

KOMPARACIJA METODA ZA PROCENU ENERGETSKOG POTENCIJALA VETRA I PRETVARANJE ENERGIJE VETRA U ELEKTRIČNU ENERGIJU

Branko Radičević¹, Dušan Mikičić²

SAŽETAK:

U radu je data analiza i poređenje nekoliko metoda za procenu globalnog vetroenergetskog potencijala i proračun količine električne energije koja se može dobiti od vetra. Posebna pažnja u radu je posvećena novoj i originalnoj metodi za procenu energetskog potencijala vetra, koji su autori ovog rada samostalno razvili. Doprinos rada će biti i utvrđivanje energetskog potencijala vetra u zemljama balkanskog regiona (posebno u Srbiji i Crnoj Gori), detekcija povoljnih lokacija i analiza tehničkih mogućnosti za izgradnju vetroelektrana. Krajnji rezultat rada je još jedan doprinos da se vetroenergetika uključi u strateški model razvoja energetike kod nas.

Ključne reči: komparativna analiza, energetski potencijali vetra, vetroelektrane, električna energija

1. UVOD

Stalni porast potreba za energijom u svetu, ograničene rezerve fosilnih goriva i ekološki problemi izazvani njihovom eksploatacijom, uslovili su intenzivan razvoj obnovljivih izvora električne energije. Danas je u velikoj meri osvojena tehnologija i razvijena industrija za ekonomski isplativu konverziju mnogih distribuiranih obnovljivih izvora, a pre svega energije vetra, u električnu energiju.

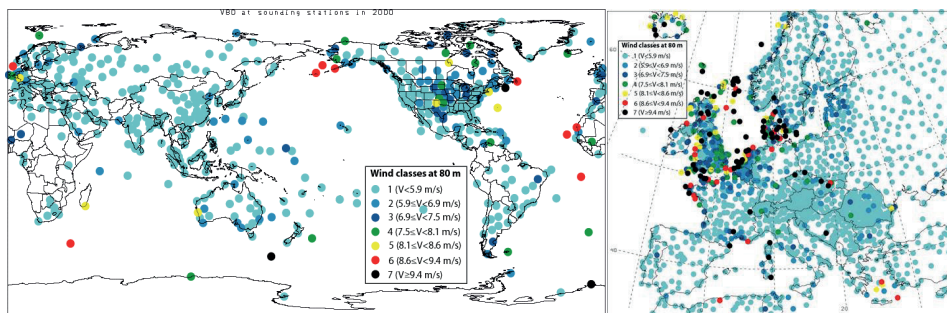
¹ Mr Branko M. Radičević, dipl. inž. el., Poljoprivredni fakultet, Katedra za tehničke nauke, Nemanjina 6, 11081 Beograd – Zemun, branko@agrifaculty.bg.ac.yu

² Prof. dr Dušan Mikičić, Elektrotehnički fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

Razvoj energetske elektronike, korišćenje savremenih asinhronih i sinhronih mašina, upotreba kompozitnih materijala i sve veća potreba i zahtevi na osnovu Kjoto protokola za korišćenjem ekološki čistih izvora energije, rezultovali su fantastičnim razvojem vetroenergetike u svetu u poslednjoj deceniji. Perspektive daljeg razvoja vetroenergetike su izrazito optimističke i u vezi sa tim je izuzetno važno što tačnije proceniti vetroenergetski potencijal i estimirati raspoloživu količinu električne energije koja se može dobiti od vetra na lokacijama na kojima se planira izgradnja vetroelektrana, kako bi se utvrdilo da li je ona ekonomski isplativa.

2. PROCENA ENERGETSKOG POTENCIJALA VETRA U SVETU

Procena vetroenergetskog potencijala u svetu na visini od 80 metara (na kojoj se obično postavlja gondola savremenih vetroelektrana) izvršena je od strane NASA i istraživača sa Stanford Univerziteta, [3]. Upotrebljen je posebno razvijen matematički ekstrapolacioni postupak najmanjih kvadrata, pomoću koga je dobijena procena brzine vetra na visini od 80 m, a na osnovu podataka o brzini vetra na visini od 10 m (kojima se raspolagalo iz prizemnih meteo stanica), kao i na osnovu mreže sondažnih (visinskih) stanica za merenje brzine vetra (u ovom slučaju na visinama do 200 m). Korišćeni su dostupni meteorološki podaci i informacije o brzinama vetra za ceo svet koji su dobijeni od *NCDC (National Climatic Data Center)* i *FSL (Forecast Systems Laboratory)* za period 1998 - 2002. godina. Obradeni su podaci sa 7753 prizemnih meteoroloških stanica (od tog broja 81 su bove) i 446 visinskih stanica (sonde). Na slici 1 i u tabelama 1 i 2 su dati osnovni rezultati ovog istraživanja, a na osnovu podataka za sve dane 2000. godine (uzeta je sredina perioda), na lokacijama sa 20 ili više validnih čitanja.



