posto (za ćelije razumno visoke cijene), dakle za jedan kilovatsat dobiven iz sunčanih ćelija treba izložiti toliko ploštine da bude osunčana s deset kilovatsati. Stupanj djelovanja veći je kod malih hidroelektrana, toplinskog korištenja Sunčevim zračenjem kolektorima i neposrednog, dakle toplinskog iskorištavanja geotermalne energije. Kod korištenja nekomercijalnim gorivima (biomasa, bioplin, otpad) stupanj je djelovanja nešto niži nego li kod analognih konvencionalnih postrojenja, jer se tu radi o manjim agregatima i jednostavnijoj pripremi goriva, kako bi instalacije izašle što jeftinije. Tablica 6.

Tablica 6. Stupanj djelovanja nekih postrojenja i uređaja za transformaciju primarnog oblika energije

Postrojenje	Stupanj djelovanja
Starije parne termoelektre	33% i manje
Novije parne termoelektre	oko 40%
Plinsko-turbinske elektre	oko 40%
Plinsko-parna termoelektre	oko 60%
Kogeneracijska elektre	do 85%
Velika hidroelektre	do 95%
Sunčani kolektor, jednostavni	oko 45%
Fotonaponska ćelija – amorfn	do 6%
Fotonaponska ćelija – multikristalna	11-14%
Fotonaponska ćelija – monokristalna	12-16%
Geotermalne elektre, električno korištenje	oko 15%

Izvor: www.strom.de

Dodajmo, da je stupanj djelovanja nuklearne elektrane PWR oko 33% (jer se, radi sigurnosti, u toplinsko-turbinskom dijelu ne primjenjuju najviši suvremeno dostignuti toplinski parametri pare) a vjetroelektre približno isto toliko (oko 34%).

Suvremeni energetske pristup zalaže se za primjenu *kogeneracije (suproizvodnje)* – dakle spojenu proizvodnju toplinske i električne energije, što je više moguće, jer se time postiže veće iskorištenje prirodnog oblika energije (i do 85%, tablica 6). Moguća je samo kod nekonvencionalnih izvora iskorištenih kao gorivo u termoelektre-toplanama (nekomercijalna goriva) ili ako se geotermalna energija koristi za pogon takve elektrane, dakle mora se raditi o vrlo vrućem izvoru (kakvih ima na Islandu). Ali, vrlo bitno: u blizini postrojenja za pretvorbu mora biti primjereno velika toplinska potrošnja, inače se nema kamo isporučivati proizvedena toplina. Kako je to u prerađivačkoj i procesnoj industriji čest slučaj, to je rješenje s vlastitom elektranom-toplanom naglašeno privlačno, pogotovo raspolaže li se s vlastitim energetske vrijednim otpadom.

Sva nabrojana svojstva nekonvencionalnih izvora – osobito ona nepovoljna – razlog su velike *investicijske i proizvodne cijene energije* iz tih izvora, danas još na granici ili znatno iznad granice cijene konvencionalnih izvora (tablica 7).

Sadašnja cijena temeljne električne energije na leipziškoj energetskoj burzi EEX, upornim rastom, narasla je do kraja 2008. godine na visokih oko 8 eurocenta/kWh, da bi do sredine 2009. godine pala na oko 4 eurocenta/kWh – zbog recesije i naglašenog pada potražnje. Gospodarski oporavak dovest će ponovno do jačanja potražnje i rasta burzovne cijene. Na dulji rok, svakako treba računati s tim da će konvencionalna energija biti sve skuplja, zbog iscrpljivanja zaliha i sve strožih zahtjeva spram emisija u okoliš, a da će oprema za proizvodnju električne energije iz nekonvencionalnih izvora postupno postajati sve jeftinija zbog tehnoloških poboljšanja te sve masovnije i diversificiranije proizvodnje.

Tablica 7. Troškovi nekih izvora električne energije

Tip izvora	Veličina (MW)	Investicijski troškovi (€/kW)	Troškovi pogona (€cent/kWh)
Hydroelektrane (mali pad)	5	900-1000	2-3
Kombi-elektrane	40	550-850	4-6
Kogeneracija	5	800-850	5-6
Vjetroelektrane (na kopnu)	15	900-1300	4-9
Vjetroelektrane (na moru)	100	1500-2000	5-12
Gorivne stanice	5	1100-1600	8-10
Fotonaponski sustavi	5	6000-10000 ¹²	75-100

Izvor: Utjecaj vjetroelektrane na naponske i strujne prilike u elektroenergetskoj mreži, Energetski institut «Hrvoje Požar», Zagreb, veljača 2003

Kako bi poticale izgradnju elektrana na nekonvencionalne izvore energije, države propisuju *zajamčene otkupne cijene električne energije* iz tih izvora, koje se jamče deset ili još više godina unaprijed. U tablici 8 iskazane su najniže i najviše otkupne cijene iz pojedinih elektrana na nekonvencionalne izvore u nekim europskim zemljama (obuhvaćeno je ovih 10 zemalja: Austrija, Danska, Francuska, Njemačka, Grčka, Irska, Italija, Nizozemska, Portugal i Slovačka) te u Hrvatskoj.

