

UDK: 631.172; 631.147

## SAVREMENA REŠENJA ZA DOBIJANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U VETROELEKTRANAMA MALE I VELIKE SNAGE

Branko Radičević<sup>1</sup>, Dušan Mikičić<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Poljoprivredni fakultet – Beograd

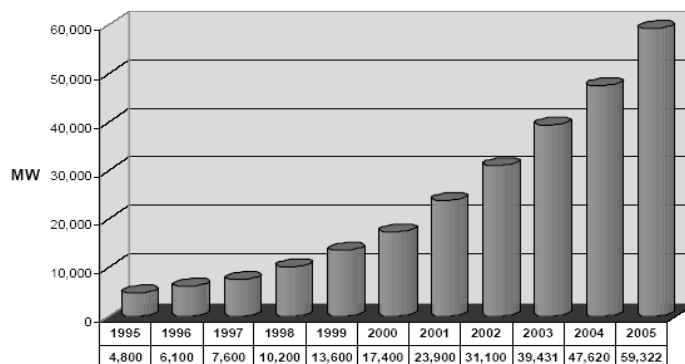
<sup>2</sup>Elektrotehnički fakultet – Beograd

**Sadržaj:** Vetroenergetika danas predstavlja modernu, tehnički i tehnološki visoko razvijenu industriju sa najvećim trendom razvoja u poslednjoj deceniji (oko 32 %) u kojoj je izvršen snažan razvoj novih kompozitnih materijala, električnih mašina, energetske elektronike, uz nova znanja i konstrukcije u oblasti aeromehanike. Naročita pažnja u ovom radu posvećena je konfiguraciji savremenih vetrogeneratorskih postrojenja male i velike snage u skladu sa u svetu postojećom komercijalnom tehnologijom. Analizirani su tipovi generatora, turbina, kontroler, merna, regulaciona i zaštitna oprema, softver za simulaciju rada uz uvažavanje relevantnih vetro i elektro parametara. Posebno je proučen rad pojedinačnih vetrogeneratora koji čine autonomni sistem, kao i priključenje pojedinačnih ili manjih farmi vetrogeneratora na električnu mrežu, uključujući i problem kvaliteta isporučene električne energije i stabilnost sistema.

**Ključne reči:** vetroelektrana, električna energija, energetski pretvarači, softver.

### 1. UVOD

Početak III milenijuma obeležen je intenzivnim razvojem vetroenergetike u svetu (slika 1).

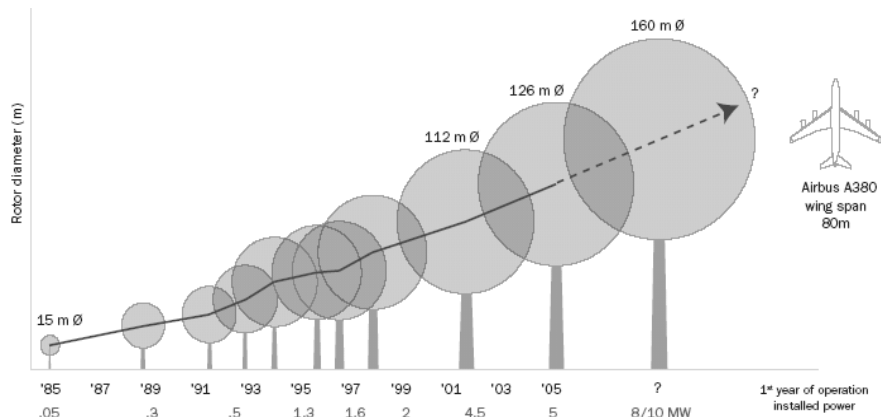


Slika 1. Instalirani vetrogeneratorski kapaciteti u svetu do početka 2006. godine

Konstrukcija vetrogeneratora, poslednjih godina se toliko usavršila, da su oni dostigli standardne jedinične nominalne snage iznad 1500 kW (na kopnu) i iznad 2000 kW (na moru), što ih pod određenim podsticajnim merama, uz zadovoljavajući nivo pouzdanosti i ekonomičnosti u radu ističe kao konkurentne izvore za masovnu proizvodnju električne energije, u okviru savremenih elektroenergetskih sistema. U ukupnoj proizvodnji električne energije u svetu energija vetra početkom 2006. godine učestvuje sa oko 0,6 %, tj. oko 120 TWh/god. (instalirano je oko 59500 MW kapaciteta), a u zemljama EU sa oko 3 % (iz 40,5 GW instaliranih kapaciteta dobija se oko 80 TWh/god. električne energije).