Slika 1. Mape prosečne brzine vetra u svetu i Evropi na visini 80 m

Tabela 1. Broj i procenat mernih stanica za pojedine klase vetrova na visinama od 80 i 10 m

	Sondažne (visinske) stanice				Prizemne (površinske) stanice				Sve tretirane stanice			
	V80		V10		V80		V10		V80		V10	
Klasa vetra	Broj stanica	%	Broj stanica	%	Broj stanica	%	Broj stanica	%	Broj stanica	%	Broj stanica	%
1	337	75.6	410	75.4	5885	75.9	6144	79.0	6222	75.9	6554	78.8
2	64	14.3	54	9.9	875	11.3	689	8.9	939	11.5	743	8.9
3	16	3.6	31	5.7	321	4.1	295	3.8	337	4.1	326	3.9
4	13	2.9	14	2.6	220	2.8	149	1.9	233	2.8	163	2.0
5	6	1.3	10	1.8	126	1.6	120	1.5	132	1.6	130	1.6
6	7	1.6	6	1.1	124	1.6	124	1.6	131	1.6	130	1.6
7	3	0.7	19	3.5	202	2.6	256	3.3	205	2.5	275	3.3
Ukupno	446	100.0	544	100.0	7753	100.0	7777	100.0	8199	100.0	8321	100.0
Klasa ≥ 3	45	10.1	80	14.7	993	12.8	944	12.1	1038	12.7	1024	12.3

Tabela 2. Srednje brzine vetrova na visinama od 80 m i 10 m za sve klase vetrova i samo za klase ≥ 3

Tip stanice	Srednja brzina na visini 80m V80 (m/s)	Srednja brzina na visini 10m V10 (m/s)	Srednja brzina V80 na stanicama za klasu vetrova ≥ 3 (m/s)	Srednja brzina V10 na stanicama za klasu vetrova ≥ 3 (m/s)
Površinska iznad zemlje	4.54	3.28	8.40	6.50
Bove	8.60	6.64	9.34	7.26
Sonde	4.84 (Noć: 4.85, Dan: 4.96)	3.31	8.02	6.26
Sve stanice	4.59	3.31	8.44	6.53

Poseban aspekt koji je analiziran u ovoj studiji je potencijal za razvoj farmi vetroelektrana na moru. Glavna prednost lokacija na moru je smanjena površinska hrapavost, što ima za posledicu veće brzine vetra i zahvaljujući tome,

veću produkciju energije od vetra. Takođe, jačina horizontalnog termalnog gradijenta je najveća blizu obale. Kao što se iz priloženih tabela može videti, preko 60% bova imalo je prosečne brzine vetra na 80 m u najvišim klasama snage vetra (6 i 7). Prosečna brzina vetra na visini od 80 m za 75 od 81 lokacija na moru koje su imale najmanje 20 validnih čitanja u 2000. godini bila je 8,60 m/s (klasa 6). Kada su razmatrane samo lokacije u klasi ≥ 3 , srednja brzina vetra na visini od 80 m bila je 9,34 m/s (klasa 6). Upoređenja radi, iznad tla je brzina vetra na 80 m bila 4,54 m/s (klasa 1), dok je za stanice u klasi ≥ 3 iznosila 8,40 m/s (klasa 5). Drugim rečima, farme vetroelektrana koje su smeštene na moru mogle bi da imaju brzine vetra koje su u proseku 90% veće od brzina vetra na farmama smeštenih na kopnu. Kada se posmatraju sve lokacije na kopnu (površinske i sondažne) i sve lokacije na moru, globalna prosečna brzina vetra na 80 m bila je 4,59 m/s (8,44 m/s za lokacije klase ≥ 3).

U toku istraživanja je dokazano da ukupan vetroenergetski potencijal na kopnu može da se izračuna koristeći podatke iz stanica u klasi ≥ 3 iz tabele 1 ($f_{\text{class} \geq 3} = 0,127$ (12,7%)), površine tla A_{land} , i godišnje prosečne brzine vetra za stanice u klasi ≥ 3 iz tabele 2 ($V_{\text{class} \geq 3} = 8,44$ m/s), kao što sledi:

$$P_{\text{onshore}} = f \cdot A_{\text{land}} \cdot n \cdot P_{\text{iz}} = f \cdot A_{\text{land}} \cdot n \cdot C_f \cdot P_{\text{nom}} = f \cdot A_{\text{land}} \cdot n \cdot \left(0,087 \cdot V - \frac{P_{\text{nom}}}{D^2} \right) \cdot P_{\text{nom}} \quad (1)$$

$$P_{\text{onshore}} = 9,91 \times 10^7 \cdot \left(0,087 \cdot 8,44 - \frac{1500}{77^2} \right) \cdot 1500 = 7,15 \times 10^{10} \text{ kW} \approx 72 \text{ TW} \quad (2)$$

Procenjenih 72 TW odgovara $6,27 \times 10^{14}$ kWh/god. = 627000 TWh/god. ili oko 54000 Mtoe godišnje. Čak i kada bi samo ~20% ukupne energije vetra moglo da se iskoristi, ona bi mogla da zadovolji 100% svetskih potreba za energijom za sve namene (6995-10177 Mtoe), a čak bi više od sedam puta bila veća od trenutnih svetskih potreba za električnom energijom (17000 TWh/god.). S obzirom na to, ukupan vetroenergetski potencijal u svetu više je nego dovoljan za zadovoljenje svih sadašnjih, ali i budućih svetskih potreba za energijom.

2.1. Primena ove metode za određivanje globalnog potencijala vetra u Srbiji, na visini od 80m

Procenjena srednja brzina vetra u Srbiji je $v_{\text{sr}} = 5,3$ m/s, pa je usvojena vrednost faktora iskorišćenja vetroturbine $C_f = 0,2$. Usvajajući nešto manju vrednost za procenat broja stanica $f_{\text{SRB}} = 0,1$ dobija se:

