

JE LI ENERGIJA VJETRA KONKURENT OSTALIM OBLICIMA ENERGIJE?

Udio obnovljivih izvora energije kao što su energija vjetra, geotermalna, solarna energija te energija dobijena iz biomase, bio je 70-ih godina XX. stoljeća minoran.

Tek 80-ih godina energija vjetra i uz znatne tehničke i materijalne troškove, osobito prirodno geografske čimbenike, počinje svoj nagli uspon. Od tada do konca ovog stoljeća te u budućim dvadeset godina, prema predviđanjima, energija vjetra imat će golem uzlazni trend.

No, može li se on uspoređivati s ostalim oblicima energije?

Energija je bila i bit će, glavni pokretač tehnološkog napretka u svijetu. Potrebe za njom u 19. stoljeću bile su veoma skromne. Prve kompanije u SAD-u za proizvodnju plina i nafte utemeljene su 60-ih godina prošlog stoljeća. Prvi Fordovi pogoni i motori načinjeni 1910. godine zahtijevali su, za svoj rad trostruko više energije od one koju su 1850. godine proizvodili Britanci u svojim prvim rafinerijama. Nakon Prvog svjetskog rata, svjetska proizvodnja i potreba za energijom nije premašila $1,058 \times 10^{13}$ kWh električne energije na godinu. Poslije Drugog svjetskog rata proizvodnja je povećana na $1,71 \times 10^{13}$ kWh godišnje. Vrlo dobra predviđanja, koja su rađena 70-ih godina, o budućim potrebama za energijom u 2000. godini, premašena su, u odnosu na današnju potrošnju samo za 14 % i iznosila su $1,4 \times 10^{14}$ kWh godinje. Dakle, u proteklih 55 godina od 1945. do 2000. godine potrebe za energijom eksponencijalno su se uvećale.

Od 1970. do 2000. godine udio pojedinih energenata bitno je izmijenjen u odnosu na 1970. godinu. Danas je nafta glavni svjetski energent, s udjelom od 40% u odnosu na sve ostale energente. Godine 1970. nafta je činila 39 % udjela, ugljen 39 %, prirodni plin 19,5 %, hidroenergija 2 %, a nuklearna energija skromnih 0,25 % [1].

Glavni izvor energije vjetra i vrijeme rada turbine

Svi obnovljivi izvori energije, osim plime i oseke te geotermalne i energije fosilnih goriva, dolaze od sunca. Sunčeva radijacija daje zemlji 100×10^{12} kWh energije po satu. Od te goleme količine energije samo 1 do 2 % energije prevodi se u vjetrovnu energiju. To je 50 do 100 puta više nego li sva energija koju bismo dobili iz cjelokupne biomase našeg planeta. Međutim, najveći je nedostatak ovog oblika energije, električne energije uopće, da se mora trošiti čim se proizvede. Ona se ne može "usklađivati"!

Temperaturne razlike pojedinih prostora na zemlji, kao

posljedica sunčeva zračenja, stvaraju kinetičku energiju molekula zraka. Kinetička energija prevodi se u rotacijsku energiju rotora vjetrovne turbine, a ova se pretvara u električnu putem generatora.

Pri svakom prevođenju energije iz jednog oblika u drugi stvara se toplinska energija. Toplinski dio energije predstavlja gubitak, pa stoga rotor, vjetrovne turbine u sapnici i generator nikad ne daju 100 % iskoristivost, jer se golemi dio energije gubi na toplinsku energiju.