## 2. OPŠTE KARAKTERISTIKE VETROGENERATORSKIH SISTEMA

Izveštaj komisije UN o uticaju globalnog zagrevanja na klimatske promene iz 2005. godine predviđa promene vremena koje će uticati na podizanje nivoa mora, promenu uobičajenih rasporeda i obima padavina i povećanje temperature na globalnom nivou, a posledica će biti smanjena poljoprivredna proizvodnja, teške suše i obilne kiše u mnogim regionima i još veći problemi sa inače oskudnim vodenim resursima. Koncentracija ugljen-dioksida u atmosferi, najprisutnijeg od svih takozvanih „gasova staklene bašte“, povećala se za 31 % od 1750. godine i velika je verovatnoća da nikada nije bila veća u poslednjih 20 miliona godina. 75 % emisija ugljen-dioksida potiče od sagorevanja fosilnih goriva, a ostatak od uništavanja šuma. Globalna temperatura na Zemlji je u prošlom veku porasla od 0,2 do 0,7 stepeni Celzijusa, a procenjuje se da bi u narednih 100 godina mogla da poraste između 1,4 i 5,8 stepeni, podižući nivo mora između 0,09 i 0,88 metara (visine mora su se tokom poslednjih 100 godina povećale od 10 do 20 cm, pri čemu porast iznosi nešto više od 2 mm godišnje). Ako se otope lednici na Grenlandu, nivo mora povisiće se za 6 do 7 metara, a ako se otopi Antarktik, nivo mora će biti viši za 110 metara.



Slika 2. Porast instaliranih snaga i prečnika rotora vetroturbina

Proizvodnja energije od vetra je jedna od alternativa za ublažavanje ovih problema. Vetar predstavlja neiscrpan ekološki izvor energije čiji globalni potencijal višestruko prevazilazi svetske potrebe za električnom energijom. Međutim, pouzdana i ekonomski prihvatljiva konverzija mehaničke energije vetra u električnu energiju je praćena nizom

poteškoća koje su posledica stohastičnosti vetra i njegove male gustine (fluksa) snage. U poslednjoj deceniji, razvojem energetske elektronike i upotrebom novih materijala, mnogi problemi su tehnički rešeni, pa je vetroenergetika postala oblast energetike sa najvećim trendom razvoja (oko 32%), [3]. Jedan od glavnih faktora koji je stimulisao korišćenje obnovljive energije (naročito energije vetra) je zaštita čovekove okoline. U poslednjoj deceniji učinjeni su brojni naponi da se cena energije koja se dobija iz obnovljivih izvora smanji. Kada su u pitanju vetro turbine, ovo je između ostalog, dovelo do kontinualnog povećanja njihove nominalne snage (slika 2).

Krila (elise) savremenih vetrogeneratora slična su sa elisama aviona. Na taj način koristi se struja vazduha za stvaranje sile uzgona na elisi turbine koja stvara mehanički momenat na kraku elise turbine. Na ovaj način se kinetička energija vetra pretvara u kinetičku energiju obrtnih masa koja se dalje električnim generatorom pretvara u električnu energiju kao pogodan oblik za prenos na udaljena mesta potrošnje. Stohastičnost vetra i težnja ka maksimumu iskorišćenja njegove energije zahtevaju rad vetro turbine sa promenljivom brzinom. Takav rad otežava zadovoljenje tehničkih kriterijuma rada vetrogeneratora koji je priključen na krutu električnu mrežu. Osnovni problem koji se javlja pri konverziji kinetičke energije vetra u električnu je obezbeđenje pouzdanog i efikasnog rada generatora na električnoj mreži u uslovima promenljive snage vetra. Efikasan rad vetrogeneratora podrazumeva prilagođavanje vetro turbine brzini vetra tako da se elektromehanička konverzija odvija sa maksimalnim stepenom iskorišćenja. Sa druge strane, u uslovima velike varijacije brzine vetra, javlja se problem zadovoljenja svih tehničkih kriterijuma u pogledu generisanja električne energije u elektroenergetski sistem (varijacije napona, nivo harmonika i slično).