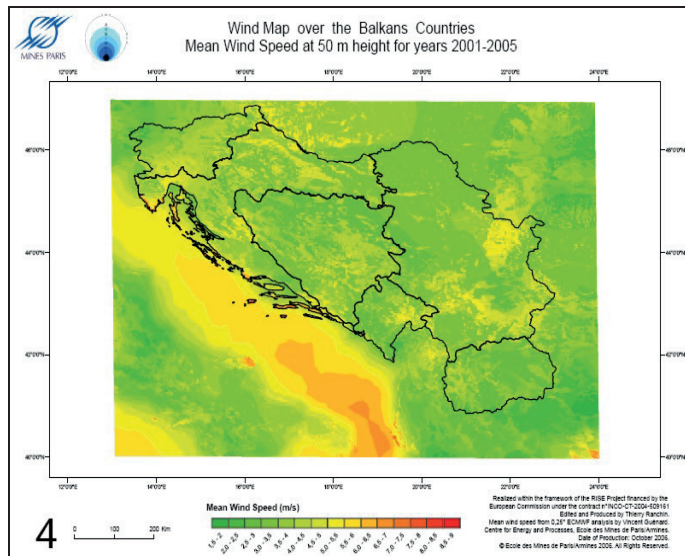
$$P_{kopno (SRB)} = f_{(SRB)} \cdot A_{kopno (SRB)} \cdot n \cdot C_{f (SRB)} \cdot P_{nom} \quad (3)$$

$$P_{kopno (SRB)} = 0,1 \cdot 88 \cdot 10^3 \text{ km}^2 \cdot 6 \frac{VG}{\text{km}^2} \cdot 0,20 \cdot 1500 \frac{\text{kW}}{VG} \approx 16 \cdot 10^6 \text{ kW} = 16000 \text{ MW} = 16 \text{ GW} \quad (4)$$

Realno je tehnički iskoristiv vetropotencijal u Srbiji nešto veći i može se proceniti na: $P_{kopno (SRB)} \approx (16 \div 20) \text{ GW} = (16000 \div 20000) \text{ MW}$ ($\sim 32 \text{ TWh/god.}$ električne energije).

3. ENERGETSKI POTENCIJAL VETRA U ZEMLJAMA BALKANSKOG REGIONA

Mapa vetrova na teritoriji Balkana koja prikazuje srednju brzinu vetra na 50 m, a obuhvata podatke za period 2001-2005. godina prikazana je na slici 2. Realizovana je u oktobru 2006. u okviru RISE projekta finansiranog od strane Evropske Komisije. Međutim, vrednosti za srednje brzine vetra koje su prikazane na ovoj mapi za teritoriju Srbije i Crne Gore su dosta skromne, što su pokazali rezultati merenja na pojedinim mikrolokacijama u Srbiji i Crnoj Gori, kao i istraživanja koja su delimično prikazana i u ovom radu.



Slika 2. Mapa prosečne brzine vetrova u zemljama balkanskog regiona, na visini od 50 m

4. ANALIZA METODA ZA PROCENU VETROENERGETSKOG POTENCIJALA U SRBIJI

Za teritoriju Srbije urađeno je više studija na temu procene globalnog vetroenergetskog potencijala i urađene su mape vetrova, na kojima figurišu brzina, gustina snage ili ukupna količina energije. Prisutna su dva „problema”: prvo, mape su rađene na osnovu meteoroloških podataka koji se najčešće daju za visinu od 10m, pa se dobijeni rezultati ekstrapoliraju za željenu visinu, tj. nisu vršena namenska sistematizovana merenja na većem broju lokacija, u dužem vremenskom periodu i drugo, mape se razlikuju, što zbog podataka koji su obrađeni, što zbog pristupa, tj. primenjene metodologije.

4.1. Prva metoda – procena energetskog potencijala vetra u Srbiji uporednom metodom

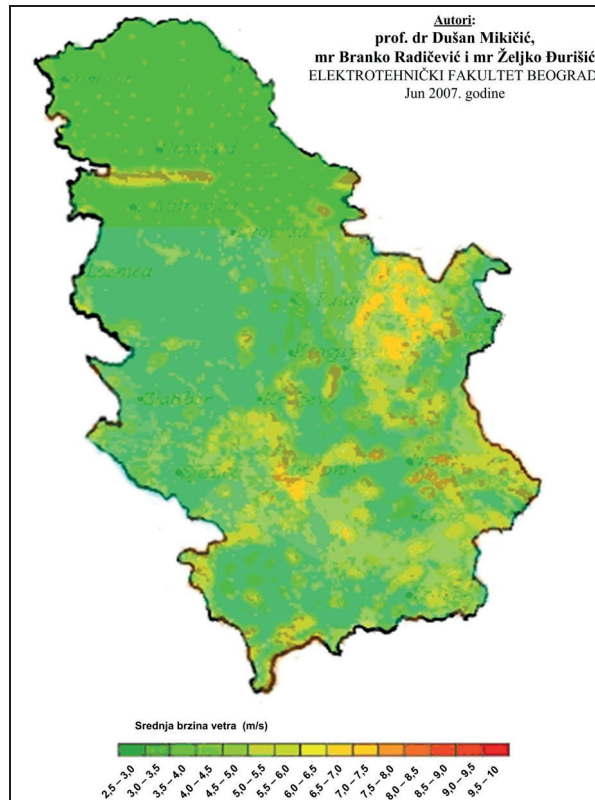
Autori ovog rada su korišćenjem originalne metode procenili vetroenergetski potencijal Srbije, [1, 2]. Za potrebe analize vetra u Srbiji u svrhu proizvodnje električne energije, *korišćena je uporedna metoda*, koje se sastojala iz tri glavne faze:

1. Uspostavljanje geografske, topološke i demografske sličnosti između Srbije i Danske, koja ima verifikovane procene svog globalnog vetroenergetskog potencijala kroz značajna izgrađena vetroenergetska postrojenja (preko 3100 MW) i najveće učešće vetroenergije u proizvodnji električne energije (22%). Prema najnovijim preporukama Evropske Komisije za vetroenergiju, Danska je dobila referentni indeks vetroenergetskog potencijala (vrednost 100) i resursi vetra svih drugih zemalja se tretiraju u odnosu na nju.

2. Utvrđivanje klimatoloških i fizičkih karakteristika vetra (srednje brzine, učestalosti brzina, učestalosti tišina), identifikovanje perspektivnih zona za izgradnju farmi vetroelektrana i utvrđivanja ukupnih površina i klasifikovanja istih prema pogodnosti za proizvodnju električne energije od vetra.