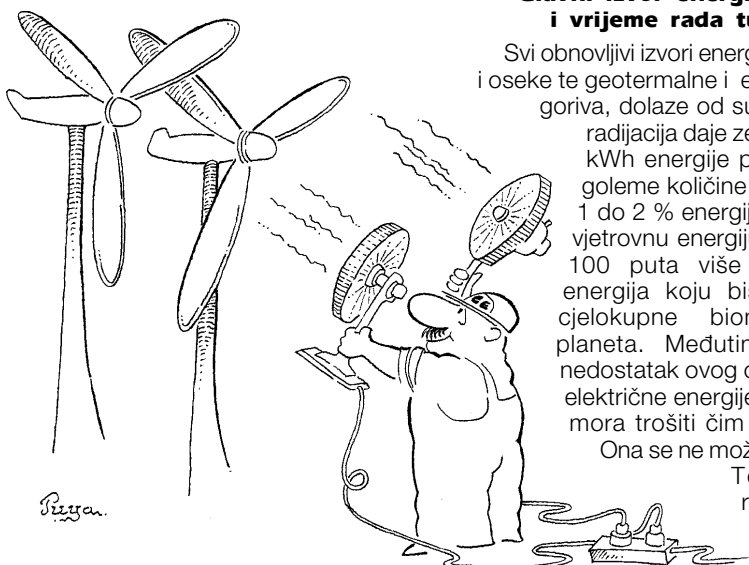
Albert Betz, njemački fizičar dao je još davne 1919. godine zakon vjetrovne energije, a koji je publiciran 1926. godine u knjizi "Wind-Energie". Njime je dan kvalitativni aspekt znanja iz energije vjetra i vjetrovnih turbina. Njegov zakon kaže da možemo pretvoriti manje od 16/27 ili 59 % kinetičke energije vjetra u mehaničku energiju s pomoću vjetrovne turbine[2].

Osnovna svrha vjetrovne turbine je proizvodnja električne energije koju smo dobili konverzijom kinetičke energije vjetra. Za mjeru ove energije upotrebljavamo termin kilovat sat (kWh) ili megavat sat (MWh) tokom određenog vremena: jednog sata, jedne godine. Stoga, se energija ne mjeri u kW već kWh! Snaga električne energije mjeri se u vatima (W), kilovatima (kW) ili megavatima (MW). Snaga je energija transferirana po jedinici vremena. Snagu možemo mjeriti u bilo kojoj točki prostora, dok energiju jedino možemo mjeriti tokom određenog vremena: sekundi, sati, godina. Ako instalirana snaga turbine iznosi 600 kW, znači da će ta vjetrovna turbina proizvoditi 600 kWh električne energije po satu rada pod maksimalno povoljnim uvjetima, tj pri najjačem vjetru za tu vrstu turbine. Vjetrovne turbine maksimalno rade 75 % sati od ukupnog broja sati tokom godine: 8760. U praksi broj sati rada je kudikamo manji. Međutim, koliko električne energije turbine mogu proizvesti ovisi o distribuciji brzine vjetra za svaku turbinu posebno. U Danskoj vjetrovne turbine prosječno rade oko 2300 sati pod punim opterećenjem turbine tokom godine. To znači da turbina instalirane snage od 1000 MW za 2300 sati punog opterećenja može dati 2.300.000 MWh odnosno 2,3 TWh ili 2.300.000.000 kWh električne godišnje. Područja Welsa, Škotske i zapadne Irske imaju povoljniju vjetrovnu bilancu koja iznosi 3000 sati godišnje, a njemački podaci govore da je u njih ovaj iznos znatno manji i kreće se oko 2000 sati rada punog opterećenja turbine godišnje [3,4].

Vjetrovni resursi u Europi i Americi

Europska unija izradila je atlas vjetrovnih resursa EU-a za brzine vjetra na 45 metara iznad zemlje.

Iz karata se može vidjeti da gotovo 1/4 tih prostora ima izuzetno povoljne uvjete za izgradnju vjetrovni elektrana [4,5]. Na žalost, Hrvatske u tom atlasu



nema, jer takva motrenja zahtijevaju golemu materijalnu ulaganja za kontinuirana motrenja brzine i smjera vjetrova tokom, najmanje tri godine.

U odnosu na sve zemlje EU-a, Danska je u istraživanjima svojih vjetrovnih potencijala otišla najdalje.

Motrenje vjetrova i izračunavanje vjetrovnog indeksa provodi se u Danskoj od 1979. godine. Danas, svoje vjetrovne potencijale Danska temelji na prethodnim detaljnim praćenjima smjera i brzine vjetrova, koja su prezentirana na kartama s detaljnom razdiobom prostora od 200 x 200 metara. Takav pristup analizi vjetrovnog potencijala daje za pravo danskoj vladi da buduća predviđanja temelji na takvoj energetske bilanci zemlje, kojom bi do 2030. godine energija vjetrova pokrila 50 % energetske potrebe električne energije u kućanstvima [5,6].