### 3. TIPOVI VETROTURBINA I METODE ZA REGULACIJU SNAGE

Danas se uglavnom koriste dva tipa vetrogeneratora: vetrogeneratori sa horizontalnom osom i vetrogeneratori sa vertikalnom osom. Vetrogeneratori sa vertikalnom osom su otporniji na olujne vetrove i njih ne treba usmeravati ka vetru. Njihova glavna mana je manja efikasnost nego kod sistema sa horizontalnom osom koji danas preovlađuju. Ove turbine rade sa malim brzinama i sa velikim obrtnim momentom, što može da bude korisno uglavnom kod mlevenja žita i pumpanja vode. Kod vetrogeneratora sa horizontalnom osom rotor može biti postavljen uz ili niz vetar (u ovom slučaju nije potrebno pozicioniranje kabine, pošto ona sama prati pravac vetra). Ovaj tip vetro turbine radi sa velikim brzinama i malim obrtnim momentom, zbog čega se koristi za generisanje električne energije. Danas se najviše upotrebljava koncept vetro turbine sa horizontalnom osom i sa tri krila, postavljene uz vetar, mada postoje turbine sa dva, pa i sa jednim krilom.

Svi vetrogeneratori mogu se svrstati u dve grupe: u prvu grupu spadaju oni vetrogeneratori čije turbine rade sa *konstantnom brzinom obrtanja*, a u drugu vetrogeneratori sa *promenljivom brzinom obrtanja*. Generatori sa konstantnom brzinom obično se direktno priključuju na elektroenergetsku mrežu, pri čemu njihovu brzinu obrtanja diktiraju učestanost mreže i broj polova mašine. Mala brzina obrtanja turbine se preko menjačke kutije, sa odgovarajućim prenosnim odnosom, prilagođava (većoj) brzini generatora (određenoj učestanošću mreže i brojem polova generatora). Generatori sa promenljivom brzinom obrtanja povezuju se na elektroenergetsku mrežu posredstvom elektronskog AC-DC-AC ispravljačko/invertorskog pretvarača, ili se pobudni sistem

generatora napaja naizmeničnim naponom mrežne učestanosti, posredstvom invertora. Na taj način se brzina rotora generatora raspoređuje od učestanosti mreže pa on može raditi sa promenljivom brzinom, koja se prilagođava aktuelnoj brzini vetra, [1].

Sve vetroturbine mogu se regulisati preko mehanizma podešavanja ugla zakretanja krila rotora (*Pitch control*), ili preko pogona sa konstantnim uglom zakretanja krila, a smanjenjem površine koju one zahvataju (*Stall regulated turbines*). U prvom slučaju, mehanička snaga turbine može se smanjivati, shodno karakteristikama vetroturbine, a u drugom, u slučajevima kada se brzina vetra poveća iznad nominalne vrednosti, snaga se smanjuje korišćenjem aerodinamičkog efekta iza krila rotora.

Savremeni vetrogeneratori se mogu klasifikovati u dve glavne grupe.

**Grupa I:** Vetrogeneratori čije turbine rade sa fiksnom brzinom obrtanja i direktnim priključkom na elektroenergetsku mrežu:

- a) Sa asinhronim generatorom
- b) Sa sinhronim generatorom.

**Grupa II:** Vetrogeneratori čije turbine rade sa promenljivom ili delimično promenljivom brzinom obrtanja i priključkom na elektroenergetsku mrežu posredstvom elektronskih pretvarača:

- a) Sa sinhronim generatorom
- b) Sa asinhronim generatorom i upravljivim klizanjem
- c) Sa asinhronim generatorom koji je napajan i sa strane statora i sa strane rotora.

Prednosti sistema sa konstantnom brzinom i asinhronim generatorima je što su jednostavni i jeftiniji. Pri tome, treba istaći da se uz asinhronne generatore mora pridodati i posebna oprema za kontrolu apsorpcije reaktivne snage, koju generator uzima iz mreže. Sistemi sa promenljivom brzinom za istu nominalnu snagu daju veću proizvodnju električne energije i podvrgnuti su manjim mehaničkim naprezanjima usled promena brzine vetra i oscilacija u sistemu. U nekim od tih sistema može se izostaviti menjačka kutija, dok neki zahtevaju kompenzaciju viših harmonika, koji se pojavljuju usled prisustva elektronskih pretvarača u kolu za sprezanje sa elektroenergetskom mrežom.

