

# **1. OBRAZLOŽENJE PRIJEDLOGA DOKTORSKE DISERTACIJE**

## **1. Prijedlog naslova disertacije**

Nakon konsultacija sa Red.prof.dr. Mirsadom Raščićem predložen je sljedeći radni naslov teme doktorske disertacije:

**„MODELIRANJE KONVENCIONALNIH ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA U PROCESU  
TRANZICIJE U NOVIM USLOVIMA RADA“**

**„MODELLING CONVENTIONAL POWER SYSTEMS IN THE TRANSITION PROCESS IN NEW  
WORKING CONDITIONS“**

## **2. Stanje u oblasti kojoj tema pripada**

Većina elektroenergetskih sistema u nerazvijenim zemljama i zemljama u tranziciji bazirana je na konvencionalnim izvorima energije, uglavnom na termoelektranama na fosilna goriva kao baznim elektranama i određenim brojem hidroelektrana koje se koriste za pokrivanje varijacija potrošnje. Najčešće je odnos instalisane snage, a i proizvodnje električne energije u ovakvim, konvencionalnim sistemima nepovoljan i ide u korist termoelektrana. Takav je i elektroenergetski sistem JP Elektroprivreda BiH, ali i elektroenergetski sistem Bosne i Hercegovine. Ove sisteme odlikuje nefleksibilnost, tj. „krutost“, a tradicionalno su projektovani za zadovoljenje sopstvenih elektroenergetskih potreba.

Liberalizacija tržišta električne energije, mjere koje se poduzimaju na smanjenju emisija štetnih gasova, sa težištem na stakleničke gasove, povišena penetracija proizvodnih elektroenergetskih objekata na bazi obnovljivih izvora energije u elektroenergetske sisteme, nastojanja da se izvori električne energije približe potrošačima i slično, predstavljaju krupne izazove za „tradicionalne“ elektroenergetske sisteme i predstavljaju tzv. odlike u „novim“ uslovima rada.

Posljednjih godina su radi povećane zabrinutosti uslijed rasta cijena nafte i emisija stakleničkih gasova intenzivirane potrage za čistim i učinkovitijim izvorima energije. U tome smislu je korištenje energije vjetra i njena primjena u elektroenergetskom sektoru u stalnom porastu, pa se i tehnologije koje prate njenu transformaciju u električnu energiju također brzo razvijaju. Ukupni instalisani kapacitet u vjetroelektranama integriran u elektroenergetske sisteme širom svijeta zaključno sa junom 2011. godine iznosio je 215.000 MW, sa tendencijom daljeg porasta [5]. Razlozi porasta instalisane snage vjetroelektrana su višestruki i treba ih tražiti u domenima ekonomije, ekologije i održivog razvoja elektroenergetskog sektora. Sa ovim trendom povećanja instalisane snage vjetroelektrana povećava se i njihov uticaj, u pozitivnom i problematiziranom dijelu, na ukupan rad elektroenergetskog sistema čiji su sastavni dio.

Planiranje i proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije, u ovom slučaju iz vjetroelektrana ima prioritet, te je za njihov nesmetani rad potrebno osigurati odgovarajuće uslove. Sa ovim problemom se već susreću zemlje koje su intenzivno pristupile eksploataciji vjetra za proizvodnju električne energije. U pravilu su to razvijene zemlje sa moćnim i fleksibilnim proizvodnim portfoliom elektroenergetskog sistema (kao što su: Njemačka, Danska, Holandija, Španija), ali ipak nedostatnim sa stanovišta ambicija za povećanje udjela proizvodnje električne energije iz energije vjetra, smanjenja emisija stakleničkih gasova, liberalizacije tržišta, itd. Ovim problemima se danas bave naučni i stručni krugovi širom svijeta pokušavajući naći odgovore. Ideje se kreću od ambicija da se gotovo kompletna potreba za električnom energijom zadovoljava iz proizvodnih elektroenergetskih objekata na bazi obnovljivih izvora energije, što je u ovom času nerealno, do mišljenja da obnovljivi izvori energije neće nikada imati značajnu ulogu u proizvodnji električne energije sa stanovišta potreba.

