

## VETROGENERATORSKI POTENCIJAL I MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA ENERGIJE VETRA ZA PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE U NAŠOJ ZEMLJI

### WIND ENERGY POTENTIAL AND THE POSSIBILITIES OF THE USE OF WIND ENERGY IN THE PRODUCTION OF ELECTRIC POWER IN OUR COUNTRY

*Radičević, B.\* , Vukić, Đ.\* , Đurišić, Ž.\*\**

#### REZIME

*U ukupnoj proizvodnji električne energije u svetu energija vetra danas učestvuje sa svega 0,4 %, međutim, sudeći po svetskim trendovima ovaj procenat bi u narednih nekoliko decenija mogao i da se utridesetostuči. U našoj zemlji, nažalost, još nije instalisan ni jedan moderan vetrogenerator, iako za to postoje uslovi. Dosadašnja svetska iskustva nameću potrebu da se i kod nas analiziraju tehničke mogućnosti za izgradnju vetrogeneratora i da se vetroenergetika uključi u strateški model razvoja energetike Srbije i Crne Gore (SCG). U našem radu je analizirana raspoloživa energija vetra u SCG i pokazano je da je vetar energetski resurs naše zemlje, čijim aktiviranjem bi se značajno povećali instalisani kapaciteti i raznovrsnost enegetskih resursa i smanjila zavisnost od uvoza enegetskih sirovina.*

Ključne reči: energetski potencijali vetra, resursi, vetrogeneratori, električna energija

#### SUMMARY

*Today the energy of wind participates in the overall global production of electric power with only 0.4 %. However, according to the presently existing world trends, it can be predicted that in the following decades this low percentage might become thirty times larger. Unfortunately, although in this respect conditions in our country are favorable, not one modern wind generator has yet been installed. Experiences the world has had so far impose the necessity for the analysis of technical possibilities for the construction of wind generators, as well as for the incorporation of wind energetics into the strategic model of the development of energetics in Serbia and Montenegro (SCG). In our paper we analyzed the availability of the energy of wind in SCG and we showed that wind is the energy resource of our country. This means that the activation of this resource would greatly enlarge already installed capacities, increase the*

\* Branko Radičević, Dipl.ing.el., asistent pripravnika, Dr Đukan Vukić, red. prof., Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, Beograd-Zemun

\*\* Željko Đurišić, dipl.ing.el., asistent pripravnika, Elektrotehnički fakultet, Bul. Kralja Aleksandra 73, Beograd

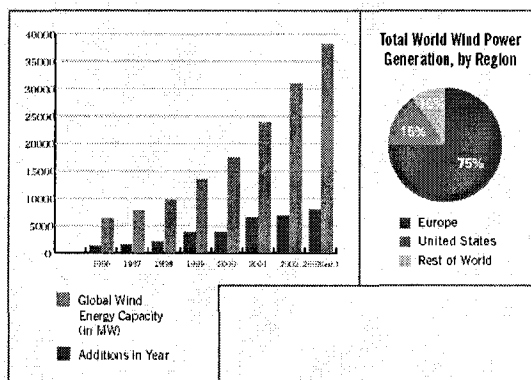
*diversity of types of energy sources and reduce the dependence on the importation of raw energy sources.*

Key words: wind energy potential, resources, wind generators, electric power

## UVOD

Ogromno interesovanje za vetar ne iznenađuje, jer su njegove prednosti višestruke. Energija vetra je obnovljiva i čista. Ne zagađuje vazduh, ne emituje ugljen-dioksid i ne prouzrokuje kisele kiše. Uz to, ne zrači i ne razara ozonski omotač. Iza korišćenja energije vetra nema nepoželjnih otpadaka. Da bi se iskoristio vetar, nisu potrebni ni rudnici, ni vode reka. Tehnički iskoristiv vetroenergetski potencijal u svetu je ogroman ( preko 100 000 TWh/god ), višestruko je veći od hidropotencijala ( oko 15 000 TWh/god ) i u velikoj meri prevazilazi ukupne globalne potrebe za električnom energijom ( trenutno oko 16 000 TWh/god ).

