

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA U BEOGRADU

Na 743. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu održanoj 07.02.2012. godine, određeni smo za članove Komisije za ocenu uslova i prihvatanje teme doktorske disertacije kandidata mr Željka Đurišića, dipl. inž. elektrotehnike, pod naslovom: *“Modelovanje i analiza uticaja prostornog i vremenskog profila snage vetra u projektovanju i eksploataciji vetroelektrana u elektroenergetskom sistemu”*. Nakon pregleda dobijenog materijala, Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta podnosimo sledeći

IZVEŠTAJ

1. Podaci o kandidatu:

Željko R. Đurišić je rođen 1972. godine u selu Babino, Berane, Crna Gora. Osnovnu školu je završio u rodnom selu, a srednju elektrotehničku školu u Beranama. Studije elektrotehnike je započeo na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici, a nastavio na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, na smeru Elektroenergetski sistemi (EES). Diplomski rad „Analiza uslova za prebacivanje visokonaponskih asinhronih motora sa jednog na drugi sistem sabirnica“ je odbranio 1999. godine. Postdiplomske studije je upisao 1999. godine na smeru Elektroenergetske mreže i sistemi. Magistarski rad “Razvoj algoritama za digitalne frekvencijske releje u uslovima velikih izobličenja ulaznih signala” je odbranio 2006. godine. U toku oktobra 2008. boravio je na RISO institutu - *Danish Technical University*, gde je završio kurs za projektovanje vetroelektrana korišćenjem *Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP)*.

Na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu zaposlio se 2001. godine u zvanju asistent pripravnika pri Katedri za EES. U aktuelno zvanje, asistent pri Katedri za EES, izabran je 2007. godine. U nastavi na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu angažovan je na izvođenju računskih vežbi iz predmeta: Mehanika, Elementi elektroenergetskih sistema, Praktikum iz elemenata EES, Elektrane, Razvodna postrojenja, Obnovljivi izvori energije, Kvalitet električne energije i Digitalne relejne zaštite.

Oblasti naučnoistraživačkog rada kojima se do sada bavio su: obnovljivi izvori energije, digitalne relejne zaštite, kvalitet električne energije, električne mašine, nadzemni vodovi i plazma tehnologije tankih prevlaka. Koautor je dve knjige (udžbenika) i autor/koautor 106 naučnih/stručnih radova (9 radova u međunarodnim časopisima sa SCI liste, 2 rada u međunarodnim časopisima koji nisu na SCI listi, 23 rada na međunarodnim konferencijama, 22 rada u domaćim časopisima i 50 radova na domaćim/ regionalnim konferencijama).

Učestvovao je u realizaciji većeg broja projekata i rukovodio izradom više studija iz oblasti vetroenergetike. Posедуje licence za rad sa profesionalnim softverima za projektovanje vetroelektrana: WAsP, WAsP Engineering i WindPRO. Autor je elaborata *Analiza vetroenergetskog potencijala ciljnog regiona Leskova*, na osnovu kojeg je izgrađena prva vetroelektrana u Srbiji.

Reference koje kvalifikuju kandidata za izradu predložene doktorske disertacije:

Iz uže oblasti kojoj pripada predložena doktorska disertacija Željko Đurišić je objavio sledeće radove u vodećim međunarodnim časopisima sa SCI liste:

1. 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. ISSN 0960-1481, (IF 2.580).
2. Ž. Đurišić, J. Mikulović, Assessment of the Wind Energy Resource in the South Banat Region, Serbia, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 16 (2012), pp. 3014-3023. ISSN 1364-0321, (IF 4.595).
3. Ž. Đurišić, J. Mikulović, I. Babić, Impact of wind speed variations on wind farm economy in the open market conditions, *Renewable Energy* (2012), doi:10.1016/j.renene.2012.03.015. ISSN 0960-1481, (IF 2.580).

Doprinosi objavljeni u navedenim radovima predstavljaju rezultate istraživanja koji će biti izloženi u doktorskoj disertaciji kandidata. Pored navedenih radova, iz šire oblasti vetroenergetike Željko Đurišić je publikovao 15 radova na međunarodnim konferencijama, 3 rada u domaćim časopisima i 13 radova na domaćim i regionalnim konferencijama.