Poseban problem u razmatranom segmentu predstavljaju već pomenuti konvencionalni elektroenergetski sistemi sa baznom proizvodnjom električne energije u termoelektranama na fosilna goriva i korištenjem proizvodnje iz hidroelektrana za peglanje vršnih opterećenja. Ovo je karakteristika manje-više svih elektroenergetskih sistema u nerazvijenim zemljama i zemljama u razvoju i tranziciji. Prilagođenje ovakvih elektroenergetskih sistema „novim“ uslovima rada (tržište električne energije, smanjenje emisija, intenziviranje integracije proizvodnih elektroenergetskih objekata na bazi obnovljivih izvora energije, itd.) predstavlja ključno pitanje za njihov razvoj.

Ovaj rad će pokušati dati odgovore na neka od navedenih pitanja i ponuditi neke moguće modele za prihvatljivu tranziciju konvencionalnih u održive elektroenergetske sisteme u „novim“ uslovima rada.

Bitna odlika vjetra kao energenta koji pokreće vjetroturbine jeste njegova varijabilnost, pa tako izlazna snaga (i proizvedena električna energija) vjetroelektrana varira na sekundnom, minutnom, satnom i dnevnom nivou, ali i sezonski. Ovo je jedna od osnovnih karakteristika vjetra koja značajno utiče na odluku o priključenju visokog iznosa instalisane snage u vjetroelektranama u elektroenergetske sisteme. Prema dosadašnjim iskustvima, pri veoma malom nivou penetracije snage iz vjetroelektrana u elektroenergetski sistem, varijacije izlazne snage, a time i proizvodnje skoro da se uklapaju u uobičajene varijacije potrošnje i poremećaje koji se dešavaju u planu rada ostalih elektrana u sistemu. Analize su također pokazale da su u sekundno-minutnom vremenskom području varijacije u izlaznoj snazi, a tako i proizvodnji vjetroelektrana veoma male, pa time imaju zanemariv uticaj na rad sistema u domenu kojeg tretira ovaj rad [2]. Međutim, varijacije izlazne snage i proizvodnje u 10-15 minutnim i u satnim vremenskim razdobljima su veoma značajne i mogu dovesti do velikih problema u vođenju i radu elektroenergetskog sistema.

U okviru Magistarskog rada [8] je, na bazi stvarnih mjernih rezultata brzine vjetra sa tri aktivne mjerne stanice na području Bosne i Hercegovine, napravljena simulacija izlazne snage vjetroelektrana na razmatranim lokacijama. Dobijeni rezultati su korišteni za dalji

proračun očekivanih relativnih varijacija izlazne snage eventualnih budućih vjetroelektrana. Također je simuliran i analiziran efekat geografske disperzije vjetroelektrana na širem geografskom području. U okviru tih analiza utvrđeno je da kratkoročne i lokalne varijacije brzine vjetra nisu povezane i radi toga doprinose izjednačavanju ukupne proizvodnje električne energije i izlazne snage iz vjetroelektrana. Kao jedan od značajnih zaključaka Magistarskog rada istaknuto je da je i uz uvažavanje geografske rasprostranjenosti vjetroelektrana moguće očekivati varijacije izlazne snage u 10-15 minutnom kao i satnom vremenskom intervalu u iznosu od 40% nazivne snage razmatranih vjetroelektrana!

U ekstremnim situacijama potrebno je računati i sa varijacijama koje se javljaju pri velikim brzinama vjetra (iznad 25 m/s), kada se vjetroatagregat, iz stanja maksimalne izlazne snage i proizvodnje, zaustavlja. U većini slučajeva se prekid proizvodnje dešava postepeno i može potrajati nekoliko sati, radi nejednake raspodjele brzine vjetra na čitavoj lokaciji, uvjetovanom efektom zasjenjivanja i reljefnim karakteristikama terena. O tome svjedoče i primjeri ekstremnih promjena vremena, gdje su zabilježene značajne promjene iznosa izlaznih snaga postojećih vjetroelektrana [3]. Ovakve promjene mogu dovesti do značajnih poteškoća u radu elektroenergetskog sistema, a nekada čak i do raspada nekog njegovog dijela.