U 50 zemalja u svetu (prvenstveno u Evropi i SAD) na kraju 2002. godine instalisano je oko 32000 MW kapaciteta. Međutim, sudeći po svetskim trendovima ovaj procenat će u 2020. godini iznositi 12 %, [1]. Na bazi vetra je u toku 2002. god. u svetu proizvedeno oko 70 TWh električne energije, što je dovoljno da se zadovolje potrebe za 16 miliona prosečnih domaćinstava u Evropi za električnom energijom. Vetroenergetika je najekspanzivnija industrija u Evropi i svetu (stopa rasta za period 1998. - 2002. je 32 %) i do sada je u nju uloženo oko 30 milijardi evra.



Sl. 1. Instalirana snaga vetrogeneratora u svetu  
Fig. 1. Installed power of wind generators in the world

Generalno gledano naša zemlja je energetska siromašna zemlja. Domaća proizvodnja nafte pokriva svega 15 % ukupnih potreba, a proizvodnja gasa tek 20 % ukupne potrošnje, [4]. Eksploatacija domaćeg uglja relativno male toplotne moći će se sve više ograničavati zbog uticaja emisije ugljen-dioksida i drugih gasova koji zbog efekta staklene bašte izazivaju promenu klime na zemlji i globalno zagrevanje. I pored preduzetih mera u pogledu povećanja energetske efikasnosti i revitalizaciji proizvodnih i prenosnih kapaciteta u EPS-u i EPCG se od 1997. god. permanentno javlja deficit u električnoj energiji. Taj deficit je u 2002. god. iznosio oko 5,5 TWh što čini preko 10% ukupne nacionalne potrošnje, koja je tada iznosila oko 40 TWh, [3]. Prevazilaženje ovih problema moglo bi se rešiti instaliranjem vetrogeneratora ukupne snage (2000 ÷ 2500) MW, s obzirom da je vetar obnovljivi izvor energije koji u SCG ima veliku raspoloživost.

## VETROENERGETSKI POTENCIJAL SCG

Vetar je neiscrpan izvor energije, ali su njegovi kapaciteti po snazi ograničeni. Da bi se mogao tačno odrediti tehnički iskoristiv vetroenergetski potencijal nekog regiona potrebno je precizno poznavati histogram brzina vetra na visini na kojoj se postavlja vetroturbina. S obzirom da je na visinama na kojima se instaliraju savremeni vetrogeneratori (do 120 m) lokalnost pojave vetra jako izražena, za precizno određivanje vetropotencijala bi bio potreban ogroman broj mernih sistema za kontinualno merenje na dužem vremenskom horizontu (2 ÷ 3 godine). Praktično je ovakva merenja na širem regionu nemoguće sprovesti, pa se često u praksi vrše procene na osnovu meteoroloških podataka. S obzirom da meteorološke stanice daju parametre za relativno mali broj lokacija u regionu (na 10 m visine), razvijeni su različiti kompleksni matematički modeli koji imaju za cilj da na osnovu meteoroloških podataka i topografije terena simuliraju vetrove na širem području. Ovi modeli su, u pogledu određivanja vetroenergetskog potencijala, pokazivali velike razlike, pa su se javljala velika odstupanja u procenama vetroenergetskog potencijala određenog regiona (zemlje). Osnovni razlog za ovakve razlike u procenama leži u visokoj senzitivnosti energije vetra od brzine koja je funkcija velikog broja kako meteoroloških tako i topografskih parametara. Pogrešna procena nekog od parametara može dovesti do višestruke greške u proceni vetropotencijala. Greška od 10% u merenju brzine unosi grešku od preko 30% u proračunu snage vetra, [8]. Greške u proceni snage se kumulativno preslikavaju na estimaciju električne energije koja se može dobiti iz vetra na godišnjem nivou, pri čemu je važno reći da se samo jedan manji deo ukupne kinetičke energije vetra može konvertovati u električnu energiju, jer je maksimalni stepen iskorišćenja vetroturbinе oko 0,40. Zaključak autora ovog rada je da su procene globalnog vetropotencijala koje se baziraju na standardnim meteorološkim podacima i teorijskim modelima koji se oslanjaju na te podatke nepouzdanе.

