

HIBRIDNI SISTEMI OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE HYBRID SYSTEM OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

Saša Nikolić, Termoelektrana Gacko
Vladimir Katić, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad

Sadržaj - U radu je opisana mogućnost integracije vetroelektrane sa različitim konvencionalnim i obnovljivim izvorima radi dobijanja kvalitetne električne energije na izlazu ovog hibridnog sistema. Prema ostatku elektroenergetskog sistema, ova hibridna elektrana se ponaša kao jedan izvor koji na izlazu daje konstantnu snagu bez fluktuacija karakterističnih za vetroelektranu. Sa ovom hibridnom elektranom se upravlja iz jednog kontrolnog centra, dok same pojedinačne elektrane mogu fizički biti postavljene na većoj udaljenosti, na mestima koja zadovoljavaju uslove izgradnje, prvenstveno vetroelektrane. Posebno je obrađen hibridni rad vetroelektrane i akumulacione hidroelektrane. Na ovaj način hidroakumulacija služi za skladištenje energije u periodima kad vetar duva dovoljno, a u periodima nedovoljne jačine vetra, manjak energije se nadoknađuje iz hidroelektrane. Razmatrana je mogućnost korištenja postojećih hidroagregata, gdje bi se uz izgradnju odgovarajuće vetroelektrane unapredio postojeći elektroenergetski sistem, a tradicionalni nedostaci vetroelektrane bili eliminisani.

Abstract – This paper describes possibility of integration wind power plant with different conventional and renewable energy sources to get firm energy on system output. In relation with rest of energy system, this hybrid power plant behaves as one energy source which generates constant power without fluctuations like wind generator. This hybrid plant is controlled from same control centre. Individual plants can be located on distant places which have appropriate condition for construction, especially for wind turbines.

Analyze of hybrid work wind and hydro power plant is carried out. In this case hydro reservoir allows reserving electric energy produced by wind power station in the form of potential of water and in necessary time to convert it back through hydro generator. Possibility of integration already working hydro electric power plants with appropriate new wind power station is considered.

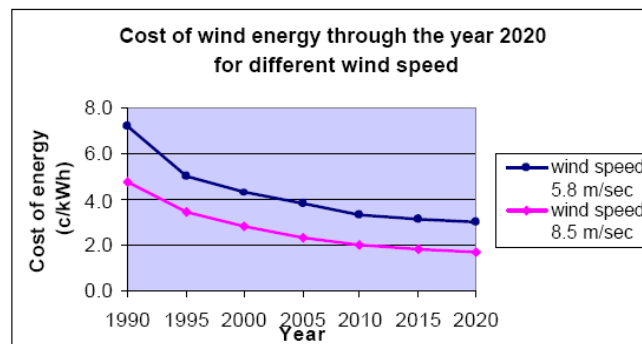
1. UVOD

U poslednjoj deceniji veoma je porastao interes za obnovljive izvore energije i njihovu integraciju u elektroenergetski sistem. Tome je doprineo konstantan rast potražnje za energijom, a posebno električnom, smanjenje rezervi klasičnih primarnih energenata (fosilnih goriva), stalan rast cena električne energije, te sve uočljivije globalne posledice emisije CO₂.

Poslednjih godina je doslo do usavršavanja materijala za fotoelektrične ćelije, pa je značajno povećan stepen iskorištenja ovih ćelija. Istovremeno, kao posledica snažnih podsticajnih mera, došlo je do rasta proizvodnje i pojeftinjenja cena fotonaponskih panela, pa su oni postali komercijalno dostupni.

U oblasti iskorištenja energije vetra, takođe je došlo do značajnog napretka. Od nekadašnjih vetrogeneratora snage nekoliko desetina kilovata, koji su se mogli koristiti samo za izolovane potrošače, u današnje vreme se došlo do industrijskih vetrogeneratora snage 2 MW i više. [1]

Takođe, značajno je smanjena proizvodna cena električne energije dobijene iz vetra. Na slici 1. je prikazan dijagram kretanja proizvodne cene od 1990. godine do danas uključujući i pretpostavljeno kretanje te cene do 2020. godine. [2] Na ovom dijagramu su date cene za dve karakteristične brzine vetra. Vidi se da su cene postale konkurentne (čak i niže) cenama iz klasičnih izvora.