Obzirom na varijabilnost i stohastične promjene snage vjetra, a time i izlazne snage i energije iz vjetroelektrana, potrebno je definisati uslove rada elektroenergetskog sistema kada se u sastavu njegovog proizvodnog portfolia nalazi značajna instalisana snaga u vjetroelektranama. Da bi integracija značajnog iznosa instalisane snage iz vjetroelektrana bila moguća, elektroenergetski sistem mora biti u mogućnosti obezbijediti odgovarajuću rezervu, tj. balansnu snagu za pokrivanje varijacija izlazne snage vjetroelektrana u pogonu. U tome smislu, rad sistema sa visokom penetracijom snage u vjetroelektranama zahtijeva obezbjeđenje balansne snage bilo kroz prilagođavanje rada ostalih proizvodnih jedinica u razmatranom sistemu, što zahtijeva određenu fleksibilnost njegovog proizvodnog portfolia, jer su proizvodni objekti na bazi obnovljivih izvora energije „povlašteni“, te im operator sistema mora osigurati mjesto u dnevnom dijagramu proizvodnje, ili kroz obezbjeđenje balansne snage na spot tržištu električne energije, ili pak kroz omogućavanje skladištenja određenog vida energije koja bi se mogla koristiti po potrebi.

Uvažavajući navedeno, problem kojim se bavi istraživanje u okviru ovog rada, svodi se na koncipiranje tranzicije konvencionalnog u održiv elektroenergetski sistem sa značajnom penetracijom snage iz vjetroelektrana, u „novim“ uslovima.

### **3. Osnovni cilj istraživanja**

U radu će biti istraženo nekoliko mogućih modela prilagođavanja konvencionalnih elektroenergetskih sistema sa značajnom penetracijom instalisane snage u vjetroelektranama, „novim“ zahtjevima i uslovima rada. U tom smislu vodiće se računa o simuliranim i proračunatim očekivanim varijacijama izlazne snage vjetroelektrana. Prilikom

koncipiranja i modeliranja nastojeće se zadržati ključne prednosti konvencionalnih elektroenergetskih sistema. Osnovni cilj rada jeste doći do rješenja ili dijela rješenja koje će ponuditi koncept tranzicije konvencionalnog elektroenergetskog sistema u održiv elektroenergetski sistem sa značajnom penetracijom instalisane snage u vjetroelektranama u „novim“ uslovima, uvažavajući mogućnosti i prednosti modela koji će biti razmatrani u ovom radu.

#### **4. Plan i metodologija istraživanja**

Prilikom istraživanja koja će biti provedena u okviru obrade predložene teme biće definisan model elektroenergetskog sistema (polazni elektroenergetski sistem) koji spada u grupu konvencionalnih, sa dominantnom proizvodnjom električne energije iz termoelektrana na ugalj za pokrivanje baznog dijela opterećenja i grupom hidroelektrana namijenjenih za peglanje varijacija i vršnih opterećenja. Kod modeliranja sistema počinje se od sljedećih pretpostavki:

- da polazni konvencionalni elektroenergetski sistem zadovoljava elektroenergetske potrebe zemlje
- da se u konvencionalni elektroenergetski sistem u odnosu na ukupnu instalisanu snagu, definisanu u polaznom modelu, uvodi značajan iznos instalisane snage (20% - 30%) u vjetroelektranama
- da će biti uvažene proračunate vrijednosti varijacija izlazne snage iz integrisanih vjetroelektrana
- da je u odnosu na prvobitno stanje (polazni model) potrebno smanjiti emisije stakleničkih gasova za 20%
- da se na svaki MWh, proizveden u konvencionalnim termoelektranama na ugalj plaća taksa prema cijeni CER-a (certifikovano sniženje emisija stakleničkih gasova predstavljeno kroz tonu CO<sub>2</sub> ekvivalenta redukovano, engl. Certified Emission Reduction) na berzi u vrijeme modeliranja, analize i izrade ovoga rada
- da postojeća distributivna i prijenosna mreža može prihvatiti električnu energiju i snagu u slučaju svakog od razmatranih modela sistema
- da postoje raspoložive i pouzdane interkonekcije sa elektroenergetskim sistemima u okruženju preko kojih se može obezbijediti eventualna nedostajuća balansna snaga (energija uravnoteženja) za razmatrani elektroenergetski sistem.