Dobitnik je jedne od četiri ravnopravne nagrade za najbolji poster rad na Evropskoj konferenciji o energiji vetra (*European Wind Energy Conference – EWEC*), Marseille, France, 2009. godine. Autor je rada „Karakteristike vetra u južnom Banatu i uslovi integracije vetroelektrana u EES Srbije“, koji je proglašen za najzapaženiji referat u okviru studijskog komiteta C1 na 30. nacionalnom savetovanju CIGRE, Zlatibor, 2011. godine.

Recenzent je međunarodnog časopisa *Renewable & Sustainable Energy Reviews* (M21) i domaćeg časopisa *Elektroprivreda*. Recenzent je studija iz oblasti energije vetra za potrebe Elektroprivrede Srbije.

2. Predmet i cilj istraživanja

Predmet istraživanja predložene doktorske disertacije je modelovanje i analiza uticaja prostornog i vremenskog profila snage vetra u projektovanju i eksploataciji vetroelektrana u EES-u.

U fazi planiranja vetroelektrane ključni zadatak je pouzdano utvrđivanje resursa energije vetra. Postojeći matematički modeli, na kojima se baziraju profesionalni softveri za regionalnu analizu resursa energije vetra, obuhvataju prostornu ali ne i vremensku promenu parametara koji utiču na visinski profil brzine vetra. Da bi se izvršio optimalan izbor vetroagregata i smanjile nesigurnosti u proceni proizvodnje vetroelektrane, neophodno je pri analizama regionalnog potencijala vetra uvažiti vremenske promene visinskog profila brzine vetra, odnosno visinski profil brzine vetra posmatrati kao dinamičku karakteristiku vetra. Uključivanje vremenskih varijacija visinskog profila brzine vetra u model za analizu resursa energije vetra i procenu proizvodnje vetroelektrane je jedna od tema koja će biti analizirana u doktorskoj disertaciji.

Za sagledavanje ekonomičnosti projekta vetroelektrane potrebno je u fazi projektovanja izvršiti što bolju procenu njene godišnje proizvodnje električne energije. Obično su za procenu proizvodnje raspoloživa namenska merenja brzine vetra koja su vršena u relativno kratkom periodu vremena (obično jedna godina) u odnosu na planirani eksploatacioni vek vetroelektrane (20 – 25 godina). Korišćenje jednogodišnjih mernih podataka o brzini vetra unosi neprihvatljivu nesigurnost u proceni proizvodnje vetroelektrane, jer je merna godina mogla biti manje ili više vetrovita u odnosu na prosečnu godinu u planiranom eksploatacionom veku vetroelektrane. Za smanjenje nesigurnosti u proceni proizvodnje vetroelektrane potrebno je koristiti višegodišnja merenja brzine vetra koja su vršena u referentnoj hidrometeorološkoj stanici u ciljnom regionu. Uspostavljanje korelacionih jednačina između mernih podataka iz referentne merne stanice i podataka sa mernog stuba na ciljnoj mikrolokaciji je od suštinske važnosti u ovoj analizi, pa je potrebno razviti što bolji matematički model. U tom cilju potrebno je uvažiti vremenske promene visinskog profila brzine vetra, jer je visina anemometara u meteorološkim stanicama obično značajno niža od merne visine na ciljnoj lokaciji. Razvoj matematičkog modela za procenu proizvodnje električne energije vetroelektrane na osnovu standardnih hidrometeoroloških podataka o brzini vetra i utvrđenog visinskog profila brzine vetra u ciljnom regionu je jedan od zadataka koji će biti analiziran u doktorskoj disertaciji.

Vremenski profil snage vetra je bitan za sagledavanje uslova plasmana električne energije iz vetroelektrana na slobodnom tržištu. Proizvodnja električne energije iz konvencionalnih elektrana je uglavnom planska i može se prilagođavati zahtevima tržišta i time ostvarivati najbolja cena za proizvedeni kWh. Proizvodnja električne energije u vetroelektranama je u velikoj meri predvidiva, ali se ne može uskladiti za zahtevima potrošnje jer nju diktira vetar. U cilju sagledavanja ekonomičnosti neke vetroelektrane, pored procene prosečne godišnje proizvodnje, potrebno je u fazi njenog planiranja izvršiti ekonomsku valorizaciju proizvedene energije. U doktorskoj disertaciji biće izvršena korelaciona analiza između tipičnih dnevnih i sezonskih profila snage proizvodnje vetroelektrane i profila cene na tržištu električne energije. Na osnovu sprovedene analize biće definisani kvantifikatori za valorizaciju električne energije iz vetroelektrana na slobodnom tržištu električne energije.

