

# Analiza dugoročnog potencijala energije vetra u regionu Banata

Ana Đorđević, Jelena Kušić  
Elektrotehnički fakultet  
Univerzitet u Beogradu  
Beograd, Srbija  
anaetf@gmail.com  
jelenaetf@gmail.com

Željko Đurišić  
Elektrotehnički fakultet  
Univerzitet u Beogradu  
Beograd, Srbija  
djurismic@etf.rs

*Sadržaj*— Kratkoročna merenja brzine vetra ne mogu biti pouzdan reprezent potencijala vetra jer merenja mogu biti sprovedena u godini koja je manje ili više vetrovita od prosečne za dugogodišnji period. U radu je predstavljen matematički model za procenu dugoročnog potencijala energije vetra na osnovu mernih podataka za određeni kratkoročni vremenski period (npr. jednogodišnji merni podaci). Analiza je sprovedena za lokaciju Bavanište, mesto na teritoriji opštine Kovin, u južnom Banatu. Za procenu višegodišnjeg potencijala energije vetra u ciljnom regionu korišćena je baza MERRA podataka o brzinama vetra, dobijena na osnovu satelitskih merenja koja je realizovala NASA. Sprovedena je analiza u kojoj se meri ovi podaci mogu koristiti za predikciju brzine vetra. Proračunata je greška u predikciji proizvodnje vetroelektrane i rezultati su grafički predstavljeni.

*Ključne reči*- vetroenergetski potencijal; region Banata; MERRA baza podataka; korelaciona analiza; dugoročna predikcija snage;

## I. UVOD

Za razvoj projekta vetroelektrane na ciljnoj mikrolokaciji neophodno je najpre utvrditi resurse energije vetra na posmatranoj lokaciji. Sprovedena istraživanja vetroenergetskog potencijala na teritoriji Srbije izdvajaju region Vojvodine kao perspektivan region za gradnju vetroelektrana, sa značajnim iskoristivim potencijalom ovog obnovljivog izvora energije, [1,2]. S obzirom na topografske karakteristike regiona, praktično se sve mikrolokacije perspektivnih vetroelektrana u Južnom Banatu odlikuju vrlo sličnom klimatologijom u pogledu vetra, što je i potvrđeno namenskim merenjima brzine vetra koja se sprovode u ovom regionu [3].

Namenska merenja brzine vetra na ciljnoj lokaciji treba vršiti minimalno jednu godinu, kako bi se obuhvatile sezonske varijacije brzine vetra. Životni vek vetroagregata je od 20 do 25 godina, pa je za njegovu ekonomičnost neophodno proceniti potencijal vetra na vremenskom horizontu koji je reprezentativan za period njegove eksploatacije. Proračun proizvodnje vetroagregata na osnovu kratkoročnih mernih podataka unosi relativno veliku nesigurnost, jer posmatrana godina može biti manje ili više vetrovita u odnosu na prosečnu, što je neprihvatljivo za investitore u projekte

vetroelektrana. Iz tog razloga je potrebno ovu nesigurnost smanjiti.

Postojeći praktični pristupi za dugoročnu procenu potencijala vetra polaze od pretpostavke linearne korelacije između setova kratkoročnih mernih podataka sa ciljne lokacije i korespondentnih mernih podataka iz referentne merne stanice za koju postoje istorijski višegodišnji mereni podaci. Kao rezultat te analize vrši se korekcija izmerene srednje godišnje brzine vetra na ciljnoj lokaciji, na osnovu koje se vrši korekcija u proceni proizvodnje vetroelektrane, odnosno vrši procena proizvodnje vetroelektrane u prosečnoj godini životnog veka. Zbog nelinearne veze između proizvodnje električne energije i brzine vetra ovakav pristup je orijentacioni i samo u izvesnoj meri može umanjiti nesigurnost zbog kratkoročnog (jednogodišnjeg) merenja brzine vetra na ciljnoj lokaciji [4].

## II. OPIS MERNIH PODATAKA

Za potrebe analiza sprovedenih u radu korišćena su tri seta mernih podataka, i to:

- raspoloživi merni podaci o brzinama vetra sa mernog stuba na ciljnoj lokaciji za određeni vremenski period,
- merni podaci o brzinama vetra dobijeni korišćenjem MERRA baze podataka, dostupne javno na internetu, za isti vremenski period za koji su sprovedena merenja na ciljnoj lokaciji,
- istorijski merni podaci o brzinama vetra za referentnu mernu stanicu za period od najmanje 10 godina.

Analiza dugoročnog potencijala energije vetra sprovedena je za konkretnu vetroelektranu koja je planirana na lokaciji u blizini sela Bavanište, na teritoriji opštine Kovin, južnobanatski okrug, Vojvodina. Na planiranoj lokaciji postoji merni stub sa jednogodišnjim setom mernih podataka. Za potrebe ove analize na raspolaganju su bili merni podaci o brzinama vetra sa mernog stuba na visini 10 m sa satnom rezolucijom zapisa.