Slika 1. Proizvodna cena energije dobijene iz vetra

Više vetrogeneratora se postavljaju u grupama, koje se nazivaju popularno farme vetrenjača i čine jednu vetroelektranu. U jednoj farmi može da bude i par desetina vetrenjača, čija ukupna snaga može da bude i više desetina megavata, pa i preko stotinu MW. Ukupna instalisana snaga vetroelektrana u Evropi svake godine postaje sve veća i u pojedinim zemljama kao što su Nemačka i Španija već predstavlja značajan procenat ukupne snage elektroenergetskog sistema.

Vetroelektrane koriste kinetičku energiju strujanja vazdušnih masa. Ovo strujanje ili vetar predstavlja stohastički proces. Radi što boljeg iskorištenja potencijala, prave se prognoze brzine i pravca vetra za različite vremenske

periode. Na taj način se može planirati proizvodnja energije iz vetroelektrane. Međutim, uprkos činjenici da se prognoze mogu praviti prilično precizno, često se dešava da realna situacija odstupa od prognoziranja. U ovom slučaju dolazi do poremećaja u sistemu i sistem postaje nestabilan. Što je veći udeo snage instaliranih vetroelektrana u sistemu, to je sistem potencijalno nestabilniji.

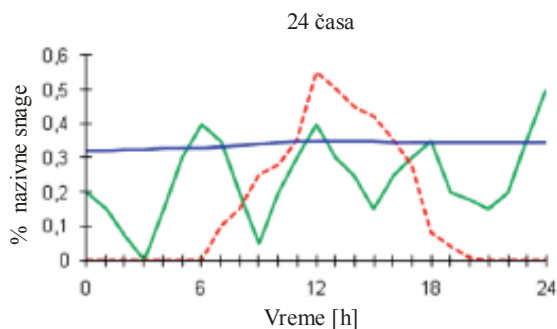
Kako je potrošnja električne energije proces, koji takođe često odstupa od prognoze, jer zavisi od mnogo faktora, osnovni problem koji treba rešiti je iskoristiti energiju vetra kad je ima i distribuirati je do potrošača kad je to potrebno.

Sličan problem se javlja i kod solarnih elektrana, zbog neplaniranih varijacija intenziteta sunčevog zračenja.

Na slici 2. prikazan je dnevni dijagram proizvodnje hidro, vetro i solarne elektrane. [3] Crvena isprekidana linija predstavlja dijagram proizvodnje solarne elektrane i vidi se da je proizvodnja najveća oko podneva, a da proizvodnje nema nikako u periodu između 8 časova uveče i 6 časova ujutru, kada nema sunca.

Puna izlomljena linija zelene boje predstavlja dijagram proizvodnje vetroelektrane. Vidi se da proizvodnje ima tokom svih 24 časa, ali da se intenzitet vetra menja više puta dnevno u različitim omjerima.

Plava horizontalna linija predstavlja dijagram proizvodnje hidro elektrane. Vidi se da hidro elektrana može u toku dana da ima približno konstantnu proizvodnju.



Slika 2. Dnevni dijagram proizvodnje hidro, vetro i solarne elektrane

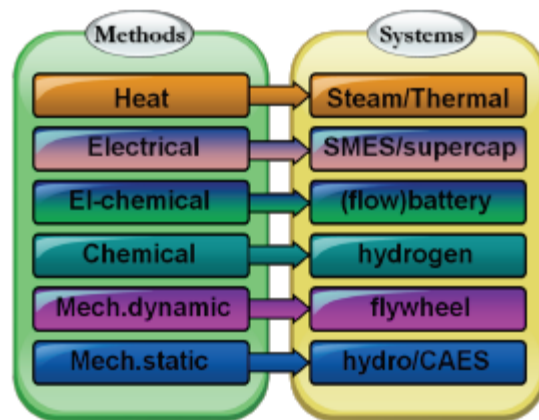
U cilju rešavanja ovih problema i omogućavanja obnovljivim izvorima energije, prvenstveno vetroelektranama i solarnim elektranama da postanu ravnopravan subjekt elektroenergetskog sistema i da daju kvalitetnu energiju koja će se distribuirati potrošaču, primenjuju se različiti pristupi.