3. Procene ukupnog i tehnički iskoristivog potencijala vetra.

Na slici 3 prikazana je mapa vetrova za Srbiju, gde je data srednja brzina vetra na 50 m, na osnovu podataka za period 1970 - 1980, realizovana 2007. godine, priređena za RISE projekat, finansiran od strane Evropske Komisije.



Slika 3. Karta vetrova Srbije na visini h=50m

4. 1. 1. Određivanje globalnog potencijala vetra u Srbiji uporednom metodom, na visini od 80m

Kako su podaci za srednju brzinu vetra određeni za visinu od 50m, prvo računamo globalni potencijal vetra u Srbiji, na visini od 50m. Metoda obuhvata sledeće korake, [6]:

1. Prvo se određuje površina teritorije Danske koja će u budućnosti biti popunjena maksimalnim brojem vetroelektrana (VE):

$$A_{f(Danske)} = VP_{(Danske)} \cdot P_{in}^{-1} = 10000 MW \cdot 0,111 \frac{km^2}{MW} = 1111 km^2 \quad (5)$$

2. Na osnovu te površine i ukupne površine Danske određuje se faktor popunjenosti teritorije sa vetroelektranama za Dansku:

$$f_{(Danske)} = \frac{A_{f(Danske)}}{A_{(Danske)}} = \frac{1111}{44000} = 0,025 = 2,5\% \quad (6)$$

3. Kako faktor ispunjenosti teritorije vetroelektranama zavisi od gustine naseljenosti teritorije, može se uspostaviti veza između ovog faktora za Srbiju i Dansku kao:

$$f_{(SRB)} = f_{(Danske)} \cdot \frac{\rho_{(Danske)}}{\rho_{(SRB)}} = 0,025 \cdot \frac{120}{100} = 0,03 = 3\% \quad (7)$$

4. Na osnovu faktora ispunjenosti teritorije vetroelektranama za Srbiju i ukupne površine Srbije dobija se površina teritorije Srbije koja u budućnosti može biti popunjena maksimalnim brojem VE:

$$A_{f(SRB)} = f_{(SRB)} \cdot A_{(SRB)} = 0,03 \cdot 88500 \approx 2680 km^2 \quad (8)$$

5. I na kraju, kako vetroenergetski potencijal zavisi od trećeg stepena srednje brzine vetra, vetroenergetski potencijal Srbije dobija se na osnovu sledeće formule:

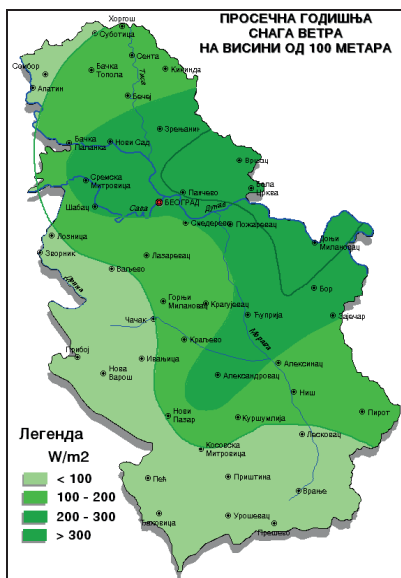
$$VP_{(SRB)}(h = 50m) = VP_{(Danske)} \cdot \frac{A_{f(SRB)}}{A_{f(Danske)}} \cdot \left(\frac{v_{sr(SRB)}}{v_{sr(Danske)}} \right)^3 \quad (9)$$

Sada je potrebno na osnovu potencijala vetra na 50m odrediti potencijal na 80m, da bi se ta vrednost uporedila sa vrednošću koja je dobijena metodom koja je data u poglavlju 2.1. Ako procenjujemo vetropotencijal za veću visinu h=80 m, onda se brzina vetra povećava za oko 7,5 %, a potencijal vetra za oko 25 %. Tako vetropotencijal za Srbiju, na visini od 80 m iznosi:

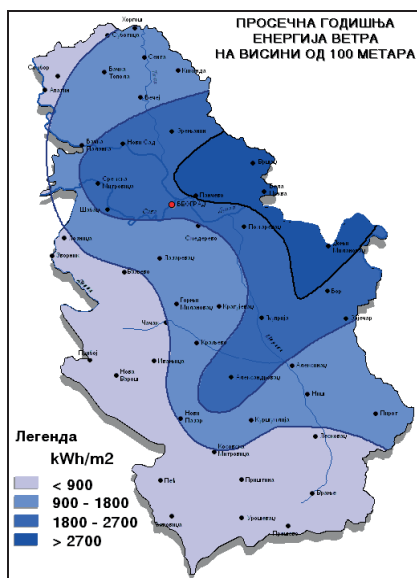
$$VP_{(SRB)}(h = 80m) = 1,25 \cdot VP_{(SRB)}(h = 50m) \quad (10)$$

$$VP_{(SRB)}(h = 80m) = 1,25 \cdot 10GW = 12500MW \quad (\sim 25 \text{ TWh/god. električne energije}).$$

4.2. Druga metoda – studija energetskog potencijala Srbije za korišćenje energije vetra



Slika 4. Mapa prosečne godišnje snage vetra u Srbiji na visini od 100m (W/m^2) (slika levo)



Slika 5. Mapa prosečne ukupne godišnje energije vetra na visini od 100m (kWh/m^2) (slika desno)