MERRA (*The Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications*) model za predikciju brzina vetra

je projekat koji je sprovela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Ovaj model integriše sisteme merenja sa numeričkim modelima, kako bi se dobili vremenski i prostorno dosledni meteorološki podaci. MERRA podaci su generisani koristeći verziju 5.2.0 GEOS (*Goddard Earth Observing System*) atmosferskog modela i DAS (*Data assimilation system*) modela i pokrivaju period od 1979. godine do danas [5]. Opseg podataka, kao i posmatrani uticaji, čine ih pogodnim za istraživanje dugogodišnje varijabilnosti brzine vetra. Za potrebe analize korišćeni su MERRA podaci o brzinama vetra za referentnu mernu stanicu na visini 10 m sa satnom rezolucijom zapisa, za isti vremenski period u kome su sprovedena merenja na ciljnoj lokaciji.

Kao referentna merna stanica odabrana je merna stanica Vršac. Lokacija merne stanice Vršac je: N 45.12°, E 21.3°, H=85 m. Merna stanica se nalazi pored aerodromskog tornja, na nadmorskoj visini od 83 m. Za potrebe analize na raspolaganju su bili mereni podaci o brzini vetra za referentnu mernu stanicu za višegodišnji period od 1981. do 2009. godine. Merenja su vršena na standardnoj mernoj visini 10 m, sa trosatnom rezolucijom.

### III. MODEL ZA KORELACIONU ANALIZU

U cilju utvrđivanja u kojoj se meri različiti setovi podataka o brzinama vetra mogu iskoristiti za procenu dugoročnog potencijala vetra u ciljnom regionu sprovodi se korelaciona analiza. Pretpostavi se linearna korelaciona funkcija između seta podataka o brzini vetra merenih na ciljnoj lokaciji vetroelektrane ( $V_{VE}$ ) i korespondentnog seta mernih podataka iz referentne merne stanice ( $V_{MS}$ ):

$$V_{VEi} = C_{1i} V_{MSi} + C_{2i} \quad (1)$$

gde su:

$V_{VEi}$  – brzina vetra, na analiziranoj lokaciji vetroelektrane, koja pripada sektoru  $i$  ruže vetrova,

$V_{MSi}$  – brzina vetra u referentnoj mernoj stanici, koja pripada sektoru  $i$  ruže vetrova,

$C_{1i}$ ,  $C_{2i}$  – korelacione konstante koje treba odrediti za svaki sektor ruže vetrova  $i$ .

Najbolji rezultati u pogledu korelacije se postižu ukoliko su visine anemometara na lokaciji planirane vetroelektrane i u referentnoj mernoj stanici jednake. Standardno je visina merenja brzine vetra u hidrometeorološkim stanicama 10 m. Iz tog razloga, potrebno je, u fazi planiranja merne kampanje na lokaciji vetroelektrane, predvideti da se jedan od anemometara postavi na mernoj visini koja odgovara merenjima u referentnoj mernoj stanici.

Za svaki par od  $N$  podataka može se napisati jednačina (1), tako da se dobija jedan redundantan sistem. Optimalna procena konstanti  $C_{1i}$  i  $C_{2i}$  vrši se standardnom metodom minimuma sume kvadrata odstupanja[4]:

$$C_{1i} = \frac{N \sum V_{VEi} V_{MSi} - \sum V_{VEi} \sum V_{MSi}}{N \sum (V_{MSi})^2 - (\sum V_{MSi})^2} \quad (2)$$

$$C_{2i} = \frac{1}{N} (\sum V_{VEi} - C_{1i} \sum V_{MSi}) \quad (3)$$

Da bi se utvrdilo da li analizirana referentna merna stanica i ciljna lokacija pripadaju istoj klimatologiji vetra, potrebno je utvrditi stepen korelacije između seta podataka o brzini vetra sa mernog stuba i seta podataka iz referentne merne stanice. Ta procena se vrši na osnovu Pirsonovog koeficijenta korelacije ( $r$ ) koji se može proračunati na osnovu sledeće relacije:

$$r_i = \frac{(N \sum V_{VEi} V_{MSi} - \sum V_{VEi} \sum V_{MSi})^2}{(N \sum (V_{MSi})^2 - (\sum V_{MSi})^2) (N \sum (V_{VEi})^2 - (\sum V_{VEi})^2)} \quad (4)$$