Sjedinjene Američke Države uložile su golemu sredstva u izradu atlasa potencijalne energije vjetrova za sva svoja područja [7]. Gotovo 50 % ukupne površine SAD-a izuzetno je povoljno za iskorištavanje energije vjetrova. Tu, dakako, dolaze visoki prostori zapadne i JI obalne fasade, osobito sjeverna područja uz Kanadu, gdje se udio vjetrovnih električnih potencijala kreće od 15 do čak 36 %. Taj centralni dio prostora SAD-a odnosi se na goleme površine pod prerijama [7].

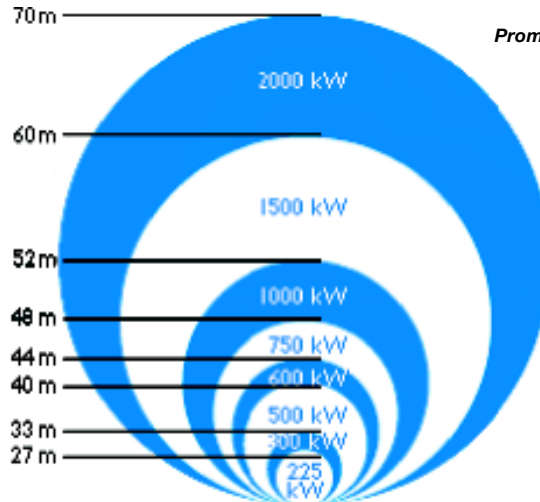
Ekonomika vjetrovnih elektrana

Do 2030. godine Danci predviđaju da će vjetrovne elektrane pokrivati gotovo 50 % ukupne električne potrošnje kućanstava, a na priobalnom području bit će instalirano oko 4100 MW, koje bi davale 9,4 MWh električne energije godišnje. Njihova namjera je da se čim više vjetroelektrana izgradi na samoj obali ili pak u plitkom pojasu mora, gdje nema orografskih prepreka. To su nesumnjivo ozbiljna predviđanja, samo ipak treba podsjetiti da 98 % kapaciteta električne energije Danci danas pokrivaju iz termoelektrana koje daju oko 25,3 GWh električne energije godišnje! Danas 1 MW instalirane snage dobivene iz energije vjetrova stoji Dancima oko 1,7 milijuna dolara, a predviđena cijena potrošnje takve energije kretala bi se ispod 10 centi po kWh!

Udio potrošnje električne energije za kućanstva, dobivene iz vjetrova, u odnosu na ukupnu potrošnju energije iz svih ostalih izvora u Danskoj se prilazi iznosu oko 10 %!?

Od 1980. do 1998. godine, diljem svijeta, instalirano je 20318 danskih turbina čiji kapacitet iznosi gotovo 5500 MW.

SAD je tokom 1998. godine kupio od Danaca 73 turbine s instaliranom snagom od 49,4 MW. Danska, kao najveći proizvođač turbina, instalirala je diljem svijeta tokom 1998. godine 1742 turbine s ukupnom snagom od 1215,9 MW, zaradivši pri tome 1,4 milijarde američkih dolara [6,8]!



Ilustracija 1
Promjeri rotora u odnosu na snagu turbine
[Izvor: ref. 6.]

Visine tornjeva, veličina rotora i njihova cijena

O konstrukciji tornjeva te vrstama i radu turbine bilo je dosta napisano u prethodnim brojevima časopisa EGE, no ipak valja napomenuti da cijene istraživanja, ograničenosti tehničkih elemenata vjetrovnih turbina nisu male, a udjeli potrošnje električne energije, dobiveni iz energije vjetrova u odnosu na ostale energetske izvore neće biti tako spektakularni kako se predviđa! Na primjer nosač turbine stoji oko 20 % cijene cijele turbine. S druge strane, visina tornja ovisi o nizu prostorno geografskih, meteoroloških i tehničkih čimbenika. Za svakih 10 metara visine tornja cijena se uvećava za 15 000 dolara. Veće turbine davat će više energije, ali zato različiti promjeri zahtijevaju veću visinu tornja, a oni diktiraju veću ili manju snagu turbine. Tako će za snagu turbine od 225 kW rotor imati raspon 27 metara, za 600 kW 43 metra, a za 1500 kW 60 metara [9,10,11], il.1.

Dakle, svaki je metar nosača-tornja skup, pa stoga valja načiniti prethodna meteorološka mjerenja za svaku poziciju vjetrovne elektrane posebno.