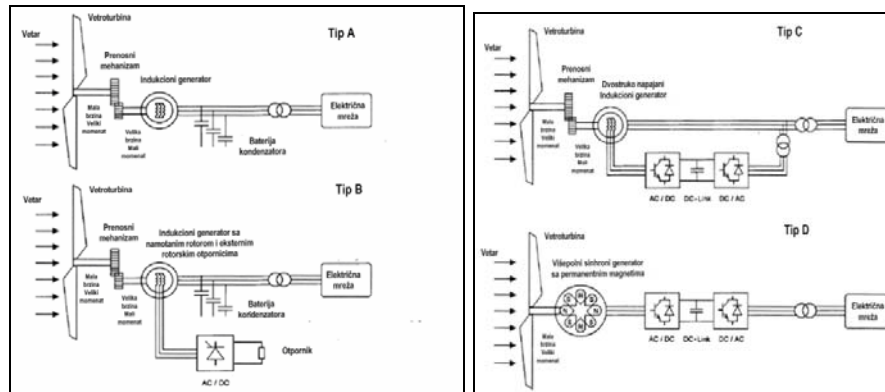
Direktan priključak asinhronih vetrogeneratora na mrežu je najčešće korišćena šema, za nominalne snage između 50 kW i 1,5 MW. Najveći broj od njih je opremljen sa regulatorima ugla zakretanja krila rotora. U slučaju malih mašina takođe se koristi direktan priključak sinhronih vetrogeneratora na mrežu. Vetrogeneratori sa promenljivom brzinom se uglavnom koriste u slučaju farmi vetrogeneratora većih snaga, gde se teži da se maksimalno iskoristi raspoloživa energija vetra. Tehnologija rada za ovu kategoriju vetrogeneratora počiva na principu elektromotornih pogona sa promenljivom brzinom i zbog toga se u tu svrhu može koristiti bilo koja kombinacija električnih generatora i pretvaračkih uređaja energetske elektronike, kao što su asinhroni generatori sa kratko spojenim (kaveznim) ili namotanim rotorom, sa statorskom ili rotorskom kaskadom, odnosno sinhroni generatori sa jednosmernom ili pobudom preko permanentnih magneta i AC-DC-AC pretvaračima za spregu sa mrežom. Zato se svaka generatorsko-pretvaračka kombinacija za svaki konkretan slučaj vetrogeneratora mora posebno analizirati i vrednovati, uzimajući u obzir radne i upravljačke karakteristike, dinamičke performanse, cenu, faktor snage, stepen korisnog dejstva i drugo, [5].

U svakom električnom delu sistema vetroturbine (od rotora vetroturbine pa do priključka na distributivnu mrežu) u svakom trenutku se mora obavljati kvalitativna i kvantitativna kontrola električne energije. Vetrogeneratori su tako projektovani da proizvode električnu energiju što je moguće jeftinije. Pošto vetrogeneratori proizvode

maksimalnu količinu električne energije za brzine vetra oko 12-15 m/s, ne isplati se praviti vetroturbine koje imaju maksimalnu proizvodnju energije pri većim brzinama vetra, jer su takvi vetrovi retki i koeficijent iskorišćenja turbine bi bio manji. U slučaju jačih vetrova neophodno je smanjiti deo dolazeće energije vetra u cilju izbegavanja kvarova koji bi se mogli desiti zbog rada turbine pri snazi koja prevazilazi nominalnu (što bi se desilo u slučaju maksimalnog iskorišćenja jačine vetra pri njegovim previsokim brzinama).

#### 4. SAVREMENA REŠENJA ZA DOBIJANJE ELEKTRIČNE ENERGIJE OD ENERGIJE VETRA

Na slici 3 i u tabeli 1 je dat pregled koncepata koji se koriste u savremenoj vetroenergetici, [1,2].



Slika 3. Tipične konfiguracije konverzionih sistema vetrogeneratora

Tabela 1. Različiti koncepti vetroturbina

Kontrola brzine		Kontrola krila vetrogeneratora		
		Stall	Pitch	Active - Stall
Konstantna brzina	Tip A	Tip A0	Tip A1	Tip A2
	Tip B	Tip B0	Tip B1	Tip B2
Promenljiva brzina	Tip C	Tip C0	Tip C1	Tip C2
	Tip D	Tip D0	Tip D1	Tip D2

Polja u tabeli 1 sa sivom pozadinom (npr. B0) su koncepti koji još nemaju komercijalnu primenu

Kod vetroelektrana koje rade sa konstantnom brzinom uglavnom se koristi indukcioni generator sa kaveznim rotorom (*tip A na slici 3*). Između rotora i generatora postoji transmisiona kutija (gearbox) tako da može da se koristi standardni (najčešće 1500 ob/min.) indukcioni generator sa kaveznim rotorom. Ovaj generator je direktno priključen na distributivnu mrežu od 50 Hz. Snaga generatora se uglavnom ograničava primenom klasičnog stall koncepta: ako se brzina vetra poveća iznad nominalne brzine,

brzina turbine se smanjuje, tako da snaga koju proizvodi turbina ostaje blizu nominalne snage. Ponekada se koristi i aktivna stall regulacija. Ovaj koncept se odlikuje velikom robusnošću generatora. Nedostaci su potrošnja reaktivne energije i mala efikasnost zbog nemogućnosti prilagodavanja brzine obrtanja turbine uslovima vetra (kruta mehanička karakteristika u okolini nominalne radne tačke generatora uslovljava male varijacije brzine obrtanja i pri velikim promenama ulazne snage vetra), odnosno ovaj koncept podrazumeva praktično konstantnu brzinu vetroturbine.