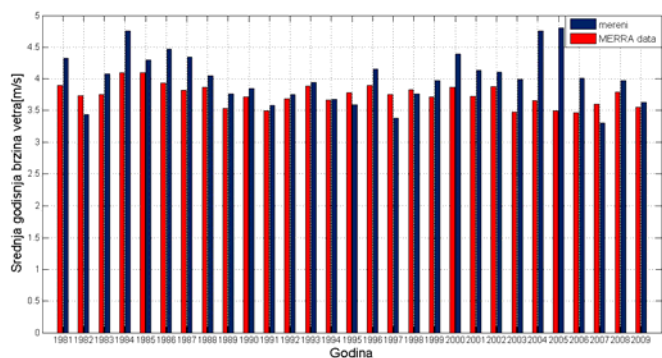
Koeficijent korelacije se može naći u opsegu  $0 \leq r \leq 1$ , pri čemu je  $r=0$  za potpuno nekorelisane podatke, a  $r=1$  za idealno korelisane podatke. Ako su prognozirana i merna lokacija udaljene, onda korelisanost zavisi i od toga da li analizirane lokacije pripadaju istoj klimatologiji vetra. Praktično, ukoliko je koeficijent korelacije  $r < 0,5$  to znači da analizirani setovi podataka nemaju pouzdanu korelaciju, tj. da referentna merna stanica i ciljna lokacija vetroelektrane ne pripadaju istoj klimatologiji u pogledu vetra. Merna stanica u tom slučaju ne može biti odabrana kao referentna. Osim geografske udaljenosti, na korelisanost utiče i visina merenja i kompleksnost terena.

### IV. KORELACIJA MERENI-MERRA PODACI ZA MERNU STANICU VRŠAC

Na Sl. 1 prikazane su uporedno srednje godišnje brzine vetra za mernu stanicu Vršac na visini 10 m za period od 1981. do 2009. godine, dobijene na osnovu baze standardnih trosatnih hidrometeoroloških podataka merenih u mernoj stanici Vršac i odgovarajućih srednjih trosatnih brzina vetra dobijenih korišćenjem MERRA baze podataka. Primećuje se da su dijagrami srednjih godišnjih brzina vetra veoma slični. Određen je stepen korelacije između seta izmerenih brzina vetra i korespondentnog seta brzina vetra dobijenih korišćenjem MERRA baze podataka.

Za potrebe ove analize bili su na raspolaganju višegodišnji merni podaci o brzini vetra mereni na lokaciji hidrometeorološke stanice Vršac. Merenja su vršena na mernoj visini 10 m, sa trosatnom rezolucijom. Napravljena je baza podataka srednjih trosatnih brzina vetra koja pokriva period januar 1981 - decembar 2009. Za razmatrani period formirana je i baza korespondentnih srednjih trosatnih brzina vetra dobijenih korišćenjem MERRA baze podataka.

Uspostavljena je linearna korelaciona funkcija između seta podataka o brzini vetra sa mernog stuba i seta podataka dobijenog pomoću MERRA modela za lokaciju merne stanice.

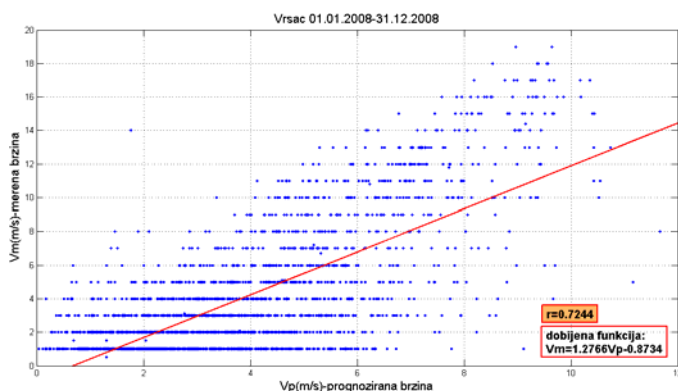


Slika 1. Srednje godišnje brzine vetra za mernu stanicu Vršac na visini 10 m za period od 1981. do 2009.

Na Sl. 2 dat je grafički prikaz jedne korelacione funkcije između seta jednogodišnjih mernih podataka sa 10 m mernog stuba na lokaciji Vršac i odgovarajućih MERRA podataka. Odgovarajući koeficijenti korelacije po godinama za setove podataka dati su u Tabeli I. Primenom metode najmanjih kvadrata za set parova podataka dobijene su korelacione funkcije sa korelacionim koeficijentima koji se nalaze u opsegu  $0,56 \leq r \leq 0,72$ . Dakle, stepen korelacije za analizirane setove podataka je dobar, odnosno MERRA podaci se sa dovoljnom tačnošću mogu koristiti za procenu dugoročnog potencijala energije vetra u ciljnom regionu.