Dodajmo, da je otkupna cijena za sve elektrane na nekonvencionalne izvore, bez obzira na vrstu, u Estoniji tada bila jedinstveno 5,2 eurocenta/kWh, a u Mađarskoj 9,4 eurocenta/kWh.

Istodobno, države uvode *naknade* koje plaćaju svi kupci električne energije kao bi se stvorili fondovi za otkup električne energije iz nekonvencionalnih izvora.

¹² Današnji troškovi su niži, zbog pojeftinjenja fotonaponskih ćelija. Cijene solarnih *modula* su početkom 2010. godine bile u Europi oko 4 eura/W, bez poreza. Tome treba dodati otprilike još toliko da se dobije ukupna vrijednost fotonaponskog *postrojenja* (www.solarbuz.com). Prema njemačkim i portugalskim podacima, *ukupna* cijena postrojenja bila bi danas oko 4 eura/W (!), bez poreza na dodanu vrijednost i eventualno drugih poreza.

Tablica 8. Otkupne cijene električne energije iz nekonvencionalnih izvora energije u 10 europskih zemalja (eurocent/kWh), stanje 2005-2006

Zemlje	Male HE	Vjetro-elektrane	Elektrane na biomasu	Elektrane na bioplin	Fotonapon. elektrane	Geoterm. elektrane
U deset europskih zemalja						
-najniža cijena	3,8	5,7	4,9	3	14,7	6,9
-najviša cijena	14,7	12,7	21,2	21,2	60	15
U Hrvatskoj						
-najniža cijena	5,8	8,8	11,4	4,9	28,8	17,3
-najviša cijena	9,5		16,4	16,4	46,6	

Izvor: D.Ognjan, Z.Stanić i Ž.Tomšić: *Analiza poticajnih mjera za gradnju i korištenje obnovljivih izvora električne energije. 8.savjetovanje HRO CIGRE, Cavtat, 4-8. studenoga 2007*

U Hrvatskoj, Vlada je utvrdila iznos te naknade i ubiranje naknade počelo je od sredine 2007. godine. Međutim, odlukama Vlade s kraja 2007. godine i s kraja 2008. godine, u 2008. i 2009. godini zadržan je isti iznos naknade kao i u 2007. godini¹³ – premda je izvorni akt Vlade predviđao postupni svakogodišnji rast te naknade, jer bi to osiguralo željeni razvoj korištenja nekonvencionalnim izvorima u nas! Očigledno, korištenje ukupno prikupljenim sredstavima naknade bilo je na žalost takvo (dakle: nedovoljno rastuće!) da to opravdava takve odluke Vlade.

Zaključak

Opsežno je obrazloženo i potkrepljeno argumentima kako korištenje nekonvencionalnim izvorima energije ima podjednak broj prednosti i mana, tablica 9. Obnovljivi izvori nisu ni svemogući niti nemogući! Istaknimo i to, da što je ovdje ovako – tamo je onako, te što je ovako danas – sutra će moguće biti drugačije¹⁴. Stoga valja vrlo oprezno u svakom novom primjeru razmotriti baš *sve okolnosti slučaja*, te primjereno energetsom sustavu o kojemu je riječ, pažljivo ih vagati kod izbora rješenja s najmanje mana.

Elektroenergetski sustav koji bi se oslanjao samo na nestalne izvore energije je nemoguć ili barem ekonomski nedohvatljiv. Skladno se trebaju prožimati stalni i nestalni izvori energije, konvencionalni i nekonvencionalni, radi sigurne i ekonomične opskrbe električnom energijom.

¹³ Sadašnja (2010) naknada je u Hrvatskoj snižena na polovinu one iz 2007. godine, iznosi 0,5 lipa/kWh (približno 0,07 eurocenta/kWh). U Njemačkoj je ta naknada 2005. godine bila 0,56 eurocenta/kWh i godinama uporno raste. Dakle, uz preko 500 TWh isporučene električne energije, te godine prikupljeno je za tu svrhu u Njemačkoj 2,8 milijarda eura! To je dvostruko više od ukupnog godišnjeg prihoda HEP-a!