Istraživanja koja će biti provedena u okviru obrade predložene teze obuhvataće izradu različitih modela, kako slijedi u nastavku:

- Model fleksibilnog proizvodnog dijela elektroenergetskog sistema, koji samostalno može obezbijediti balansnu snagu za uravnoteženje očekivanih varijacija izlazne snage vjetroelektrana
- Model otvorenog sistema koji balansnu snagu za instalirane kapacitete u vjetroelektranama obezbjeđuje na spot tržištu električne energije (balancing market) [18], [19], [20], [21]

- Model sa participacijom hibridnih elektrana [16], [17] koje imaju mogućnost pohranjivanja energije kao i konverzije i korištenja iste za balansiranje rada koncipiranog elektroenergetskog sistema.

U radu će biti razmatrane prednosti i nedostaci ponuđenih modela i biće data njihova komparativna analiza sa tehnoekonomskog aspekta. Uvažavanjem dobijenih rezultata također će biti definisan tzv. „miks model“ sa stanovišta optimizacije tehnoekonomskih pokazatelja, kao najpovoljniji model za tranziciju konvencionalnog elektroenergetskog sistema u nerazvijenim zemljama i zemljama u razvoju u održiv elektroenergetski sistem u „novim“ uslovima rada.

Na osnovu dobijenih zaključaka i rješenja biće analizirana mogućnost implementacije definisanog „miks modela“ na elektroenergetski sistem JP Elektroprivreda BiH, koji predstavlja jedan klasičan primjer konvencionalnog elektroenergetskog sistema.

Prilikom izrade rada biće primijenjene sljedeće istraživačke metode:

- analiza rada konvencionalnog elektroenergetskog sistema
- analiza rada vjetroelektrana i proračuni mogućih varijacija njihove izlazne snage
- modeliranje održivih elektroenergetskih sistema kao rješenja za tranziciju konvencionalnih elektroenergetskih sistema
- simulacija rada održivih modeliranih elektroenergetskih sistema u „novim“ uslovima rada
- komparativna analiza ponuđenih modela sa aspekta održivosti i tehnoekonomske isplativosti
- implementacija dobijenog novog modela („miks modela“) na postojeći elektroenergetski sistem JP Elektroprivreda BiH.

Za modeliranje i simulaciju biće korišteni savremeni software-ski alati WASP IV (Wien Automatic System Planning) [11] i MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts) [12], koje je razvila Međunarodna Agencija za Atomsku Energiju (International Atomic Energy Agency - IAEA), a koriste se za planiranje razvoja elektroenergetskih sistema u gotovo svim zemljama, a posebno u zemljama u tranziciji. Kod analize rada vjetroelektrana i eventualnih dodatnih proračuna varijacija izlazne snage vjetroelektrana koristeće se software-ski alati ALWIN i WindPRO koji omogućavaju statističku obradu mjernih rezultata i simulaciju rada vjetroelektrana.

## 5. Očekivani izvorni naučni doprinos disertacije

Naučni doprinos ogleda se u:

- istraživanju i koncipiranju modela za tranziciju konvencionalnih elektroenergetskih sistema u održive elektroenergetske sisteme u „novim“ uslovima rada sa značajnim iznosom instalisane snage u vjetroelektranama, koristeći savremene software-ske

alate. Pri tome će modelirana rješenja uvažiti optimizaciju tehničkih, ekonomskih i ekoloških parametara razmatranog elektroenergetskog sistema

- definiranju kriterija za izbor najprihvatljivijeg modela za tranziciju konvencionalnih elektroenergetskih sistema u održive elektroenergetske sisteme u „novim“ uslovima rada, sa značajnom impementacijom instalisane snage u vjetroelektranama
- modeliranje novog, održivog rješenja („miks model“) kao najpovoljnijeg sa tehnoekonomskog aspekta
- implementaciji „miks modela“ na konkretnom primjeru moguće tranzicije elektroenergetskog sistema JP Elektroprivreda BiH.