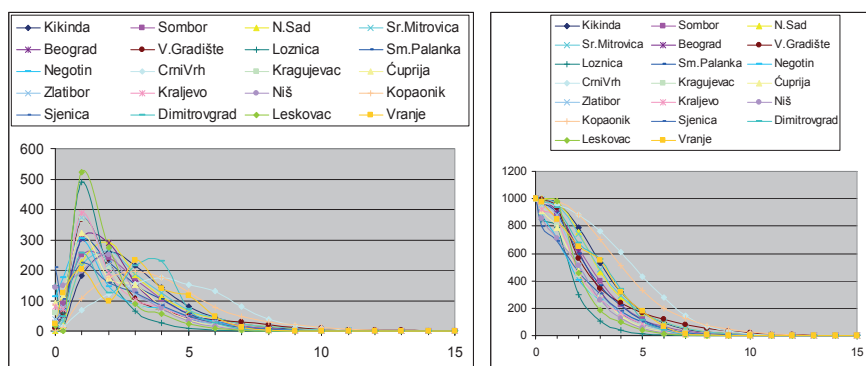
Kao pogodna metodologija koja se može u osnovnom pristupu, na analitičkom nivou (atlas), primeniti na područje Srbije je metodologija Evropskog atlasa vetra. Međutim, neophodno je uzeti u obzir specifičnosti našeg područja, pre svega u košavskoj oblasti. Naime, košava ima specifičan vertikalni profil, različit od profila preovlađujućih vetrova u zemljama EU. Doslovnom primenom metodologije Evropskog atlasa ne može se identifikovati košava. Za košavsko područje karakteristična je maksimalna čestina jugoistočnog vetra. U košavsko područje mogu se ubrojati, polazeći od Velikog Gradišta, još Vršac, Smederevska Palanka, Beograd, Sremska Mitrovica, Novi Sad, Zrenjanin i Kikinda. Van ovog izduženog luka koji obuhvata Južno Podunavlje, nema mnogo lokaliteta sa jakim i čestim jugoistočnim vetrom.

U ovoj studiji metodika izrade karata je po uzoru na Evropski atlas vetra zasnovana na sinoptičkoj klimatologiji, [5]. Uticaj topografije je ovde uključen samo indirektno u onoj meri u kojoj se oseća na podacima merenja, jer mape

odražavaju samo podatke izmerene na meteorološkim stanicama, koje se pretežno nalaze na malim nadmorskim visinama. Pošto su merenja vetra na visini od 10 m, vrednosti na visini od 100 m iznad tla izračunavane su pomoću jednačine profila vetra i podataka o hrapavosti podloge. Podaci o vetru su iz perioda 1971-1990. godine.

Na slici 4 prikazana je prosečna godišnja snaga vetra (W/m^2) na visini od 100 m iznad tla. Godišnja vrednost je manja od januarske, pa godišnja izolinijska $300W/m^2$ ne obuhvata gradove Beograd, Požarevac i Bor, što je slučaj u januaru. Na slici 5 prikazana je ukupna godišnja energija vetra (kWh/m^2) na visini od 100 m iznad tla. Godišnja vrednost predstavlja sumu 12 mesečnih suma energije. Godišnja izolinijska $2700kWh/m^2$ ne obuhvata gradove Beograd, Požarevac i Bor, ali je blizu njih.

4.3. TREĆA METODA – MOGUĆNOST KORIŠĆENJA ENERGIJE VETRA ZA DOBIJANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U SRBIJI



Slika 6. Empirijska raspodela godišnjih tišina i učestalosti časovnih srednjih brzina vetra (od 0 do 15 m/s), u promilima (slika levo)

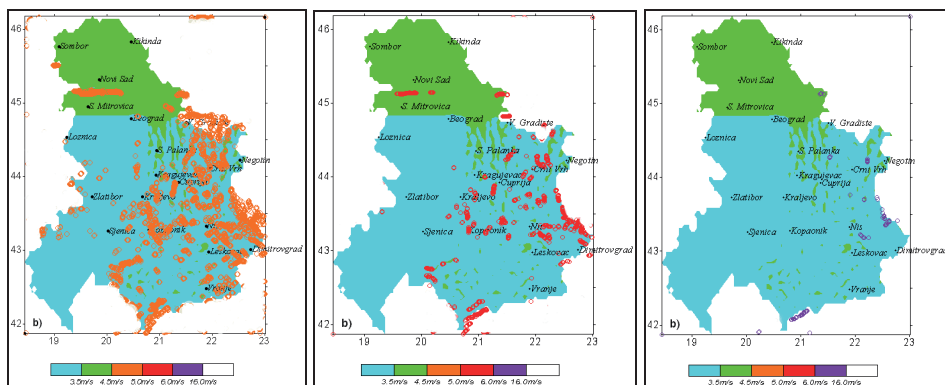
Slika 7. Prosečna godišnja učestalost tišina i srednjih godišnjih brzina vetra (od 0 do 15 m/s), po anemografskim podacima, u promilima (slika desno)

U ovoj studiji je primenjen numerički trodimenzionalni nehidrostatički klimatski model, [4]. Prilikom analize resursa vetra, korišćeni su parametri primenjeni u Evropskom atlasu vetra. Takođe, zbog lakšeg poređenja, pri prezentaciji rezultata primenjene su identične boje kao u Evropskom atlasu vetrova (*European Wind Atlas*, 1989).