U ovom radu je dat pregled metoda za iskorišćenje energije vetra i sunca, a bez unošenja nestabilnosti u sistem.

2. ISKORIŠĆENJE ENERGIJE VETRA I SUNCA ZA DOBIJANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

S obzirom na velike oscilacije snage vetra i sunca tokom dana, odnosno potpuni nedostatak sunčeve energije noću, osnovni pristup je akumulisanje električne energije u periodima kad ima dovoljno sunca i vetra i pražnjenje akumulirane energije u periodima nedovoljne proizvodnje.

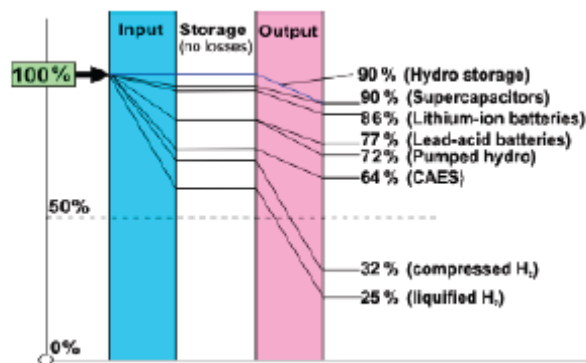
Postoji više načina skladištenja energije. [7] Osnovne metode akumuliranja, to jeste skladištenja energije su date na slici 3.



Slika 3. Metode i sistemi skladištenja energije

Osnovno za sve gore navedene načine akumuliranja energije jeste da se vrši transformacija primarne energije u neki drugi oblik pogodan za skladištenje, a zatim da se po potrebi ta akumulirana energija pretvara u električnu. Ovakav način akumuliranja energije karakterišu veliki gubici prilikom konverzije i samog skladištenja.

Na slici 4. je prikazan dijagram gubitaka konverzije pri različitim načinima skladištenja energije.



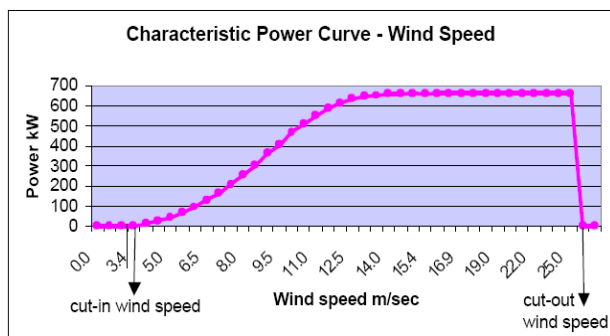
Slika 3. Dijagram gubitaka pri različitim načinima skladištenja energije

Sa slike 4. Se vidi da je najekonomičnije kad se akumulira primarni oblik energije. To je zato što tada nema gubitaka konverzije energije. Hidroelektrana sa akumulacionim jezerom može biti akumulacioni sistem ovog tipa.

3. HIBRIDNI RAD VETROELEKTRANE

Rad vetroelektane zavisi od intenziteta vetra koji duva na lokaciji. Za brzine vetra manje od neke minimalne nazvane *cut in*, turbina vetroelektane se ne okreće. Takođe za brzine vetra veće od maksimalno dozvoljene nazvane *cut out*, turbina se isključuje i ukoči da ne bi došlo do oštećenja. S obzirom na česte i nagle promene pravca i intenziteta vetra, posebno u određenim periodima godine, snaga koju daje vetroelektrana je veoma promenljiva. Proizvedena energija ovakvog kvaliteta je teško iskoristiva i potrošačima se ne može garantovati uredno snabdevanje.