#### V. GODIŠNJA VARIJABILNOST PROIZVODNJE VETROELEKTRANE U REGIONU BANATA

Na osnovu raspoloživih višegodišnjih mernih podataka o brzini vetra sa mernog stuba u mernoj stanici Vršac i korespondentnih podataka o brzini vetra dobijenih korišćenjem MERRA baze podataka izvršena je procena proizvodnje perspektivne vetroelektrane. Za test vetroagregat izabran je Vestas V 47, visine stuba 45m, prečnika rotora 47m, snage 660 kW. Za određenu brzinu se garantuje odgovarajuća snaga koju će turbina proizvesti u skladu sa karakteristikom snage turbine [4], koja je prikazana na Sl. 3. Proračun snage test vetroagregata je vršen tako što su brzine vetra (merena i MERRA) ekstrapolirane na visinu osovine vetroturbine koristeći metodologiju opisanu u radu [6].



Slika 2. Korelacija mereni – MERRA podaci (Vršac) za period januar-decembar 2008.godine

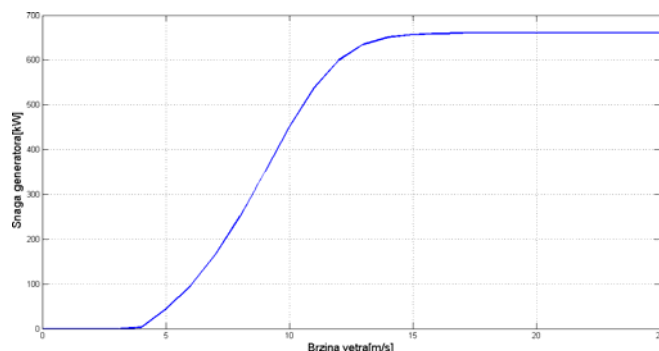
TABELA I. VREDNOSTI KOEFICIJENATA KORELACIJE ZA PERIOD OD 1981. DO 2009. GODINE

Godina	r	Godina	r	Godina	r
1981	0.6558	1991	0.6693	2001	0.6109
1982	0.6177	1992	0.5823	2002	0.6097
1983	0.6125	1993	0.61	2003	0.6427
1984	0.7095	1994	0.645	2004	0.6756
1985	0.6479	1995	0.5925	2005	0.5927
1986	0.6649	1996	0.7027	2006	0.6173
1987	0.6283	1997	0.5869	2007	0.5864
1988	0.6372	1998	0.5578	2008	0.7244
1989	0.6453	1999	0.6844	2009	0.6997
1990	0.6818	2000	0.6099		

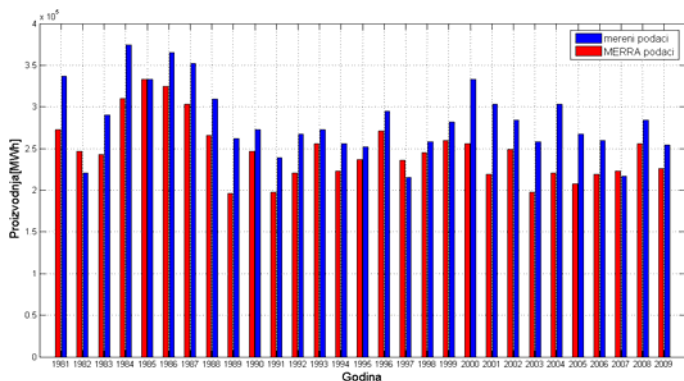
Na Sl. 4 prikazana je referentna i procenjena godišnja proizvodnja test vetroagregata za mernu stanicu Vršac na visini 10 m za period od 1981. do 2009. godine, proračunata na osnovu dva seta podataka: seta podataka o brzini vetra sa mernog stuba i odgovarajućeg seta MERRA podataka o brzini vetra na lokaciji merne stanice Vršac.

Na Sl. 5 prikazano je procentualno odstupanje godišnje proizvodnje vetroagregata od višegodišnje prosečne proizvodnje za mernu stanicu Vršac, za oba seta podataka. Sa dijagrama se može zaključiti da proizvodnja vetroelektrane varira iz godine u godinu u opsegu od -25% do +35% u odnosu na srednju višegodišnju proizvodnju za posmatrani dugogodišnji period. Iz tog razloga se ne može vršiti procena ukupne proizvodnje vetroelektrane u njenom životnom veku na osnovu proračunate proizvodnje vetroagregata u kratkoročnom (jednogodišnjem) periodu jer se na taj način unosi relativno velika greška koja je neprihvatljiva za investitora [7]. Stoga je osnovni preduslov za analizu opravdanosti razvoja projekta vetroelektrane sagledavanje dugoročnog (višegodišnjeg) potencijala energije vetra na određenoj ciljnoj lokaciji [4].