S obzirom da je sredinom 2003. godine Danska bila zemlja koja je prva u svetu po učešću vetroenergije u ukupnoj proizvodnji električne energije - oko 20 % (instalirano oko 3000 MW kapaciteta), a Nemačka zemlja koja je bila prva u svetu kada su u pitanju instalirani vetroenergetski potencijali (oko 13000 MW kapaciteta i trenutno 5 % ukupne potrošnje električne energije se dobija iz vetrogeneratora), ideja u ovom radu je da analiziramo njihova iskustva, pokušamo da uspostavimo određenu geografsku, topološku i demografsku sličnost i na osnovu takve analize procenimo vetroenergetski potencijal SCG. Ovakav pristup je relativno jednostavan i površan, ali se temelji na rezultatima koji su verifikovani u praksi, što daje, za razliku od teorijskih matematičkih modela, određenu sigurnost. Pošto Danska i Nemačka imaju najveće iskustvo u oblasti vetroenergetike, kao i verifikovane procene svog globalnog vetroenergetskog potencijala kroz značajna izgrađena vetroenergetska postrojenja, autori ovog rada su u toku svog istraživanja pokušali da uspostave određenu sličnost između vetroenergetskog potencijala u ove dve zemlje, koji se može smatrati dovoljno pouzdanim, i vetroenergetskog potencijala SCG. Poznato je da lokalnost pojave vetra uzrokuje greške koje su u ovakvim poređenjima neizbežne. S obzirom da je osnovni cilj ovog rada procena globalnog vetropotencijala SCG, ovakav pristup omogućava pouzdaniju procenu od onog koji se bazira samo na meteorološkim podacima i teorijskim modelima. U SCG nema instaliranih vetrogeneratorskih kapaciteta, niti su sprovedena opsežnija namenska merenja vetra u cilju određivanja globalnog vetropotencijala. Malobrojne analize i studije o vetropotencijalu SCG su u potpunosti bazirane na anemografskim podacima iz hidrometeoroloških stanica. Pošto smo zaključili da se takvi podaci ne mogu direktno koristiti za globalnu procenu vetropotencijala, u ovom radu je sproveden sasvim drugačiji pristup u kojem su hidrometeorološki podaci o vetru

iskorišćeni za procenu stepena sličnosti naših vetrova sa vetrovima u Danskoj i Nemačkoj. Uporedna analiza svakako unosi greške i one su posledice same metode, kao i činjenice da se tehnički iskoristiv veroenergetski potencijal odnosi samo na vetrove čija je srednja godišnja brzina na 10 m iznad tla veća od 5,1 m/s, pa je u uporednoj analizi bilo potrebno sagledavati samo takve vetrove. Ovakav pristup, odnosno model, omogućava samo globalnu procenu vetropotencijala, dok je za identifikaciju pogodnih mikrolokacija neophodno vršiti specijalna merenja u SCG.

*Tabela 1. Uporedna analiza relevantnih parametara za analizu vetroenergetskog potencijala za Dansku, Nemačku i za SCG*

*Table 1. Comparative analysis of parameters relevant to the analysis of wind energy potential, for Denmark, Germany and SCG*

	<i>Danska</i>	<i>Nemačka</i>	<i>Srbija i Crna Gora</i>
Površina [km <sup>2</sup> ]	43 000	357 000	102 000
Gustina naseljenosti [st./km <sup>2</sup> ]	120	230	100
Srednja brzina vetra [m/s]	(5÷8)	(4÷7)	(4÷6)
Ukupna instalisana snaga elektroenergetskog sistema [MW]	10 000	120 000	9 000
Ukupna proizvodnja električne energije [MWh]	36 500	504 000	35 000
Ukupna potrošnja električne energije [MWh]	35 500	500 000	40 500
Instalisana snaga u vetrogeneratorima [MW]	3 000	13 000	0
Učešće energije vetra u ukupnoj proizvedenoj električnoj energiji [%]	20	5	0