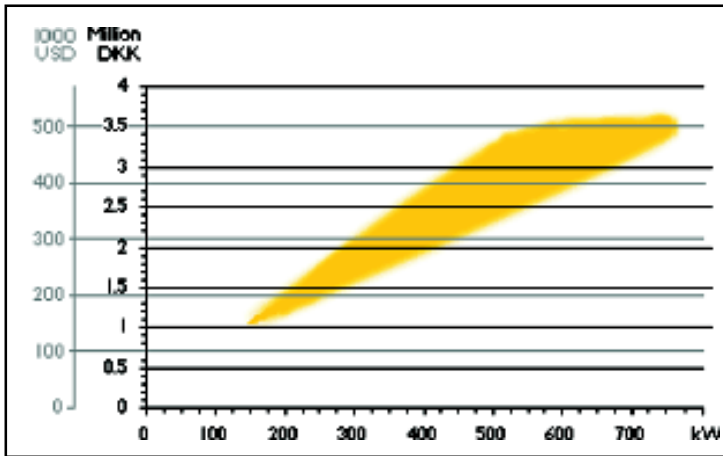
Bogdan SEKULIĆ, Ph.D. **Is Wind Energy a Competition to Other Energy Sources?**

In the '70s of the 20th century the share of renewable energy sources such as wind, geothermal, solar and biomass energy was negligible. It was only in the '80s that wind energy, despite considerable technical and material costs, including natural and geographical factors in particular, started gaining weight rapidly. Since then, until the end of this century and in the following twenty years as anticipated, wind energy will be showing an enormous upward trend. However, this paper will demonstrate whether it can be compared with other energy sources.

Ilustracija 2
Velika 2 MW vjetroelektrana
[Izvor: ref. 12]



Ilustracija 3
Cijene turbina
[Izvor: ref. 11]



Dr. Bogdan SEKULIĆ
Macht die Windenergie Konkurrenz anderen Energiequellen?

In den siebzigen Jahren des 20. Jahrhunderts war der Anteil der erneuerbaren Energiequellen wie z.B. der Wind-, Sonnen-, Biomassen- und geothermischen Energie gering. Erst in den achtzig Jahren konnte die Windenergie trotz erheblicher technischen und materiellen Kosten, sowie der natürlich-geographischen Faktoren, rapid an der Bedeutung gewinnen. Seit jener Zeit bis Ende dieses Jahrhunderts und in den nächsten zwanzig Jahren, wie vorhergesagt, wird die Windenergie eine starke steigende Tendenz zeigen. Ob sie sich jedoch mit anderen Energiequellen vergleichen lässt, das wird der folgende Beitrag zeigen.

Tablica 1
Svjetska potrošnja energije od 1970. do 2010. godine (kvadrilijuna Btu)

Energenti	1970. godina	1990. godina	2010. godina	Godišnji rast 1970. - 1990. (%)	Promjena 1990. - 2010. (%)
Nafta	97,8	135,4	181,3	1,6	1,5
Prirodni plin	36,1	72,0	106,6	3,5	2,0
Ugljen	59,7	91,7	118,0	2,2	1,3
Nuklearna	0,9	20,3	24,4	16,9	0,9
Obnovljivi	12,2	26,2	41,1	3,9	2,3
Ukupno	206,7	345,6	471,4	2,6	1,6

U USA i Francuskoj: kvadrilijun = 10^{15}
U Velikoj Britaniji i Njemačkoj: kvadrilijun = 10^{24}

Ref: History: Energy information Administration (EIA), Office of Energy Markets and End Use, International Statistics Database; and International Energy Annual 1992, DOE/EIA-0219(92).
Projections : EIA World Energy Projection System (1995).

Visoki toranj uglavnom ima veliku turbinu i postavlja se tamo gdje su povoljni vjetrovni resursi[6]. Danas se smatra da potreban minimum mora biti zadovoljen u pogledu rada vjetroelektrane, a to je brzina vjetra od 25 km/h ili 6,9 m/s. U novije vrijeme grade se multi-megavatne turbine, poput one koja je koncem 1999. godine montirana u Danskoj: NEG Micon vjetrovna elektrana od 2 MW ima rotor promjera 72 metra i nalazi se na 68 metara visokom tornju, il. 2.

Koliko stoji turbina ?

Cijena turbine ovisi o veličini generatora i, dakako, o visini tornja. Svaki dodatni metar tornja stoji približno 1 500 dolara, pa će se tako cijena turbine od 150 kW do 600 kW uvećati za trostruko, gotovo četverostruko. Cijene će biti uravnotežene kod turbina većih snaga, na primjer onih od 500 do 750 kW, il. 3.