Na slici 5. je prikazana radna karakteristika vetroelektane. [11]



Slika 5. Radna karakteristika vetro turbine

Od početka korišćenja energije vetra, često se električna energija dobijena iz vetra koristi za pogon pumpi koje vodu koja je već iskorišćena u hidroelektrani vraćaju u akumulaciju, omogućavajući ponovno korišćenje za pokretanje hidro agregata (reverzibilna hidroelektrana). Kod ovakvih elektrana stepen iskorišćenja energije vetra nije veliki, odnosno veliki su gubici energije prilikom konverzije. Dobra strana ovakvog iskorišćenja energije vetra je da turbulencije vetra ne unose nestabilnost u energetske sistem.

Postoje i primjeri korišćenja gasnih turbina u hibridnom radu sa vetroelektranom. Propadi snage prouzrokovani neravnomernim radom vetroelektrane se kompenzuju energijom iz gasne elektrane. U ovom slučaju, vetroelektrana i gasna elektrana su u paralelnom radu. Ovakav način rada vetroelektrane u hibridnom sistemu je zadovoljavajuće efikasan. Nedostatak je to što oba izvora nisu obnovljiva.

Postoji dosta raznih primjera kombinovanja vetroelektrane sa drugim izvorima električne energije, kao što su solarne elektrane, dizel agregati i slično. Osnovni cilj da se potrošačima obezbedi konstantno napajanje električnom energijom zadovoljavajućeg kvaliteta se ovakvim hibridnim radom ostvaruje sa manjim ili većim uspehom.

Pojedinačne solarne ili vetroelektrane ne proizvode iskoristivu, tj kvalitetnu energiju tokom značajnog dijela godine. Kombinovanje solarne i vetroelektrane značajno smanjuje veličinu akumulatorske baterije koja služi za skladištenje proizvedene energije. Za maksimalno iskorišćenje zajedničkog rada solarne i vetroelektrane važnu ulogu igra dobar algoritam upravljanja koji iz jednog kontrolnog centra koordinira rad pojedinačnih elemenata ovog hibridnog sistema.

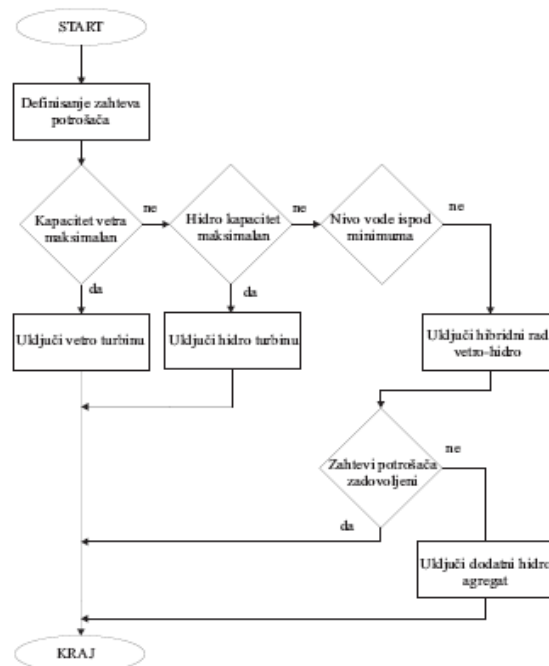
Ako se akumulaciono jezero posmatra kao sistem za skladištenje primarnog oblika hidroenergije, onda raspoloživost jezera za dnevnu, sezonsku ili godišnju regulaciju omogućava da vetroelektrana, koja je u hibridnom radu, uvek daje maksimalnu izlaznu snagu. U ovakvom režimu, hidroelektrana i vetroelektrana rade u paraleli i imaju komunikacionu i energetske vezu sa zajedničkim kontrolnim centrom. U periodima kad ima dovoljno vetra, vetroelektrana rasterećuje hidroelektranu i omogućava punjenje akumulacionog jezera. U suprotnom slučaju, kada nema dovoljno vetra, hidroelektrana nadoknađuje manjak.