Uporednom analizom dijagrama godišnjih snaga proizvodnje vetroagregata, dobijenih na osnovu seta mernih i korespondentnih MERRA podataka, može se zaključiti da MERRA podaci daju procenu proizvodnje koja je bliska referentnoj proizvodnji dobijenoj na osnovu merenja.



Slika 3. Karakteristika snage vetroturbine, model Vestas V 47



Slika 4. Referentna i procenjena godišnja snaga proizvodnje test vetroagregata na lokaciji merne stanice Vršac

Za svaki set podataka, koji čine prognozirana i referentna prosečna godišnja snaga proizvodnje, određena je normalizovana greška, na osnovu formule (5):

$$\delta(\%) = \frac{|P_p - P_s|}{P_n} \cdot 100 \quad (5)$$

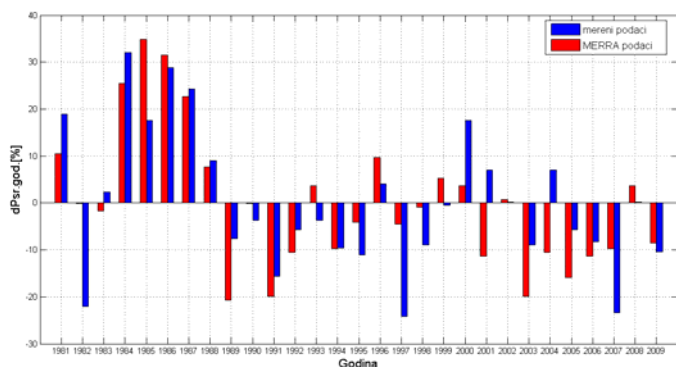
gde su:

$P_p$  – procenjena prosečna godišnja snaga dobijena korišćenjem MERRA podataka,

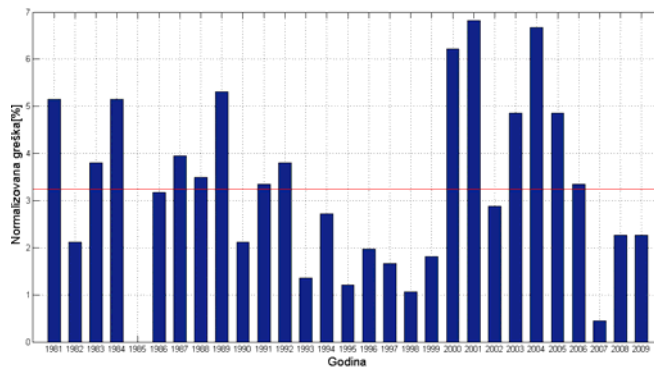
$P_s$  – referentna prosečna godišnja snaga dobijena korišćenjem merenih podataka,

$P_n$  – nominalna snaga vetroagregata.

Na Sl. 6 prikazana je vrednost normalizovane greške u proceni snage proizvodnje vetroagregata dobijene korišćenjem MERRA baze podataka, za svaku godinu u posmatranom višegodišnjem periodu. Sa grafika se vidi da se greška u proceni proizvodnje kreće u opsegu od 0 do 7%. Na grafiku je crvenom linijom označena i srednja višegodišnja greška koja iznosi 3,2%. Male vrednosti greške ukazuju na to da se podaci dobijeni korišćenjem MERRA baze podataka o brzinama vetra mogu sa velikom tačnošću koristiti za procenu proizvodnje vetroelektrane.



Slika 5. Odstupanje godišnje snage proizvodnje od srednje višegodišnje snage proizvodnje test vetroagregata na lokaciji merne stanice Vršac



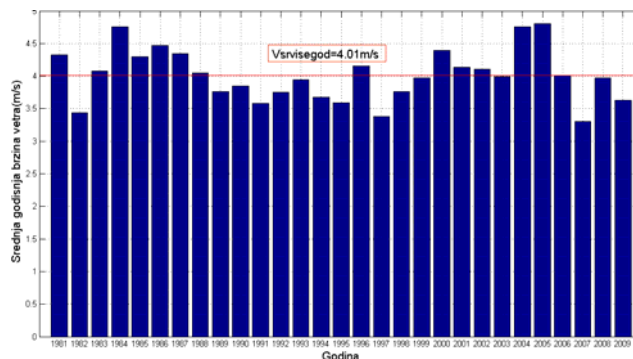
Slika 6. Normalizovana greška u proceni snage sa jednogodišnjom rezolucijom i naznačenom srednjom višegodišnjom greškom