Dakako da s povećanjem snage treba voditi računa o znatno većim cijenama radi višeg tornja i većeg promjera rotora. To znači da tipična turbina od 600 kW zahtijeva minimalnu visinu tornja od 40 do 50 metara i promjer rotora od 43 metra. Takva turbina stajala bi oko 650 000 dolara po cijenama prvog tromjesečja 1998. godine. Konačno, prosječna cijena energije dobivena s vjetrovne farme modernih vjetrenjača iznosila bi oko 1000 dolara po kilovatu električne energije instalirane snage. Dakle, mi ne govorimo o godišnjoj pro-

izvodnji električne energije već o instaliranoj snazi elektrane (1 000 USD/kW)! [11].

Najpovoljnija godina za globalnu energiju vjetra - 1999.

Ukupni kapaciteti vjetrovnih generatora instalirani u svijetu do 1999. godine iznose 13 400 MW. Samo tokom 1999. godine instalirano je 3600 MW. Više od 80% instaliranih kapaciteta odnosi se na četiri zemlje: Njemačku - 1200 MW, SAD - 732 MW, Španjolsku - 650 MW i Dansku - 300 MW instalirane snage.

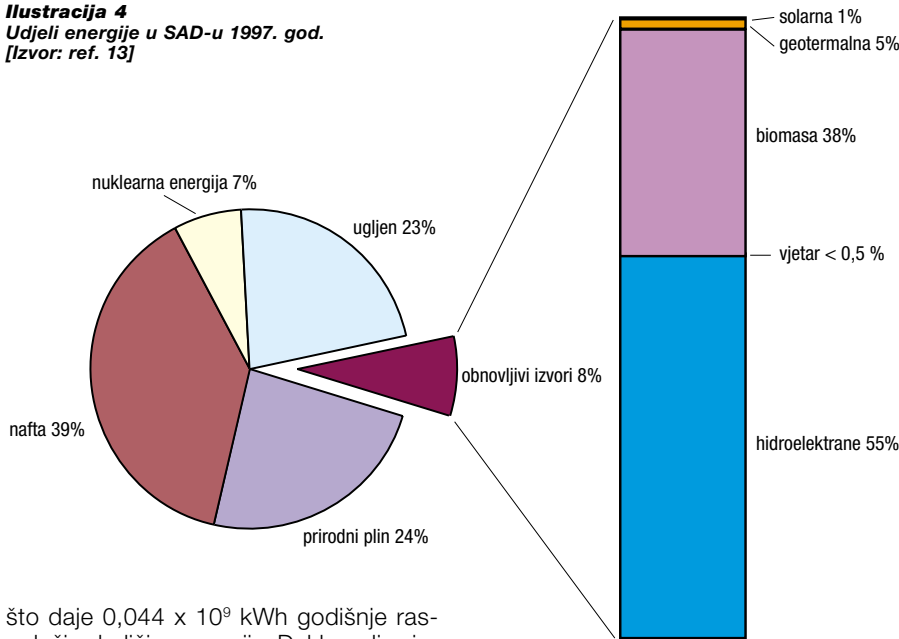
Pojedine zemlje, i regije u njima, u kojima prednjači Danska, 10% električne energije dobivaju od energije vjetra za potrebe kućanstava. Danska predviđanja do 2030. godine govore čak o 50% zastupljenosti obnovljivih izvora energije (dakako najviše vjetra) u ukupnoj proizvodnji električne energije za potrebe kućanstava. U Španjolskoj, na primjer, u regiji Navarra više od 20 % energije dobiva se iz vjetra, a u njemačkoj regiji Schleswig-Holstein više od 15 %.