4. HIDRO ENERGIJA KAO KOMPLEMENT VETRO ENERGIJI

Korišćenje hibridnog sistema hidroelektrane i vetroelektrane omogućava akumulisanje električne energije dobijene pomoću vetroelektrane u obliku potencijalne

energije vode u akumulaciji i u zahtevanom trenutku konverzija te energije nazad u električnu. Ova konverzija se u stvarnosti ne dešava nego se energija skladišti kao potencijalna energija vode u akumulaciji na račun smanjene proizvodnje hidroelektrane u periodu kad ima dovoljno proizvodnje energije iz vetroelektrane.

Na slici 6. prikazan je algoritam rada hibridne vetro-hidro elektrane. [7]

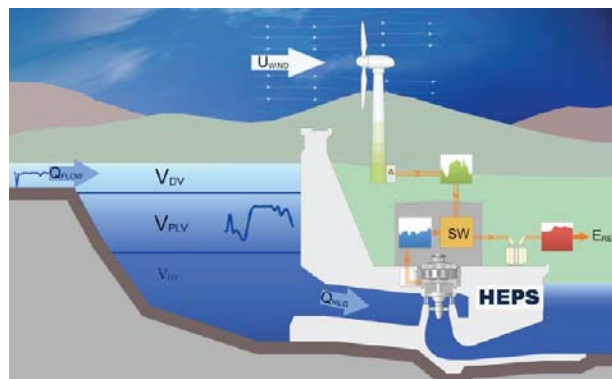


Slika 6. Algoritam rada hibridne elektrane

Hibridan rad vetroelektrane i hidroelektrane zahteva rezervisanje jednog ili više hidroagregata kojima će se upravljati iz jednog kontrolnog centra. Odnos snage hidroelektrane i vetroelektrane koje čine hibridni sistem se mora proračunati na osnovu raspoloživog kapaciteta hidro akumulacije i potencijala vetra koji postoji u toj oblasti.

Najbolje i najpoželjnije rešenje za formiranje hibridnog sistema je da se postojećoj akumulacionoj hidroelektrani pridruži odgovarajuća vetroelektrana. Na ova način se ne mora dodatno plaviti zemljište zbog formiranja akumulacije, a elektroenergetski sistem se proširuje.

Na slici 7. je prikazana jedna hibridna elektrana, gde se u paralelnom radu nalaze hidroelektrana i odgovarajuća vetroelektrana. [13]

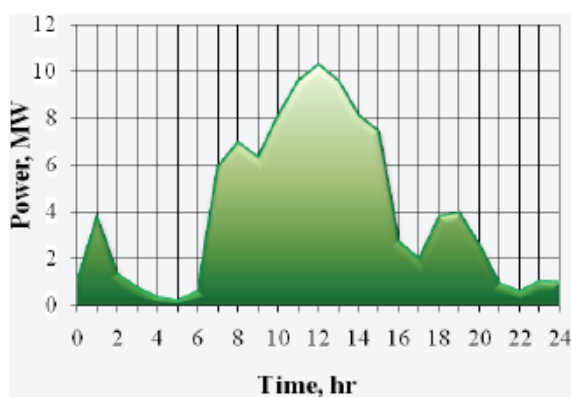


Slika 7. Hibridna Hidro-Vetro elektrana

Prilikom formiranja ovakvog hibridnog sistema, mora se voditi računa o izboru odgovarajuće hidro turbine koja će najbolje moći da prati dinamiku promene jačine vetra. Takođe, mora se posvetiti pažnja izboru lokacije za vetroelektranu tako da se vetroelektrana postavi na mjestu gdje su manje nagle promene jačine vetra.