## VI. PROCENA DUGOROČNOG POTENCIJALA ENERGIJE VETRA U BANATU

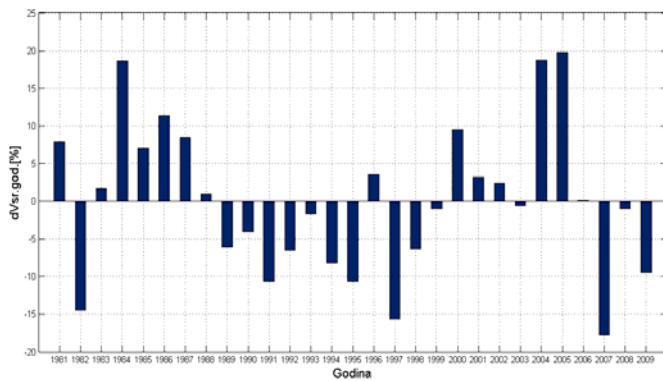
Na Sl. 7 prikazane su srednje godišnje brzine vetra za mernu stanicu Vršac na visini 10 m za period od 1981. do 2009. godine. Naznačena crvena linija predstavlja srednju višegodišnju brzinu vetra za analizirani period. Odstupanje srednjih godišnjih brzina vetra od višegodišnje prosečne brzine vetra prikazano je na Sl. 8. Na osnovu Sl. 7 i 8 može se zaključiti da merenja koja se sprovode u toku jedne godine ne mogu biti pouzdan reprezent za dugoročni (višegodišnji) period za koji se projektuje vetrogenerator.

Na primer, za analiziranu referentnu mernu stanicu Vršac, ukoliko bi zaključak o potencijalu vetra izvršili na osnovu merenja sprovedenih u toku 2007. godine, procena potencijala energije vetra bi bila manja od višegodišnjeg proseka, jer je srednja godišnja brzina vetra na toj lokaciji na visini 10 m bila 3,3 m/s, što je za oko 17 % manja brzina od srednje višegodišnje brzine vetra na toj lokaciji (4,012 m/s). Ukoliko bi merenja brzine vetra bila vršena 2005. godine dobila bi se za oko 19 % veća srednja godišnja brzina vetra u odnosu na višegodišnju prosečnu vrednost, odnosno procenjeni potencijal vetra bi bio precenjen. Iz tog razloga je potrebno ovu nesigurnost smanjiti.

Za realizaciju modela za sagledavanje dugoročnog potencijala energije vetra na određenoj ciljnoj lokaciji neophodno je prikupiti tri seta podataka, i to:



Slika 7. Srednje godišnje brzine vetra na lokaciji merne stanice Vršac



Slika 8. Odstupanje srednje godišnje brzine vetra od višegodišnje prosečne brzine na lokaciji merne stanice Vršac

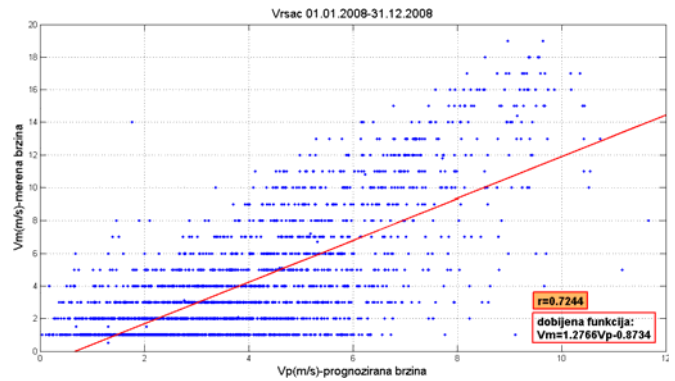
- merne podatke o srednjim satnim brzinama vetra na ciljnoj lokaciji za određeni kratkoročni vremenski period (npr. godinu dana)
- merne podatke o srednjim satnim brzinama vetra u referentnoj mernoj stanici za isti vremenski period u kome su sprovedena merenja na ciljnoj lokaciji,
- istorijske merne podatke o srednjim satnim brzinama vetra za referentnu mernu stanicu za period od najmanje 10 godina.

Za konkretnu vetroelektranu na lokaciji Bavanište obrađeni su podaci sa mernog stuba na ciljnoj lokaciji i korespondentni podaci iz referentne meteorološke stanice, tako što su odbačeni parovi mernih podataka u kojima podaci ne zadovoljavaju u pogledu kvaliteta merenja (zaleđivanje i kvarovi na mernoj opremi). Nakon filtriranja podataka formira se baza vremenski korespondentnih podataka o brzini vetra. Shodno razvijenom algoritmu, relacije (1-4), izvršena je procena višegodišnje proizvodnje perspektivne vetroelektrane.