Sjedinjene Države počele su iskorištavati vjetrovnu energiju ranih 80-ih godina i to sa skromnih 10 MW. Sljedećih deset godina taj se udio energije vjetra popeo na 1575 MW, a do konca 2000. godine premašit će 2650 MW. Stručnjaci American Wind Energy Association (AWEA) izjavili su na konferenciji u Bruxellesu 1999. godine da će do 2020. godine u SAD-u biti instalirano 1,2 milijuna MW energije vjetra, koja će davati 3 trilijuna kWh električne energije godišnje, što je više nego li ukupan iznos električnih generatora Kine, Azije i Latinske Amerike zajedno u 1996. godini! Usporedimo li ta predviđanja s električnom energijom dobivenom u svih nuklearnih elektrana u svijetu, iz kojih je 1998. godine dobiveno 2,3 trilijuna kWh električne energije, čini se da investicija od 60 milijardi dolara koliko se planira utrošiti za vjetrovne elektrane, i nije tako velika s obzirom na izuzetno golemu ekološku važnost ovih elektrana, ne samo za SAD nego i svijet uopće. Time će SAD, kao najveći potrošač energije u svijetu (25%), smanjiti golemu emisiju aeropolutanata koji dopjevaju u zrak. Dodamo li tome da će buduće vjetrovne elektrane uposliti novih 1,7 milijuna ljudi i da će cijena te energije padati, od sadašnjih 4,7 centi/kWh, na 3 centa kWh u 2013. god. te na 2,5 centi/kWh u 2020. godini, sigurno je da će se svijet spasiti golemih količina aeropolutanata, koje bi emitirale elektrane na fosilna goriva[13].

Je li vjetrovna energija kurentna ostalim oblicima energije?

Ukupna potrošnja energije u svijetu procijenjena je oko 410×10^{15} (kvadrilijuna Btu) u 2000. godini, što iznosi $1,2 \times 10^{14}$ kWh godišnje. Ukupno instalirana snaga vjetroelektrana do konca 2000. godine predviđena je na 17415 MW s prosječnim godišnjim radom elektrana od 2 500 sati,

Ilustracija 4
Udjeli energije u SAD-u 1997. god.
[Izvor: ref. 13]



što daje $0,044 \times 10^9$ kWh godišnje raspoložive količine energije. Dakle, udio vjetrovne energije u ukupnoj potrošnji energije iz svih ostalih obnovljivih izvora (solarna, geotermalna, biomasa i hidroelektrane) te neobnovljivih (nafta, ugljen, plin, nuklearna) sudjeluje s 0,367 %.

Ukupna potrošnja energije u svijetu u 2020. godini procijenjena je na oko 610×10^{15} Btu ili $1,788 \times 10^{14}$ kWh. Ukupno instalirana snaga vjetra do konca 2020. godine predviđena je na $1,22 \times 10^6$ MW, što s prosječnim radom elektrana od 2500 sati godišnje daje raspoloživu količinu električne energije od $3,1 \times 10^{12}$ kWh godišnje. Time bi udio iskorištene vjetrovne energije u odnosu na sve obnovljive i neobnovljive izvore energije iznosio 1,734 %.

Dakle, do 2020. godine kapaciteti vjetroelektrana povećali bi se za 70 puta u odnosu na 2000. godinu, a količina elektroenergije narasla bi za više od 70 tisuća puta. Međutim, i pored tih činjenica, udio vjetrovne energije u odnosu na sve ostale izvore energije bio i nadalje izuzetno skroman!!! Ipak, svi pomaci u pogledu novih, za okoliš neštetnih izvora energije, čine svijet razumnijim i sretnijim. Takav je slučaj, za sada, i sa solarnom energijom. No i takvi su pomaci nesumnjivo golemi!

Ilustrativan primjer, za veoma mali udio vjetrovne energije, u odnosu na sve ostale izvore, daje potrošnja energije po izvorima u SAD-u tokom 1997. godine: $94,2 \times 10^{15}$ Btu (100 %) iz svih izvora. Obnovljivi izvori sudjelovali su samo s 8 % ili $4,7 \times 10^{15}$ Btu. Od ukupno obnovljivih izvora, manje od 1% otpadalo je na energiju vjetra s tim da su dva obnovljiva izvora apsolutno dominirala, a to su hidroelektrane s 55 %, biomasa s 38 %. Na geotermalnu energiju otpalo je 5%, a na solarnu oko 1%, a na energiju iz vjetra manje od 1%! [14]. Ovi udjeli prikazani su na ilustraciji 4.

Dakle, i uz izuzetno velika ulaganja u energiju vjetra, po svemu sudeći sljedećih dvadeset godina potrošnja električne

energije iz vjetroelektrana bit će veoma skromna u usporedbi s ostalim neobnovljivim izvorima energije, posebice onima na plin i naftu. Svjetska potrošnja energije i nadalje će se zasnivati na tri glavna energenta: nafti, prirodnom plinu i ugljenu, tablica 1.