## 6. Literatura

- [1] T.Ackermann, Wind Power in Power Systems, John Wiley&Sons, Ltd, 2005
- [2] F.Van Hulle (EWEA), P.Gardner (Garra Hassan), Wind Energy – The Facts, Grid Integration
- [3] Group of Authors, Design and operation of power systems with large amounts of wind power, Final report IEA WIND Task 25, VTT Tiedotteita, Helsinki, 2009.
- [4] H.Holttinen, Estimating the impacts of wind power on power systems – summary of IEA Wind collaboration, IOP Publishing, Finland, 2008.
- [5] The World Wind Energy Association, Half-year Report 2011, 2011.
- [6] M.Ćalović, A.Sarić, Planiranje elektroenergetskih sistema, Beograd 2000.
- [7] M.Hajro, M.Kušljagić, Eksploatacija i upravljanje elektroenergetskim sistemom, Sarajevo, 1996.
- [8] A.Lukač, Planiranje razvoja proizvodnog dijela elektroenergetskog sistema sa znatnim udjelom proizvodnih objekata na bazi obnovljivih izvora - vjetroelektrana, Magistarski rad, Univerzitet u Sarajevu, Elektrotehnički fakultet Sarajevo, 2011.
- [9] H.Agabus, H.Tammoja, Estimation of Wind Power Production Throughout short-term forecast, Oil Shale, Vol. 26, No. 3 special, 2009.
- [10] M.Lange, U.Focken, State-of-the-Art in Wind Power Prediction in Germany and International Developments, 2007.
- [11] International Atomic Energy Agency, Wien Automatic System Planning (WASP) Package, Version WASP-IV, User Manual, Austria, 2006.
- [12] International Atomic Energy Agency, Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts, User Manual, 2007.
- [13] Siemens, A New Era in Fossil Power Generation, Living energy – The Magazine for Energy Leadership, Issue 3, August 2010
- [14] H.Holttinen, Estimating the impacts of wind power on power systems - summary of IEA Wind collaboration, IOP Publishing, 2008.
- [15] H.Abildgaard, D.Klaar, B.Kriszak, J-M.Rodriguez, W.Winter, European Wind Integration Study (EWIS) - Reference Study towards a successful integration of wind power into European Electricity Grids, Cigre, Paris, 2008.
- [16] S.Papaefthymiou, E.Karamanou, S.Papathanassiou, M.Papadopoulos, A Wind-Hydro-Pumped Storage Station Leading to High RES Penetration in the Autonomous Island

- System of Ikaria, IEEE Transactions on Sustainable Energy, Volume 1, Issue 3, 2010.
- [17] J.Garcia-Gonzalez, R.de la Muela, L.Santos, A.Gonzalez, Stochastic Joint Optimization of Wind Generation and Pumped-Storage Units in an Electricity Market, IEEE Transactions on Sustainable Energy, Volume 23, Issue 2, 2008.
  - [18] H.Holttinen, P.Meibom, A.Orths, B.Lange, M.O'Malley, J.Olav, A.Estanqueiro, E.Gomez, L.Söder, G.Strbac, J.C.Smith, F.vanHulle, Impacts of large amounts of wind power on design and operation of power systems, results of IEA collaboration, 8th International Workshop on LargeScale Integration of Wind Power into Power Systems as well as on Transmission Networks of Offshore Wind Farms, Bremen, 2009.
  - [19] F.Borggrefe, K.Neuhoff, Balancing and Intraday Market Design: Options for Wind Integration, BIW Berlin, 2011.
  - [20] J.Frunt, W.L.Kling, R.M.Hermans, F.A.Nobel, W.W.de Boer, Impact of design variables on balancing markets, 7th International Conference on the European Energy Market, 2010.
  - [21] T.Ackermann, J.R. Abbad, I.Dudurych, I.Erich, H.Holttinen, J.R.Kristoffersen, P.E.Sørensen, European Balancing Act, IEEE Power & Energy Magazine, November/December, 2007.
  - [22] A.Lukač, M.Musić, M.Jamak, S.Avdaković, H.Džafo, Definisanje i analiza mikrolokacija na području Bosne i Hercegovine za eksploataciju energije vjetra primjenom elektronskog Atlasa vjetrova, 20. međunarodni simpozij EIS 2010 elektroinženjerski simpozij, Šibenik, 2010.
  - [23] M.Music, S.Avdakovic, A.Lukac: Integration of Distributed Generators into a Real Powerless Distribution System, IEEE/PES - 6<sup>th</sup> International Conference on the European Energy Market, Contribution ID: 1346, Leuven, Belgium, 2009.
  - [24] A.Lukac, M.Music, S.Avdakovic: Presentation of First Estimations of Wind Potential in Bosnia and Herzegovina and Capabilities of Integrating Wind Power Plants into the Power System, World Wind Energy Association - 9th World Wind Energy Conference 2010, Istanbul, Turkey, 2010.
  - [25] S.Avdakovic, A.Lukac, A.Nuhanovic, M.Music: Wind Speed Data Analysis Using Wavelet Transform, International Journal of Engineering and Applied Science 7:2 2011. World Academy of Science, Engineering and Technology 75 2011, Volume 7 Number 2 Spring 2011.
  - [26] A.Lukac, M.Music, S.Avdakovic, M.Rascic, Flexible Generating Portfolio as Basis for High Wind Power Plants Penetration - Bosnia and Herzegovina Case Study, IEEE/PES - 10<sup>th</sup> International Conference on Environment and Electrical Engineering, Rome, Italy, 2011.
  - [27] Z.Dimitrijevic, I.Salihbegovic, A.Kazagic, A.Lukac Sustainability Assessment of Increasing Renewable Energy Sources Penetration - JP Elektroprivreda B&H Case Study, (UNESCO sponsored) 6<sup>th</sup> Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy Water and Environment Systems, Dubrovnik, Croatia, 2011.
  - [28] A.Lukač, M.Jamak, M.Musić, E.Turković, Iskustva u kampanji mjerenja potencijala vjetra na području Bosne i Hercegovine, X Savjetovanje Bosanskohercegovačkog Komiteta, Sarajevo, Bosna i Hercegovina, 2011.
  - [29] A.Lukac, M.Music, Bosnia and Herzegovina Country Report, World Wind Energy