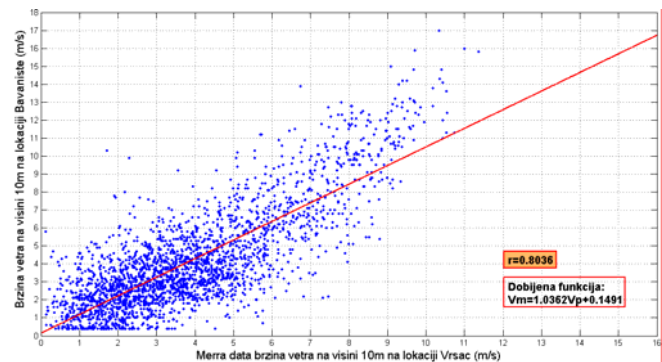
Analizom odgovarajućih mernih podataka može se zaključiti da:

- srednja jednogodišnja brzina vetra na visini 10 m (za period od 01.08. 2008. do 31. 07. 2009) na lokaciji vetroelektrane iznosi 4,14 m/s.
- srednja brzina vetra za dvadesetogodišnji period (od 01.01.1981. do 31. 12. 2009) na lokaciji referentne merne stanice na visini 10 m iznosi 4,012 m/s.

Na osnovu opisanog korelacionog modela izvršena je analiza korelacije između mernih podataka sa lokacije mernog stuba u Bavaništu i korespondentnih jednogodišnjih podataka za referentnu mernu stanicu Vršac za period od 01. 08. 2008. do 31. 07. 2009. Na Sl. 9 prikazan je dijagram korelacije između seta mernih podataka o brzini vetra na lokaciji Bavanište i odgovarajućeg seta podataka sa mernog stuba iz hidrometeorološke stanice Vršac. Na Sl. 10 prikazan je dijagram korelacije između seta mernih podataka o brzini vetra na lokaciji Bavanište i odgovarajućeg seta MERRA



Slika 9. Korelacija mereni podaci (Bavanište) – mereni podaci (Vršac) za period januar-decembar 2008.godine za sve sektore ruže vetrova



Slika 10. Korelacija mereni podaci (Bavanište) – prognozirani podaci (Vršac) za period januar-decembar 2008.godine za sve sektore ruže vetrova

podataka za lokaciju referentne merne stanice Vršac. Odgovarajući faktori korelacije, shodno jednačini (10), su u prvom slučaju  $r = 0,72$ , a u drugom  $r = 0,8$ . Može se zaključiti da je stepen korelacije za analizirane setove podataka vrlo dobar, tj. da referentna merna stanica i ciljna lokacija vetroelektrane pripadaju istoj klimatologiji u pogledu vetra, pri čemu MERRA podaci imaju u izvesnoj meri bolju korelisanost.

Ako se ustanovi dobra korelacija, vrši se skaliranje mernih podataka na lokaciji vetroelektrane. Prosečna višegodišnja brzina vetra  $\bar{V}'_{VEi}$ , u sektoru ruže vetrova  $i$ , na ciljnoj lokaciji planirane vetroelektrane se procenjuje na osnovu relacije:

$$\bar{V}'_{VEi} = \left( \bar{V}_{VEi} + C_{1i} (\bar{V}'_{MSi} - \bar{V}_{MSi}) \right) \quad (6)$$

Gde su:

$\bar{V}'_{VEi}$  - srednja višegodišnja brzina vetra na ciljnoj lokaciji za sektor  $i$  ruže vetrova,

$\bar{V}_{VEi}$  - srednja brzina vetra za sektor  $i$  na ciljnoj lokaciji vetroelektrane za određeni kratkoročni period (npr. jednu godinu) dobijena na osnovu mernih podataka,

$\bar{V}'_{MSi}$  - srednja višegodišnja brzina vetra za sektor  $i$  na lokaciji referentne meteorološke stanice proračunata na osnovu seta višegodišnjih mernih podataka,

$\bar{V}_{MSi}$  - srednja brzina vetra za sektor  $i$  na lokaciji referentne meteorološke stanice za analizirani kratkoročni period za koji se poseduju podaci sa mernog stuba na ciljnoj lokaciji.

Nakon proračuna srednjih višegodišnjih brzina vetra, mogu se skalirati merni podaci na lokaciji vetroelektrane prema sledećoj relaciji:

$$V'_{VEi(t)} = \frac{\bar{V}'_{VEi}}{\bar{V}_{VEi}} V_{VEi(t)} \quad (7)$$

Gde su:

$V_{VEi(t)}$  – brzina vetra na lokaciji vetroelektrane na visini  $z_m$ , koji je u satu  $t$  duvao u sektoru ruže vetrova  $i$ ,

$V'_{VEi(t)}$  – skalirana brzina vetra na lokaciji vetroelektrane na visini  $z_m$ , koji je u satu  $t$  duvao u sektoru ruže vetrova  $i$ .