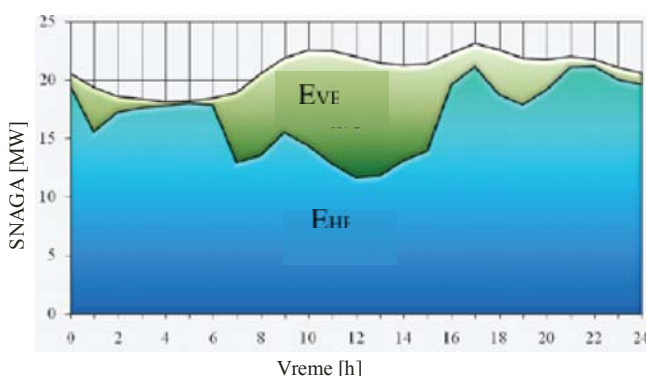
Na izlazu ovakve elektrane dobija se regulisana električna energija. Podrazumeva se da će u određenim periodima dolaziti do situacija kad hidroturbina neće moći u potpunosti pratiti oscilacije u proizvodnji koje unosi vetroelektrana. Ovo zavisi od tipa hidro turbine i njenog hidrauličnog sistema. Međutim, u svakom slučaju oscilacije izlazne energije će biti mnogo manje nego na izlazu vetroelektrane. Takve umanjene oscilacije neće izazvati veće poremećaje u ostatku elektroenergetskog sistema.

Na slici 8. je prikazan tipičan dnevni dijagram proizvodnje jedne vetroelektrane. [15]



Slika 8. Tipičan dnevni dijagram proizvodnje vetroelektrane

Sa slike 8. se vide velike oscilacije u proizvodnji vetroelektrane u toku jednog dana. U slučaju da ova hipotetička elektrana radi u hibridnom sistemu sa odgovarajućom hidroelektranom dnevni vremenski dijagram proizvodnje bi izgledao kao na slici 9.



Slika 9. Dnevni vremenski dijagram proizvodnje hibridne elektrane

Sa slike 9. Se vidi da je izlazna snaga hibridnog sistema glatka kriva bez naglih poremećaja i njen oblik zavisi od zahteva potrošača. Ukupna količina isporučene energije ovakve elektrane na godišnjem nivou je veća od one koja bi bila da je radila samo hidroelektrana. Angažovanost potencijala hidroelektrane je manji u odnosu na individualni

rad i omogućeno je punjenje akumulacije odnosno skladištenje energije u obliku potencijalne energije vode.

Sa ovakvim radom vetro i hidroelektrane postižu se dva osnovna efekta. Ukupno vrijeme rada hibridne elektrane u toku godine se povećava značajno u poređenju sa individualnim radom hidroelektrane. Balansiranje energije na lokalnom nivou omogućava i balansiranje proizvodne cene energije, odnosno postizanje povoljnije prosečne prodajne cene. Bez obzira na mogućnost da se balansiranje proizvodnje vetroelektrane vrši na nivou kompletnog elektroenergetskog sistema, lokalno balansiranje ima veliko tehnoeкономsko opravdanje.

5. ZAKLJUČAK

U radu je dat pregled mogućnosti za kvalitetnije iskorišćenje obnovljivih izvora energije i njihovu integraciju u elektroenergetski sistem kao ravnopravnih subjekata. Posebno je dat osvrt na rad vetroelektrana i probleme koji se javljaju pri pokušaju njihove integracije u sistem. Izložene su prednosti integracije obnovljivih izvora energije, prvenstveno vetroelektrana sa drugim izvorima u cilju otklanjanja problema koji prate rad vetroelektrana.

Kao glavni kandidat za komplementiranje rada vetroelektrana javljaju se hidroelektrane. Prednost ovog koncepta objedinjavanja ove dve vrste izvora energije jeste to što se u oba slučaja radi o obnovljivim izvorima energije. Pruža se mogućnost proširenja postojećih proizvodnih kapaciteta na račun izgradnje vetroelektrana i njihovo udruživanje sa postojećim akumulacionim hidroelektranama, bez dodatnog potapanja zemljišta. Time se povećava ukupna godišnja proizvodnja električne energije a eliminišu se problemi nestabilnosti, koje izazivaju oscilacije proizvodnje tipične za vetroelektrane.