Osnova za analizu fizičko-mehaničkih karakteristika vetra u Srbiji bio je skup raspoloživih anemografskih merenja brzine i pravca vetra, iz više anemo-

grafske stanice u periodu 1991-2000. godina. Uneseno je za svaku stanicu po 87.600 podataka ili ukupno 1.752.000 podataka. U cilju obavljanja analize, razvijen je pomoćni softver za unos podataka u elektronskom obliku, pošto raspoloživi podaci sa glavnih meteo stanica nisu bili dostupni u elektronskom formatu. Najpre je izvršeno određivanje učestalosti pojavljivanja srednje satne brzine vetra za svih 20 stanica, za sve mesece, sezone i godine i dobijena je empirijska raspodela učestalosti brzine vetra (slika 6). Učestalost pojavljivanja pojedinih vrednosti brzine vetra, predstavlja prosečnu učestalost na godišnjem nivou i odnosi se na visinu od 10 m iznad tla, na kojoj se, po pravilu, nalaze prijemni delovi anemografa na glavnim meteo stanicama. Poznavanje empirijskih raspodela učestalosti pojavljivanja pojedinih vrednosti brzine vetra, omogućuje dobijanje validnih informacija o učestalosti određene ili veće brzine vetra. Takav kvantitativan prikaz za obrađene anemografske stanice je dat na slici 7. Za analizu tehničkih resursa za korišćenje energije vetra za proizvodnju električne energije osnova je desetominutna srednja brzina vetra, na visini od 50 metara od tla.

Na slikama 8, 9 i 10 prikazani su rezultati istraživanja. Ovakav prikaz je posledica rezolucije modela sa korakom od 500 metara i ukupnim brojem tačaka od 583.112, koje metodom prostorne interpolacije, ne mogu biti grafički jasno prikazane u 2 dimenzije. Čitljivost nije bilo moguće održati ni izohipsama, niti nanošenjem svih tačaka na jednoj karti.



Karakteristične lokacije u Srbiji sa godišnjom srednjom
brzinom vetra u intervalu:

Slika 8. od $\geq 4.5 \text{ m/s}$ do 5 m/s (slika levo), Slika 9. od $\geq 5.1 \text{ m/s}$ do 6 m/s (slika u sredini) i Slika 10. $\geq 6.0 \text{ m/s}$ (slika desno), određenih na bazi desetominutnih srednjih brzina, na visini od 50 m

Dakle, analiza je pokazala da u Srbiji postoji značajan broj lokacija na kojima vetar godišnje duva preko 50% vremena, srednjom brzinom većom od 6 m/s (Midžor, Deli Jovan, Jastrebač, Stara planina, Kopaonik, Juhor, Suva planina, Tupižnica, Krepoljin, Vršac, Šara itd.). Takođe, postoji veliki broj lokacija sa srednjom godišnjom brzinom vetra od 5 m/s od 6 m/s i stabilnim vetrom i ogroman broj lokacija sa srednjom godišnjom brzinom vetra od 4 m/s od 5 m/s. Sve ove lokacije su pogodne za izgradnju modernih vetroelektrana. Konačan zaključak ove studije je sledeći: ako bi se aktivirale zone sa srednjom godišnjom brzinom vetra većom od 5m/s, bila bi moguća izgradnja oko 1300 MW vetrogeneratorskih kapaciteta (koji bi mogli da proizvedu oko 2,3 TWh/god. električne energije). Uključivanjem zona sa brzinama vetra većim od 4m/s dobio bi se ogroman vetropotencijal od 122000 MW, čijim aktiviranjem bi se zadovoljile kompletne sadašnje potrebe Srbije za električnom energijom, kao i porast potreba u budućnosti.

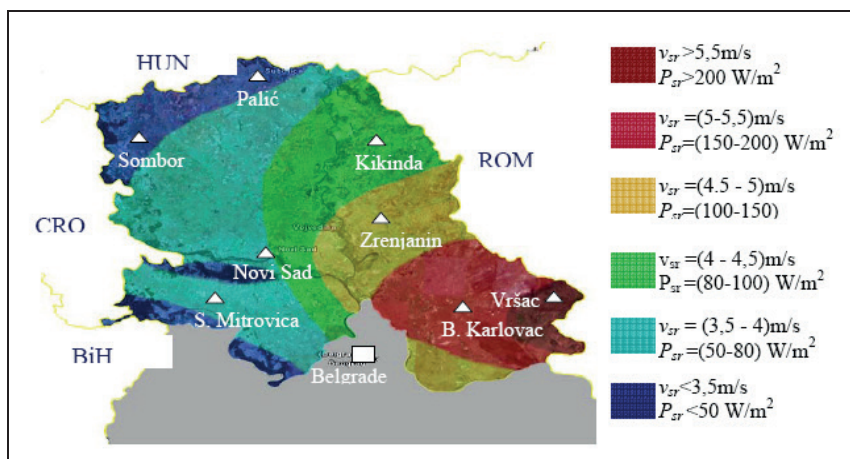
5. KOMPARACIJA DOBIJENIH REZULTATA I OCENA RESURSA VETRA

Kao zajednički zaključak razmatranih studija može se primetiti da se skoro sve analize slažu u tome da najjači vetrovi, a samim tim i najinteresantniji sa aspekta primene energije vetra u svrhu dobijanja električne energije, duvaju u oblastima istočne i jugoistočne Srbije (predeli oko Homoljskih planina, Stare planine i sl.), a trebalo bi izdvojiti još i Vršac, kao i Kopaonik i okolne predele. Takođe, uglavnom svi rezultati pokazuju da su oblasti na severu i zapadu Vojvodine, kao i u zapadnoj Srbiji potpuno neinteresantne sa aspekta globalnog vetropotencijala naše zemlje. Rezultati pokazuju da postoje značajne oblasti sa vetrovima koji nisu najvećih brzina, ali bi se mogli iskoristiti u vetroenergetici.

Radi verifikovanja rezultata koji su prezentovani u ovom radu, izvršena su merenja karakterističnih parametara vetra na više lokacija u Srbiji. U ovom radu će biti prikazani rezultati za dva karakteristična regiona: prvi region je u Vojvodini – *ravničarski predeo*, a drugi je u jugoistočnom delu Srbije – *planinska oblast*.