Pomoću relacije (7), izvršeno je skaliranje jednogodišnjeg seta mernih podataka na ciljnoj lokaciji vetroelektrane. Dobijeni set podataka se zatim ekstrapolira do visine osovine vetroagregata. Korišćenjem tako dobijenog reprezentativnog seta podataka izvršena je procena prosečne višegodišnje proizvodnje planirane vetroelektrane. U Tabeli II prikazane su vrednosti procenjene prosečne višegodišnje proizvodnje vetroelektrane, kao i procentualna odstupanja procenjenih vrednosti od proizvodnje procenjene na osnovu jednogodišnjeg seta mernih podataka sa mernog stuba na ciljnoj lokaciji vetroelektrane.

Procenjena prosečna višegodišnja proizvodnja je bliska proizvodnji dobijenoj na osnovu jednogodišnjeg seta mernih podataka sa mernog stuba na ciljnoj lokaciji vetroelektrane. Mala odstupanja između procenjenih i ostvarenih snaga u oba posmatrana slučaja čine ovaj model za procenu dugoročnog potencijala energije vetra veoma pouzdanim.

## VII. ZAKLJUČAK

U radu je izvršena analiza grešaka u proceni proizvodnje test vetroelektrane za lokaciju u ciljnom regionu Banata, dobijene korišćenjem modela za sagledavanje dugoročnog potencijala energije vetra.

Vršena su merenja brzine vetra u ciljnom regionu i izvršena linearna korelaciona analiza između podataka sa mernog stuba

TABELA II. PROCENJENA PROSEČNA VIŠEGODIŠNJA PROIZVODNJA VETROELEKTRANE U REGIONU BANATA

Referentni višegodišnji merni podaci	Procenjena prosečna višegodišnja snaga proizvodnje (MWh)	Procenjena prosečna godišnja snaga proizvodnje (MWh)	Odstupanje (%)
mereni	1425,28	1400,9	1,7
MERRA	1370,86	1400,9	2,14

na ciljnoj lokaciji i podataka na lokaciji referentne meteorološke stanice. U analizi su korišćeni podaci sa mernog stuba, kao i MERRA podaci o prognoziranom brzinama vetra koji su dostupni na internetu. Na osnovu rezultata korelacione analize izvršeno je skaliranje jednogodišnjeg seta mernih podataka na ciljnoj lokaciji vetroelektrane.

Na ovaj način je dobijen reprezentativan set mernih podataka za procenu dugoročnog potencijala energije vetra. Mala odstupanja između procenjenih i ostvarenih snaga čine ovaj model za procenu dugoročnog potencijala vetra dobrom podlogom za razvoj profesionalnih softvera za procenu proizvodnje perspektivnih vetroelektrana u južnom i srednjem Banatu. Kako region Banata karakteriše vrlo slična klimatologija u pogledu vetra, zaključci iz analiza sprovedenih u ovom radu mogu se praktično odnositi na čitav region.

## LITERATURA

- [1] Ž. Đurišić, B. Đukić, N. Šijaković, D. Balkoski, D. Popović, Analiza karakteristika vetra u južnom Banatu i uslovi integracije vetroelektrana u EES Srbije, Elektprivreda, vol. 64, br. 3, 2011.
- [2] Ž. Đurišić, J. Mikulović, Assessment of the Wind Energy Resource in the South Banat Region, Serbia, Renewable & Sustainable Energy, Reviews 16, 2012.
- [3] Wind Atlas of Vojvodina (on Serbian), Studija (Rukovodilac: V. Katić), University of Novi Sad, December 2008.
- [4] Ž. Đurišić, Vetroelektrane, I deo, Beograd, 2014.
- [5] Modern era retrospective-analysis for research and applications (MERRA), Global modeling and assimilation office, June 2008.
- [6] Ž. Đurišić, J. Mikulović, A model for vertical wind speed data extrapolation for improving wind resource assessment using WASP, Renewable Energy 41 (2012), pp. 407-411
- [7] M. Lackner, A. Rogers, J. Manwell, Uncertainty Analysis in MCP-Based Wind Resource Assessment and Energy Production Estimation, Journal of Solar Energy Engineering, vol.130, Issue 3, July 2008

## ABSTRACT

Short-term measurements of wind speed can't be a reliable representative for wind potential, because measurements can be carried out in more or less windy year than the average for the long-term period. This paper presents a mathematical model for determining the long-term potential of wind energy on the basis of short-term measurements of wind speed, at the target location of the wind farm. The analysis was taken for the location Bavanište, in the municipality of Kovin, in southern Banat. For the prediction of wind speed in the target region was used MERRA data base of predicted wind speeds, obtained from satellite measurements taken by NASA. An analysis of quantity of these data was taken to find out in which way data can be used to predict wind speed. Error in the prediction of wind turbine production is calculated and the results are graphically represented.

## ANALYSIS OF LONG-TERM POTENTIAL OF WIND ENERGY IN THE REGION OF BANAT

Ana Đorđević, Jelena Kušić, Željko Đurišić