Pored tržišnih efekata, analiza vremenskog profila brzine vetra je značajna i za sagledavanje uticaja vetroelektrana na gubitke u elektroenergetskoj mreži, što će biti jedna od tema predložene doktorske disertacije. Gubici energije u elektroenergetskim mrežama su nelinearna funkcija tokova snaga, pa je za njihov proračun potrebno poznavati profile potrošnje i proizvodnje. Za sagledavanje uticaja vremenskog profila proizvodnje vetroelektrana na ukupne gubitke potrebno je razviti odgovarajuće statističke matematičke modele. Osim uticaja na tokove snaga, vremenski profil brzine vetra je značajan i za organizovanje regulacione rezerve snage u EES, odnosno koordinaciju proizvodnje elektrana u EES. U radu će biti analizirani uslovi balansiranja snage u EES sa značajnim instalisanim kapacitetima vetroelektrana u uslovima različitih vremenskih profila brzine vetra. U doktorskoj disertaciji bi bila predložena metodologija i izvršena analiza ekonomske opravdanosti limitiranja gradijenta snage vetroelektrane u uslovima nestabilnog vremenskog profila brzine vetra.

Osvrt na relevantne bibliografske izvore

Teme proučavane u ovoj disertaciji su danas veoma aktuelne. U nastavku su dati neki od radovi u kojima su sprovedene analize koje su od interesa za doktorsku disertaciju:

- [1] A. M. Foley, P. G. Leahy, A. Marvuglia, E. J. McKeogh, Current methods and advances in forecasting of wind power generation, *Renewable Energy* 37 (2012) 1-8.
- [2] C. Brunetto, G. Tina, Wind generation imbalances penalties in day-ahead energy markets: The Italian case, *Electric Power Systems Research* 81 (2011) 1446–1455.
- [3] H. Chao, Efficient pricing and investment in electricity markets with intermittent resources, *Energy Policy* 39 (2011) 3945-3953.
- [4] C.K. Woo, I.Horowitz, J.Moore, A.Pacheco, The impact of wind generation on the electricity spot-market price level and variance: The Texas experience, *Energy Policy* 39 (2011) 3939–3944.
- [5] N. J.Cutler, N.D.Boerema, I.F.MacGill, H.R.Outhred, High penetration wind generation impacts on spot prices in the Australian national electricity market, *Energy Policy* 39 (2011) 5939–5949
- [6] A.Cruz, A. Munoz, J.L. Zamora, R. Espínola, The effect of wind generation and weekday on Spanish electricity spot price forecasting, *Electric Power Systems Research* 81 (2011) 1924–1935.
- [7] Evaluating the Impacts of Real-Time Pricing on the Usage of Wind Generation, *IEEE Transactions on Power Systems* 24 (2009) 516 – 524.
- [8] Banuelos-Ruedas F, Angeles-Camacho C, Rios-Marcuello S, Analysis and validation of the methodology used in the extrapolation of wind speed data at different heights, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14 (2010) 2383–2391.
- [9] Rehman S, Al-Abbadi NM, Wind shear coefficients and their effect on energy production, *Energy Conversion and Management* 46 (2005) 2578–2591.

- [10] G. Gualtieri, S. Secci, Comparing methods to calculate atmospheric stability-dependent wind speed profiles: A case study on coastal location, *Renewable Energy* 36 (2011) 2189–2204
- [11] M. A. Lackner, A. L. Rogers, J. F. Manwell, J. G. McGowan, A new method for improved hub height mean wind speed estimates using short-term hub height data, *Renewable Energy* 35 (2010) 2340–2347.
- [12] Ummels, B.C.; Gibescu, M.; Pelgrum, E.; Kling, W.L.; Brand, A.J., Impacts of Wind Power on Thermal Generation Unit Commitment and Dispatch, *IEEE Transactions on Energy Conversion* 22 (2007) 44 – 51
- [13] M.H. Albadi, E.F. El-Saadany, Overview of wind power intermittency impacts on power systems, *Electric Power Systems Research* 80 (2010) 627–632
- [14] Makarov, Y.V. Etingov, P.V. Jian Ma, Zhenyu H., Subbarao, K, Incorporating Uncertainty of Wind Power Generation Forecast Into Power System Operation, Dispatch, and Unit Commitment Procedures, *IEEE Transactions on Sustainable Energy* 2 (2011) 433 – 442.