Bez obzira na postojeći pristup balansiranja proizvodnje vetroelektrane na nivou elektroenergetskog sistema, pristup lokalnog balansiranja je interesantan iz više razloga. Sa promenama, koje se dešavaju na tržištu električne energije, hibridni sistem omogućava ovakvom hibridnom sistemu balansiranje proizvodne cene i na godišnjem nivou povećanje proizvodnje.

S obzirom na stalno opadanje proizvodne cene energije iz vetroelektrana, ovakav pristup integracije vetroelektrana u sistem omogućava postojećim proizvodnim hidro energetskim objektima ulaganje u proširenje kapaciteta i povećanje proizvodnje. Takođe zahvaljujući napretku u razvoju dvostrukih AC-DC-AC konvertora popularno nazvanih *back to back*, moguće je izvršiti povezivanje hibridne hidro-vetro elektrane manje snage na distributivnu mrežu i zahvaljujući odgovarajućem algoritmu omogućiti ostrvski rad ove elektrane u slučaju raspada energetskog sistema. [10]

6. LITERATURA

- [1] U.S. Department of Energy, "Hydropower, Setting a Course for Our Energy Future", Washington DC, July 2004.
- [2] M. Somaraki, "A Fisibility of a Combined Wind – Hydro Power Station in Greece", University of Strathclyde, Glasgow, October 2003.
- [3] J.M. Cohen, G. Lafrance, S.Krau, B. Saulnier, "Analysis of Wind-Hydro Integration Value in Vermont",

- Princeton Energy Resources International, Windpower 2003.
- [4] E. Muljadi, C.P.Butterfield, J. Conto, K. Donoho, "ERCOT's Dynamic Model of Wind Turbine Generators", Wind Power 2005, Denver, USA, May 2005.
 - [5] D.F. Ancona, S. Krau, G. Lafrance, P. Bezrukikh, "Operational Constraints and Economical Benefits of Wind-Hydro Hybrid Systems Analysis of Systems in the U.S./Canada and Russia", European Wind Energy Conference, Madrid, Spain, June 2003.
 - [6] E.D. Jaeger, N. Janssens, B. Malfliet, F.V.D. Meulebroeke, "Hydro Turbine Model for System Dynamic Studies", IEEE Trans. Power Systems, Vol. 9, No 4, November 1994.
 - [7] C.A. Nwosu, M. Eng, G.C. Asomba, C.U. Ogbuka, "Community Based Independent Power Plant: A Case for Renewable Energy Resources", The Pacific Journal of Science and Technology, Vol. 9, No 2, November 2008.
 - [8] H. Holttinen, "Wind Hydro Integration on a Large Hydro System", UWIG workshop, Portland, USA, March 2007.
 - [9] Z.Ye, R. Walling, N. Miller, P. Du, K. Nelson, "Facility Microgrids", National Renewable Energy Laboratory, New York, USA, May 2005.
 - [10] F. Katiraei, M.R. Iravani, P.W. Lehn, "Micro-Grid Autonomous Operation During and Subsequent to Islanding Process", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 20, No 1, January 2005.
 - [11] Western Electricity Coordinating Council, "Standard Wind Turbine-Generator Models", IEEE PES, Montreal, Canada, 2006.
 - [12] H. Goyal, M. Hanmandlu, D.P. Kjothari, "A New Optimal Flow Control Approach for Automatic Control of Small Hydro Power Plants", IE Journal, Vol. 87, May 2006.
 - [13] D. Linke, T. Acker, S.E. Thor, "Integration of wind and Hydropower systems", Summary of IEA R&D Wind – 41st Topical Meeting, Portland, USA, November 2003.
 - [14] M.K. Deshmukh, S.S. Deshmukh, "Modeling of hybrid renewable energy systems", Renewable and Sustainable Energy Reviews 12, 2006.
 - [15] O.A. Jaramillo, M.A. Borja, J.M. Huacuz, "Using hydropower to complement wind energy: a hybrid system to provide firm power", Renewable energy 29, 2004.