Region Vojvodine se izdvaja kao dosta perspektivan region u pogledu korišćenja energije vetra. Osnovne karakteristike koje favorizuju ovaj region su: dobar potencijal vetra, pristupačan teren i niski troškovi izgradnje vetroelektrana, jeftini transprtni troškovi vetroturbina iz zemalja Evropske Unije, nizak keraunički nivo, dobar potencijal ostalih obnovljivih izvora (biomasa, solarna i geotermalna energija), što omogućava gradnju hibridnih sistema, i takođe u ovom regionu se nalazi relativno dosta izolovanih potrošača koji bi se mogli

snabdevati električnom energijom pomoću malih izolovanih vetroagregata i hibridnih izolovanih sistema.



Slika 11. Mapa srednjih godišnjih brzina i snaga vetra na visini od 50 m u Vojvodini

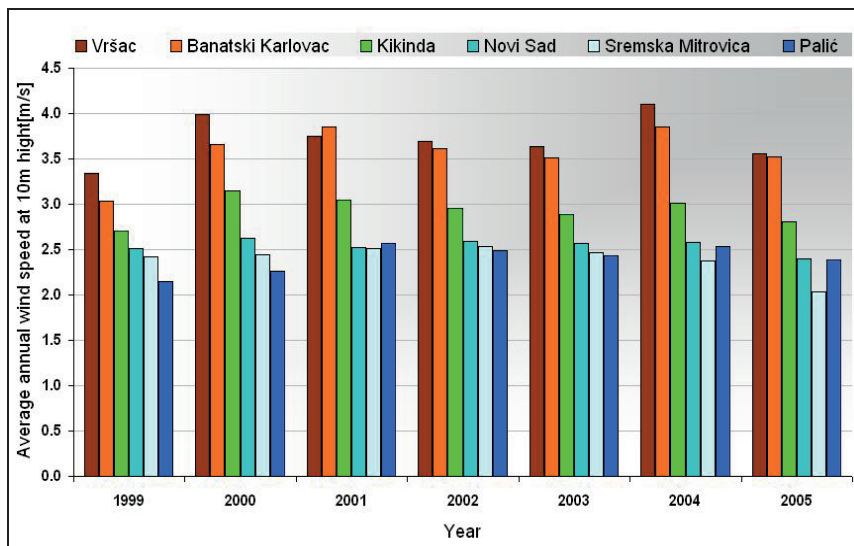
Mapa vetroenergetskog potencijala Vojvodine (slika 11) estimirana je na bazi hidrometeoroloških merenja u 6 meteoroloških stanica u regionu Vojvodine i tri pogranične stanice u Hrvatskoj, Mađarskoj i Rumuniji. Za formiranje mape korišćena je metodologija iz Evropskog Atlasa Vetrova. Za verifikaciju mape korišćena su jednogodišnja merenja brzine vetra na anemometarskom stubu visine 40m koji je postavljen u blizini merne stanice Banatski Karlovac.

Pomoću programa WASP, za svaku mernu stanicu, formirana je regionalna mapa vetroenergetskog potencijala. U proračunu su uključeni standardni hidrometeorološki meri podaci o merenjima brzine vetra u 9 mernih stanica za period od 1999. do 2006. godine. Estimacija mape vetrova je vršena za standardnu visinu od 50m. Regionalne mape vetrova ($40 \times 40 \text{ km}$), estimirane za svaku mernu stanicu, ekstrapolirane su i dobijena je mapa vetrova Vojvodine. Mapa se odnosi na srednje brzine vetra na 50m iznad tla kada bi teren bio homogen. U regionu Južnog Banata postoje tehnički iskoristivi potencijal vetra klase 3 i 4. Lokalni efekti (efekat brda i efekat tunela) mogu značajno povećati brzinu vetra na određenoj mikrolokaciji, tako da u određenim regionima u Vojvodini, posebno u Južnom Banatu, postoji značajan broj mikrolokacija sa srednjim godišnjim brzinama vetra iznad 6 m/s na visini od 50m kojima odgovaraju srednje godišnje

gustine snage od preko 250 W/m^2 , na kojima bi mogla postojati ekonomska opravdanost gradnje vetroelektrana.

Verifikacija mape je izvršena na osnovu merenja vetra na namenskom anemometarskom stubu, koji je postavljen u blizini merne stanice Banatski Karlovac, na kojem su vršena merenja vetra na visinama od 20, 30 i 40 m. Srednja godišnja brzina vetra izmerena na mernom stubu na visini od 40 m iznosila je $5,75 \text{ m/s}$, a odgovarajuća srednja godišnja gustina snage vetra je 237 W/m^2 . Meri stub se nalazio u regionu u kojem je procenjena brzina vetra na 50 m $5\text{-}5,5 \text{ m/s}$, pa se na osnovu ovog poređenja može zaključiti da estimirana mapa prikazana na slici 11 daje u izvesnoj meri skromniji potencijal od stvarnog.

Ružu vetrova u regionu Vojvodine karakteriše izrazito dominantan jugoistočni vetar – Košava. Na slici 12 prikazane su uporedo srednje brzine vetra u mernim stanicama koje su poređane u smeru Košave. Prelazeći preko terena Košava gubi energiju, tako da se i vetroenergetski potencijal najveći u jugoistočnom delu Vojvodine smanjuje idući od jugoistoka ka severozapadu Vojvodine.



Slika 12. Srednja godišnja brzina vetra u mernim stanicama u Vojvodini, na visini od 10 m

Dakle, usvojena srednja godišnja brzina vetra (na visini od 50m) u ravničarskim predelima u Srbiji iznosi oko $v_{sr} = 6,0 \text{ m/s}$, čemu odgovara gustina snage vetra oko 250 W/m^2 (klasa vetrova >3), pa srednja godišnja vrednost

električne energije po m^2 rotora turbine koja se može dobiti na ovakvim lokacijama iznosi: $E_{\text{el}} = 3,3 \times v_{\text{sr}}^3 \approx 700 \text{ kWh/m}^2 \text{ god}$. Za planinske oblasti je srednja godišnja brzina vetra procenjena na oko $v_{\text{sr}} = 7,5 \text{ m/s}$, čemu odgovara gustina snage vetra oko 800 W/m^2 (klasa vetrova >6). Srednja godišnja vrednost električne energije po m^2 rotora turbine koja se može dobiti na ovim lokacijama je: $E_{\text{el}} \approx 1400 \text{ kWh/m}^2 \text{ god}$.