3. Polazne hipoteze

U radu se polazi od sledećih hipoteza:

- Visinski i prostorni profil snage vetra se može modelovati na osnovu merenja brzine vetra u određenim tačkama. Modelovanje visinskog i prostornog profila brzine vetra je od ključnog interesa za pouzdano utvrđivanje resursa energije vetra i projektovanje vetroelektrana.
- Vremenski profil brzine vetra ima efekte u pogledu ekonomičnosti vetroelektrane. U tom pogledu polazi se od pretpostavke da je korelisanost vremenskih profila cene električne energije na berzi i vremenskog profila proizvodnje vetroelektrane ključni pokazatelj u pogledu valorizaciju električne energije proizvedene u vetroelektranama.
- Efekti rada vetroelektrana na elektroenergetski sistem su dominantno određeni sučeljavanjem vremenskih dijagrama potrošnje i dijagrama proizvodnje vetroelektrana. Ova sučeljavanja određuju tokove snaga kroz elemente distributivnog sistema, a time i definišu gubitke i naponske prilike u distributivnoj mreži.

4. Naučne metode istraživanja

Metodologija istraživanja u okviru predložene doktorske disertacije sastojaće se u sledećem:

- Pregled postojećih rezultata u oblasti modelovanja prostornog profila brzine vetra sa posebnim osvrtom na visinski profil brzine vetra.
- Razvoj metodologije i odgovarajućih originalnih matematičkih modela za analizu regionalnih resursa energije vetra i procenu proizvodnje električne energije vetroelektrane uz uvažavanje vremenske promene visinskog profila brzine vetra.
- Razvoj metodologije i odgovarajućih originalnih matematičkih modela za analizu i kvantifikovanje uticaja vremenskog profila brzine vetra na ekonomičnost vetroelektrane u uslovima rada na slobodnom tržištu električne energije.
- Razvoj metodologije i odgovarajućih matematičkih modela za analizu uticaja vremenskog profila snage proizvodnje vetroelektrane na gubitke u priključnoj elektroenergetskoj mreži.
- Razvoj metodologije za optimalno upravljanje gradijentom snage vetroelektrane u uslovima nestabilnog profila snage vetra.
- Testiranje i analiza razvijenih matematičkih modela korišćenjem realnih namenskih mernih podataka o parametrima energije vetra sa više mernih mikrolokacija različitih klimatskih i topografskih okruženja (ravničarski, brdoviti i planinski teren).

5. Očekivani naučni doprinosi u doktorskoj disertaciji

- U predloženoj doktorskoj disertaciji biće razvijen novi pristup u modelovanju visinskog profila brzine vetra. Razvijeni model bi omogućio pouzdaniju i tačniju procenu regionalnog potencijala energije vetra i pouzdaniju procenu proizvodnje vetroelektane kada je merna visina anemometarskog stuba niža od planirane visine osovine vetroturbine. Razvijeni model bi bio primenljiv u postojećim namenskim profesionalnim softverima (WAsP) za analizu regionalnog potencijala energije vetra i procenu proizvodnje vetroelektrana.
- Biće razvijena metodologija za određivanje dinamičkog koeficijenta smicanja vetra, što bi omogućilo uključivanje vremenskih varijacija visinskog profila brzine vetra u model za dugoročnu procenu potencijala energije vetra na osnovu standardnih hidrometeoroloških mernih podataka.
- Biće definisani indeksi korelacije vremenskog profila proizvodnje vetroelektrane i profila cene električne energije na berzi. Definisani indeksi bi predstavljali kvantitativnu meru za valorizovanje kvaliteta vetra, kao primarnog energenta, u pogledu njegovog vremenskog profila.
- Biće razvijena metodologija i odgovarajući matematički model za procenu uticaja vetroelektrana na gubitke u priključnoj elektroenergetskoj mreži.

6. Plan istraživanja i struktura rada

Predložena disertacija se sastoji od nekoliko tematskih celina koje će biti u disertaciji obrađivane u posebnim poglavljima.