Vetropotencijal Danske je sadržan u kopnenim (*onshore*) i morskim priobalnim (*offshore*) vetrovima. Pored izgrađenih 3000 MW u vetrogeneratorima, Vlada Danske je odobrila gradnju novih 4000 MW do 2010. god., a dugoročni planovi (do 2020. god.) su izgradnja ukupno 10000 MW, koji bi proizvodili oko 50 % nacionalnih potreba za električnom energijom. Na osnovu ovih planova, koji se temelje na realnim vetroenergetskim resursima, može se zaključiti da su vetroenergetski resursi Danske oko 20000 MW, od čega je oko 50% koncentrisano u morskima, a 50% u kopnenim vetrovima. Ovaj podatak se može uzeti kao pouzdan, jer je rezultat dugogodišnjeg iskustva i opsežnih merenja koja su korigovana na osnovu praktičnih iskustava. Analizirajući mapu vetrova Danske [9] i SCG [2] može se konstatovati da su kopneni vetrovi u SCG oko (20÷30) % manji, tj.:

$$v_{sr(SCG)} \sim (0,7 \div 0,8) \cdot v_{sr(D)} \Rightarrow P_{sr(SCG)} \sim (0,7^3 + 0,8^3) \cdot P_{sr(D)} = (0,343 + 0,512) \cdot P_{sr(D)} \sim 0,4 \cdot P_{sr(D)}$$

Broj vetrogeneratora koji se može izgraditi u određenom regionu zavisi od slobodnog prostora na povoljnim lokacijama. Iz razloga međusobne kompatibilnosti neophodno je obezbediti potrebno rastojanje između vetrogeneratorskih jedinca, tako da je broj vetrogeneratora na 1 km<sup>2</sup> slobodnog prostora maksimalno (8÷12) zavisno od prečnika vetroturbine, što odgovara oko 10 MW instalisane snage po km<sup>2</sup> slobodnog prostora. Po kriterijumu slobodnog prostora, ako Danska ima 10 GW tehnički iskoristivog vetropotencijala na kopnu, tada bi SCG imala 25 GW na kopnu ako bi vetrovi bili istog kvaliteta kao u Danskoj.

$$P_{sr(SCG)} \sim 0,4 \cdot P_{sr(D)} \sim 0,4 \cdot 10000 \cdot \frac{102000}{43000} \sim 10000 \text{ MW}$$

Dakle, može se proceniti da je tehnički iskoristiv vetropotencijal na kopnu SCG oko 10 GW.

Analizirajući karte vetrova Nemačke [9] i SCG [2] može se konstatovati da su intenziteti srednjih godišnjih brzina vetrova jako slični. Pod pretpostavkom da su brzine vetrova u SCG (10±20) % manje nego u Nemačkoj, dobijamo:

$$v_{sr(SCG)} \sim (0,8 \div 0,9) \cdot v_{sr(N)} \Rightarrow P_{sr(SCG)} \sim (0,8^3 \div 0,9^3) \cdot P_{sr(N)} = (0,512 \div 0,729) \cdot P_{sr(N)} \sim 0,6 \cdot P_{sr(N)}$$

Ministarstvo za ekonomiju Nemačke je u studiji o vetroenergetskom potencijalu kopnenih vetrova u Nemačkoj iznelo podatak da je ukupni tehnički iskoristivi vetropotencijal kopnenih vetrova u Nemačkoj oko 64000 MW instalisane snage vetrogeneratora. Na osnovu ovog podatka i prethodne uporedne analize može se zaključiti da je vetroenergetski potencijal kopnenih vetrova u SCG:

$$P_{sr(SCG)} \sim 0,6 \cdot P_{sr(N)} \sim 0,6 \cdot 64000 \cdot \frac{102000}{357000} \sim 11000 \text{ MW}$$

Dakle, na osnovu dve potpuno nezavisne analize dobijeni su slične procene globalnog vetroenergetskog potencijala na kopnu u SCG. Prema podacima iz European wind atlas-a [9], južni Jadran spada u srednje vetrovita mora, tako da bi se u SCG sa aspekta vetra mogli instalirati i značajni kapaciteti na moru (*offshore*).

Može se zaključiti da je globalni tehnički iskoristiv vetroenergetski potencijal (kopno + more) u SCG :

$$P_{sr(SCG)} = (10 \div 15) \text{ GW} .$$

Ako bi vetrogeneratori radili sa srednjim faktorom iskorišćenja  $\eta_{sr} = 0,3$  mogli bi proizvesti električnu energiju:

$$W = \eta Pt = 0,3 \cdot 10 \text{ GW} \cdot 8760 \text{ h}$$

$$W \approx 26,3 \text{ TWh / god,}$$

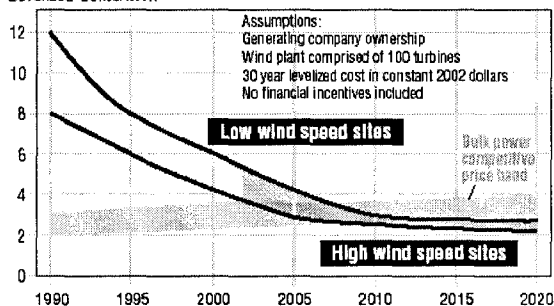
što čini oko 65 % sadašnjih potreba za električnom energijom u SCG. Važno je reći da su već na sadašnjem stupnju razvoja, vetrogeneratori postali konkurentni klasičnim izvorima električne energije, kako po ceni (slika 2), tako i po kvalitetu električne energije koju proizvode.

## ZAKLJUČAK

Elektroenergetski sistemi SCG su strukturno jako povoljni za izgradnju vetrogeneratora. Ta izgradnja bi trebala biti etapna, pri čemu bi se stalno pratila tehnička efikasnost i ekonomčnost izgrađenih kapaciteta i prema tome vršile korekcije dalje dinamike gradnje vetrogeneratora. Jedan od mogućih scenarija izgradnje vetrogeneratora u SCG je da se instalira u prvih petnaest

### Cost of Wind Energy

Levelized Cents/kWh



Slika 2. Cena električne energije proizvedena pomoću vetrogeneratora

Figure 2. The price of electric power produced by wind generators

godina 100 MW/god, što bi obezbedilo, na kraju ovog perioda, oko 10 % električne energije na ekološki najprihvatljiviji način. Ovaj scenarijo je dosta skroman ako se uzme u obzir da Danska koja je dva puta manja od SCG samo u svojoj zemlji instalira godišnje oko (300+400) MW vetrogeneratorskih proizvodnih kapaciteta. Nemačka, koja je 3,5 puta veća od SCG, samo u 2001. i 2002. god. je instalirala oko 6000 MW novih vetrogeneratorskih kapaciteta. Bez obzira kakav strateški model razvoja elektroenergetike se izabere uvek će se javljati potreba, a verovatno i obaveza za korišćenjem ekološki čistih izvora ("green energy"). Ako je naš globalni cilj integracija u Evropsku Uniju, onda je jasno da se reforma energetskog sektora mora sprovoditi na način da se prate svi procesi razvoja energetike u EU, a upravo iskustva većine evropskih zemalja ukazuju na neophodnost uključivanja vetroenergetike u nacionalnu strategiju razvoja energetike SCG. U tom pogledu, prvi korak bi mogao biti utvrđivanje vetroenergetskog potencijala i određivanje pogodnih lokacija za izgradnju budućih modernih vetrogeneratorskih kapaciteta za proizvodnju električne energije u SCG.

## LITERATURA

- [1] "Wind Force 12", Preparatory meeting of the "Earth Summit - Greenpeace", Bali, Indonesia, May 2002.
- [2] D. Mikičić, Ž. Đurišić, B. Radičević, "VETROGENERATORI - perspektivni izvori električne energije električne energije", Elektroprivreda br. 4, Beograd, 2002, str. 46-57.
- [3] B. Bošković, "Ostvarenje elektroenergetskog bilansa jugoslovenskog elektroenergetskog sistema u 2002. godini", Elektroprivreda, br. 1, Beograd, 2003, str. 80-93.
- [4] N. Đajić, "ENERGIJA ZA ODRŽIVI SVET", Rudarsko - geološki fakultet, Beograd, 2002.
- [5] M. Đurović, "ALTERNATIVNI IZVORI ENERGIJE I BUDUĆNOST NJIHOVE PRIMJENE U ZEMLJI, Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, Podgorica, 2002.
- [6] D. Đurić, Lj. Petrović, "ZAGAĐENJE ŽIVOTNE SREDINE I ZDRAVLJE ČOVEKA", Velarta, Beograd 1996.
- [7] H. Požar, "OPŠTA ENERGETIKA", Zagreb 1978.
- [8] V. Nelson, "WIND ENERGY AND WIND TURBINES", Alternative Energy Institute West Texas, A&M University, 1996.
- [9] I. Troen, E.L. Petersen "European Wind Atlas", Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, 1989.

Rad primljen: 25.10.2003.

Rad prihvaćen: 01.11.2003.