Association, Wind Energy International 2011/2012 Yearbook, 2011.

- [30] B.Sorensen, Renewable energy, Elsevier Academic Press, Denmark, 2004.
- [31] F.Mušćević, Vjetroelektrane u Bosni i Hercegovini, Sarajevo, 2005.
- [32] Sander + Partner GmbH, Elektronski Atlas vjetrova za Bosnu i Hercegovinu, 2008.
- [33] Sander + Partner GmbH: „Regional Re-Analysis - The Experts Tool“, 2008.
- [34] Konzorcij: Energetski institut Hrvoje Požar, Soluziona Španija, Ekonomski institut Banja Luka, Rudarski institut Tuzla, Studija energetskog sektora u BiH, Projekat finansiran od strane Svjetske Banke, 2008.
- [35] D.Jakus, Integracija vjetroelektrana u elektroenergetski sustav, Kvalifikacijski doktorski ispit, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Splitu, Split 2009.
- [36] A.Černicki Mijić, A.Previšić, S.Cazin, B.Golub, D.Međimorec, Prognoza rada vjetroelektrana i uravnoteženje sustava, 8. simpozij o sustavu vođenja EES-a, Cavtat 2008.
- [37] M.Kalea, Vjetroelektrane u nacrtu energetskog razvoja Hrvatske, 9. savjetovanje HRO CIGRE, 2009.
- [38] T.Cerovečki, D.Mandir, Mehanizam uravnoteženja EES sa visokim udjelom instalisane snage u vjetroelektranama, 9. savjetovanje HRO CIGRE, 2009.
- [39] S.Cazin, D.Međimorec, Planiranje udjela OIE u Europskoj energetskoj bilanci do 2020. godine, 9. savjetovanje HRO CIGRE, 2009.
- [40] G.Majstorović, D.Bajs, D.Međimorec, S.Cazin, Mogućnost prihvata vjetroelektrana u elektroenergetski sustav Hrvatske, 8. savjetovanje HRO CIGRE, 2007.
- [41] K.Štih, Odrednice nove Direktive Europske unije za obnovljive izvore energije, 9. savjetovanje HRO CIGRE, Cavtat, 2009.
- [42] R.Goić, M.Lovrić, Uklapanje vjetroelektrana u EES Hrvatske i ekonomska valorizacija električne energije proizvedene u vjetroelektranama, Okrugli sto - Proizvodnja vjetroelektrana u Hrvatskoj, Zagreb, 2004.