Na osnovu sprovedene kompletne analize, može se zaključiti da je vetar energetski resurs naše zemlje, čijim aktiviranjem bi se značajno povećali instalirani kapaciteti, raznovrsnost energetskih izvora i smanjila zavisnost od uvoza sve skupljih energetskih sirovina. Zvanični podaci ukazuju da je cena električne energije koju proizvedu vetroelektrane, na lokacijama koje su bogate kvalitetnim vetrom, već konkurentna sa klasičnim izvorima.

Elektroenergetski sistem Srbije je strukturno jako povoljan za integraciju vetroelektrana. Postojanje reverzibilne hidroelektrane Bajina Bašta omogućava preuzimanje viška električne energije u uslovima pojačanog vetra odnosno proizvodnje vetrogeneratora. Takođe, stabilni hidropotencijali (Đerdapske hidroelektrane) mogu obezbediti efikasnu regulacionu rezervu i time stabilan rad sistema i u uslovima velike varijacije u proizvodnji vetroelektrana. Priključenjem vetrogeneratorskih kapaciteta delom bi rasteretili prenosnu mrežu, smanjili ukupne gubitke i poboljšali naponske prilike. Vetroelektrane imaju kratak rok izgradnje (5-10 meseci), pa se energetska situacija na ovaj način može relativno brzo popraviti, [2].

6. ZAKLJUČAK

Vetroelektrane, kao izvori električne energije u savremenim distributivnim sistemima su, kao reakcija na globalne ekološke i energetske probleme, doživeli u poslednjih deset godina izuzetan tehnološki i tehnički napredak, sa fantastičnim trendom porasta instaliranih kapaciteta u svetu, a naročito u zemljama Evropske Unije. Zahvaljujući takvom napretku, dalje prognoze razvoja vetroenergetike su vrlo optimističke i u svim varijantama predstavljaju vetroelektrane, kao vrlo bitan izvor električne energije u budućnosti. Dalje usavršavanje tehnologije vetroelektrana dovodi do permanentnog povećanja njihove efikasnosti i pada cene električne energije koju one proizvode, nasuprot porasta cene energije iz elektrana na fosilna goriva zbog iscrpljenosti izvora i ekoloških problema konverzije. U ekološkom pogledu, savremene vetroelektrane spadaju u najprihvatljivije izvore električne energije. Preliminarne analize vetroenergetskih resursa u Srbiji i Crnoj Gori, na bazi namenskih merenja karakterističnih parametara vetra koja su izvršena na više lokacija, pokazale su

da postoje regioni sa značajnim vetroenergetskim potencijalom na kojima je moguća ekonomski isplativa izgradnja vetrogeneratorskih postrojenja. Ovaj rad je dao još jedan doprinos tvrdnji da postoje svi realni uslovi da već u skorijoj budućnosti možemo sa pravom da očekujemo da vetroelektrane postanu deo našeg savremenog elektroenergetskog sistema.

7. LITERATURA

- [1] D. Mikičić, B. Radičević, Ž. Đurišić, *Wind Energy Potential in the World and in Serbia and Montenegro*, Facta Universitatis, Series: Electronics and Energetics, vol. 9, No 1, 2005.
- [2] D. Mikičić, Ž. Đurišić, B. Radičević, *Globalna procena o količini električne energije koja bi se mogla dobiti pomoću vetrogeneratora u Srbiji i Crnoj Gori*, Elektro-tehnički fakultet, Beograd, Jun 2003.
- [3] C. Archer, M. Jacobson, *Evaluation of global wind power*, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford, California, USA, mart 2005.
- [4] *Mogućnost korišćenja energije vetra za proizvodnju električne energije*, naručena od strane Elektroprivrede Srbije, izvedena od strane firme "TEKON - TEHNO-KONSALTING", d.o.o. uz pomoć Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije, 2002. godine.
- [5] Prof. dr Petar Gburčik i drugi, *Studija energetskeg potencijala Srbije za korišćenje sunčevog zračenja i energije vetra*, naručena od strane Ministarstva nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije, izvedena od strane Centra za multidisciplinarnu studiju Univerziteta u Beogradu i Tehnološko metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, 2004. godine.
- [6] B. Radičević, D. Mikičić, *Vetrogeneratori – perspektive i primene u Srbiji i Crnoj Gori*, IV Naučni skup - Alternativni izvori energije i budućnost njihove primjene, Budva 6. i 7. oktobar 2005. god., Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, Zbornik radova, pp. 125-144, Podgorica, 2006.

COMPARISON OF METHODS FOR THE ESTIMATION OF WIND ENERGY POTENTIAL AND CONVERSION OF WIND ENERGY INTO ELECTRIC ENERGY

ABSTRACT:

In this paper is given an analysis and a comparison of several methods for the estimation of global wind energy potential and a calculation of the amount of electric energy that can be obtained from wind. Special attention is given to the new and original method for the estimation of wind potential which was developed entirely by authors of this paper. The contribution of this paper will be to the determination of wind energy potential in Balkan region countries (particularly in Serbia and Montenegro), to the detection of suitable locations and to the analysis of technical opportunities for the construction of wind power stations. The final result of this paper is one more contribution to the inclusion of wind energy into the strategic model of development of wind energy usage.

Key words: comparative analysis, wind energy potential, wind power stations, electric energy