U prvom-uvodnom delu rada biće dat kratak opis osnovnih pokazatelja i karakteristika energije vetra, kao i pregled tehnologija i trendova u oblasti elektromehaničke konverzije energije vetra. Posebno će biti istaknut praktični značaj tema koje su predmet istraživanja u doktorskoj disertaciji.

U drugoj celini rada biće analizirani modeli za prostorni profil snage vetra sa posebnim osvrtom na visinski profil brzine vetra. Biće analizirani ključni parametri koji definišu visinski profil brzine vetra. Da bi se izvršio optimalan izbor vetroagregata i smanjile nesigurnosti u proceni proizvodnje vetroelektrane, neophodno je pri analizama regionalnog potencijala vetra uvažiti vremenske promene visinskog profila brzine vetra, odnosno visinski profil brzine vetra posmatrati kao dinamičku karakteristiku vetra. Uključivanje vremenskih varijacija visinskog profila brzine vetra u model za analizu resursa energije vetra i procenu proizvodnje vetroelektrane je jedan od naučnih doprinosa doktorske disertacije koji će biti analiziran i testiran za različite topografske i klimatske uslove.

U trećoj tematskoj celini rada biće analiziran uticaj vremenskog profila brzine vetra na ekonomičnost vetroelektrana. Biće data teorijska osnova i izvedeni originalni analitički kvantifikatori za valorizaciju električne energije iz vetroelektrana na slobodnom tržištu električne energije. Posebno će biti analizirana opravdanost korišćenja tehnologija za skladištenje energije kao način za balansiranje energije proizvedene u vetroelektranama i njen optimalan plasman na tržište.

U četvrtoj tematskoj celini biće analizirani efekti rada vetroelektrane na distributivnu mrežu, sa posebnim osvrtom na uticaj profila proizvodnje vetroelektrane na gubitke aktivne snage u distributivnoj mreži. Gubici snage u elektroenergetskim mrežama su nelinearna funkcija tokova snaga, pa je za njihov proračun potrebno poznavati profile potrošnje i proizvodnje. Za sagledavanje uticaja vremenskog profila proizvodnje vetroelektrana na ukupne gubitke biće razvijeni odgovarajući statistički matematički modeli. Osim uticaja na tokove snaga, vremenski profil brzine vetra je značajan i za organizovanje regulacione rezerve snage u EES, odnosno koordinaciju

proizvodnje elektrana u EES. U radu će biti analizirani uslovi balansiranja snage u EES sa značajnim instalisanim kapacitetima vetroelektrana u uslovima različitih vremenskih profila brzine vetra. U tom pogledu biće predložena metodologija i izvršena analiza ekonomske opravdanosti limitiranja gradijenta snage vetroelektrane u uslovima nestabilnog vremenskog profila brzine vetra.

Praktična primenljivost razvijenih matematičkih modela biće testirana korišćenjem realnih namenskih mernih podataka o parametrima energije vetra sa više mernih mikrolokacija različitih klimatskih i topografskih okruženja (ravničarski, brdoviti i planinski teren). Takođe će biti korišćeni realni podaci o elektrodistributivnoj mreži, realni podaci o karakteristikama snage komercijalnih vetroagregata, kao i dostupni podaci o satnim cenama električne energije na evropskoj berzi (*European Electricity Exchange* - EEX).

7. Zaključak i predlog

Na osnovu svega prethodno navedenog Komisija konstatuje da kandidat ispunjava sve formalne i suštinske uslove za pristupanje izradi doktorske disertacije. Rezultati do kojih će kandidat doći pri izradi doktorske disertacije imaće značajan naučni i praktični doprinos u oblasti projektovanja i eksploatacije vetroelektrana u elektroenergetskom sistemu.

Uzimajući u obzir sve pomenute činjenice, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu da kandidatu mr Željku Đurišiću odobri izradu doktorske disertacije pod nazivom: "Modelovanje i analiza uticaja prostornog i vremenskog profila snage vetra u projektovanju i eksploataciji vetroelektrana u elektroenergetskom sistemu".

U Beogradu, 14.03.2012. godine

Članovi komisije:

.....
dr Jovan Mikulović, docent

.....
dr Milenko Đurić, red. prof.

.....
dr Borivoj Rajković, vanr. prof.
(Fizički fakultet Univerziteta u Beogradu)

.....
dr Nikola Rajaković, red. prof.

.....
dr Zlatan Stojković, red. prof.