Predviđanja, do 2010. godine, za zemlje OECD-a, govore da će nafta s 41,3% i plin s 25 % i nadalje biti najzastupljeniji energenti u proizvodnji električne energije. U zemljama koje nisu članice OECD-a dominantni energenti bit će nafta s 35,8 %, ugljen s 31,8 % te plin s 22,4% [14].

Gradnja vjetrovnih elektrana u Hrvatskoj na otoku Visu [21], za početak skromne snage 6 MW, pokazuje da se i kod nas stvari kreću. Međutim, ekonomska situacija, s jedne, te nedostatak novca za golema istraživanja vjetrovnih potencijala na našoj obali, otocima i unutrašnjosti, s druge strane, ne daju optimističnu sliku Hrvatske u pogledu korištenja energije vjetra [23].

Zaključak

Električna energija dobivena iz kinetičke energije vjetra svakako je najčišći oblik energije. Iako su od 1980. godine do danas napravljeni golemi pomaci u vezi s iskorištavanjem ovog oblika energije, ipak se mora reći da je koriste one zemlje čiji su vjetrovni resursi istraženi i koje imaju novca za takva ulaganja.

Predviđanja o dobivanju električne energije iz vjetra do 2020. godine, iako spektakularna, ne daju spektakularne pomake u promjeni korištenja dosadašnjih energetskih potencijala, ponajprije plina, nafte i ugljena. Današnji svjetski udjeli električne energije vjetra, u usporedbi s svim ostalim oblicima energije, kreću se oko 0,4 %.

Literatura:

1. The Times Atlas of the World (1977) Izdavač: John Bartholomew & Son Limited, London, grafikon: xx-xxi.
2. <http://www.windpower.dk/tour/wres/betz.htm>.
3. <http://www.windpower.dk/stat/unitsene.htm>.
4. <http://www.windpower.dk/tour/wres/euromap.htm>.
5. <http://www.windpower.dk/tour/wres/dkmap.htm>.
6. <http://www.windpower.dk/tour/wtrb/size.htm>.
7. <http://rredc.nrel.gov/wind/pubs/atlas>.
8. <http://www.windpower.dk/pictures/mega.htm>.
9. <http://www.windpower.dk/tour/wres/calculat.htm>.
10. <http://www.windpower.dk/tour/wres/enrspeed.htm>.
11. <http://www.windpower.dk/tour/econ/index.htm>.
12. <http://www.winpowerdk./pictures/multimeg.htm>.
13. <http://www.awea.org/news>.
14. http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/rea_data/html/images/figh1.gif.
15. Vrsalović, I. (1995) Programirana vjetrova turbina u sapnici plašta (I). EGE 10/95, 40-41.
16. Vrsalović, D. (1995) Energija valova: ne energija vjetrova: da. EGE 11/95, 112-113.
17. Zekić, A. i J. Novak (1998) Iskorištavanje vjetrovne energije. EGE 2/98, 48-52.
18. Labudović, B. (1998) Struja iz vjetra- za i protiv. EGE 2/98, 53.
19. Zekić, A. i J. Novak (1999) Iskorištavanje vjetrovne energije (II). EGE 2/99, 80-82.
20. Zečević, A. i J. Novak (1999) Iskorištavanje energije vjetra (III). EGE 3/99, 116-120.
21. Bukša, Ž. (2000) Na Visu se gradi osam vjetroelektrana. EGE novosti 1/2000, 9.
22. Bukša, Ž. (2000) Potrošnja električne energije u Hrvatskoj 1999. viša od 13 670 GWh. EGE novosti 1/2000, 8.
23. Sekulić, G. (2000) Što i kako u 2000. godini i dalje. EGE 1/2000, 35-37.

Do 2020. godine taj će se udio povećati za više od 4 puta, no i nadalje će ostati u skromnim omjerima u odnosu na ostale oblike energije i iznositi će 1,7 %. Iako globalne svjetske potrebe za energijom upućuju na postupno smanjenje potrošnje energije u sljedećih 30 godina (bolja iskoristivost energenata, manji gubici u distribuciji energije te sofisticiranija tehnologija elektrana uz bolju zaštitu okoliša), električna energija dobivena iz vjetra neće moći konkurirati velikim termoelektranama, koje opskrbljuju velike tehnološke sustave.