¹⁴ Misao profesora i akademika Hrvoja Požara (1916–1991), kojoj se neprekidno vraćao: *Vrijednost svake jedinice (energetskog, elektroenergetskog) sustava ovisna je, kako o značajkama te jedinice – tako i o značajkama sustava, te nije stalna nego se vremenom mijenja.*

Tablica 9. Pregled svojstava važnijih nekonvencionalnih oblika energije pri korištenju za proizvodnju električne energije

Svojstvo	Geo-termalna	Bio-masa	Male HE	Vjetar	Sunce, fotonap.
Obnovljivost	Green	Green	Green	Green	Green
Mogućnost raspršene primjene	Green	Green	Green	Green	Green
Sniženje uvozne ovisnosti	Green	Green	Green	Green	Green
Povećanje domaćeg zapošljavanja	Green	Green	Green	Green	Green
Kumulativna CO ₂ -neutralnost	Green	Green	Green	Green	Red
Utrošak energije pri pridobivanju	Green	Red	Green	Green	Green
Lokalno opterećenje okoliša emisijom	Green	Yellow	Green	Yellow	Green
Lokalno vizualno opterećenje okoliša	Green	Green	Green	Yellow	Red
Investicije i proizvodna cijena	Green	Yellow	Green	Green	Red
Stupanj djelovanja kod pretvorbe u el.en.	Yellow	Green	Green	Green	Red
Lokalno zauzimanje prostora	Green	Yellow	Green	Yellow	Red
Utrošak energije za materijal i opremu	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
Potencijal	Red	Green	Red	Green	Green
Površinska raspodjela	Red	Yellow	Red	Yellow	Green
Izorno uskladištenje i transport	Green	Green	Red	Red	Red
Trajanje iskorištenja instalirane snage	Green	Green	Red	Red	Red
Rezerva u konvencionalnom sustavu	Green	Green	Red	Red	Red
Mogućnost kogeneracije	Green	Green	Red	Red	Red
Površinska gustoća	Green	Red	Green	Red	Red
Oscilacija prirodnog dotoka	Green	Red	Red	Red	Red

Povoljno svojstvo	Green
Manje povoljno svojstvo	Yellow
Nepovoljno svojstvo	Red

Među nekonvencionalnim izvorima energije, korištenim za proizvodnju električne energije, naglašeno bi trebalo favorizirati korištenje geotermalnom energijom, jer jedino ona predstavlja stalni izvor (ali, doduše ograničenog potencijala i nepovoljne površinske raspodjele). Kako su biomasa (uključivo ogrjevno drvo!) i otpad nestalni ali uskladištivi izvori energije, to imaju značajnu prednost pred korištenjem svim preostalim oblicima nekonvencionalne energije¹⁵, jer ne traže rezervu u konvencionalnom sustavu. No, zbog sniženja energije utrošene za njihovu dopremu, trebaju se koristiti što disperziranije. Svi drugi oblici nekonvencionalne energije, osobito vjetar i Sunčevo zračenje korišteno fotonaponskim sustavima, primjereniji su vrlo bogatim ili bogatim zemljama, jer traže praktički udvostručenje dogradnje elektroenergetskog sustava za istu sigurnost opskrbe. Sunčevim zračenjem treba se naglašeniije koristiti primjenom toplinskih kolektora!

¹⁵ Te je u razdoblju 1997-2005. godine, u Danskoj, Italiji i Njemačkoj korištenje krutom biomasom za proizvodnju električne energije raslo prosječnom godišnjom stopom *podjednako* prosječnoj stopi rasta korištenja vjetrom! Prema: *Renewable energy country profiles*, Europskoj komisija, Generalna direkcija za energiju i transport, veljača 2008. Znakovito je, da se elektranama na biomasu, smeće i bioplin u Europskoj uniji proizvelo 2005. godine isto električne energije kao i vjetroelektranama; također da se proizvelo ukupno više električne energije velikim hidroelektranama nego li elektranama na sve ostale obnovljive (dakle: nekonvencionalne) izvore energije.

Konačno istaknimo: opravdano je poticati primjenu samo onih nekonvencionalnih izvora energije koja zapošljava u što većoj mjeri radnike u domaćoj industriji ili poljoprivredi (tu opet: korištenje biomasom).

Literatura:

- [1] H.Požar: Izvori energije. SNL-Zagreb, 1980.
- [2] V.Knapp i P.Kulišić: Novi izvori energije. Školska knjiga-Zagreb, 1985.
- [3] D.Feretić, Ž.Tomšić, D.Škanata, N.Čavlina, D.Subašić: Elektrane i okoliš. Sveučilište u Zagrebu, 2000.
- [4] D.Krpan-Lisica: Osnove energetike. HINUS-Zagreb, 2001.
- [5] B.Udovičić: Energetski sustavi u globalizaciji i slobodnom tržištu. Kigen-Zagreb, 2004.
- [6] M.Kalea: Električna energija. Kigen-Zagreb, 2007.
- [7] M.Kalea: Prednosti i mane nekonvencionalnih izvora energije. Elektroenergetika 2/2008

Izvori slika i tablica navedeni su ispod svake slike i tablice.