Postoji nekoliko podvarijanti. Indukcioni generatori sa promenljivim polovima, sa dva statorska namotaja sa različitim brojem parova polova, tako da turbina može da radi na dve konstantne brzine (jedna brzina za male brzine vetra, a druga za velike brzine) u cilju povećanja generisane energije i smanjenja buke. Indukcioni generatori sa namotanom rotorom i sa elektronskom kontrolom spoljašnjih otpornika u rotorskom kolu, u cilju smanjenja mehaničkih opterećenja putem omogućavanja većih varijacija brzine i ovo su vetroturbine sa polu-promenljivom brzinom (*tip B na slici 3*). Moguća je promena brzina u limitiranom opsegu od 10 % i na taj način se mogu delimično umanjiti fluktuacije momenta, ali nije moguće uvek dobiti maksimalnu vrednost električne snage.

Kod savremenih vetrogeneratorskih jedinica veće snage koje imaju ograničeni opseg promene brzina od približno 60% do 110% nominalne brzine, dvostrano napajana asinhorna mašina postala je najzastupljeniji koncept (*tip C na slici 3*). Stator je direktno priključen na mrežu, a rotor je preko kliznih prstenova, pretvaračke grupe i eventualno transformatora, takođe, priključen na mrežu. U slučaju dvostrano napajane asinhronne mašine moguć je rad u četiri režima (podsinhroni motorni i generatorski, nadsinhroni motorni i generatorski), što u slučaju vetrogeneratora omogućava potpuno prilagodavanje brzine obrtanja vetrogeneratora uslovima vetra odnosno mehaničkoj karakteristici vetroturbine. Prednost ovog sistema se ogleda u tome što se može upotrebiti energetski pretvarač čija nominalna snaga iznosi samo trećinu nominalne snage vetroturbine, a njegova veličina se i dalje može smanjiti upotrebom prebacača zvezda-trougao za napajanje rotorskog namotaja. Međutim, još uvek je potrebno koristiti prenosni mehanizam, što može smanjiti pouzdanost sistema. Kod vetroturbine kod koje se ne koristi prenosni mehanizam, ova prednost se gubi na taj način što se mora upotrebiti veći energetski pretvarač i komplikovaniji, teži i skuplji vetrogenerator. Pri brzinama vetra iznad nominalne brzine vetra, snaga generatora se smanjuje primenom pitch-regulacije.

Vetroturbine koje rade sa promenljivom brzinom sa sinhronim generatorom koji je direktno priključen na mrežu imaju mogućnost potpune regulacije brzine (*tip D na slici 3*). Upotreba sinhronog generatora omogućava prilagodavanje brzine vetroturbine uslovima vetra, jer je sinhroni generator frekventno raspregnut od mreže preko *back to back* PWM-VSI *energetskog pretvarača*. Pretvarač koji se nalazi na strani statora reguliše elektromagnetni obrtni momenat, dok pretvarač koji se nalazi na napojnoj strani reguliše aktivnu i reaktivnu snagu koju vetroturbina isporučuje potrošačima. Osim toga, prednost ovog sistema je što omogućava direktno sprezanje vratila generatora sa vetroturbinom (bez upotrebe prenosnog mehanizma) upotrebom niskobrzinskog višepolnog sinhronog generatora sa permanentnim magnetom. Nedostatak ovog koncepta je što celokupna energija prolazi kroz pretvarač, pa je potrebno da snaga pretvarača bude jednaka snazi generatora, što je teško obezbediti kod vetrogeneratorskih jedinica veće snage. Osim toga, ima se povećan nivo harmonika zbog prisustva kaskadnog pretvarača, pa je neophodno korišćenje harmonijskih filtera. Pri brzinama vetra iznad nominalne brzine, snaga se redukuje koristeći pitch-regulaciju.

### 5. KOMPARACIJA ANALIZIRANIH REŠENJA

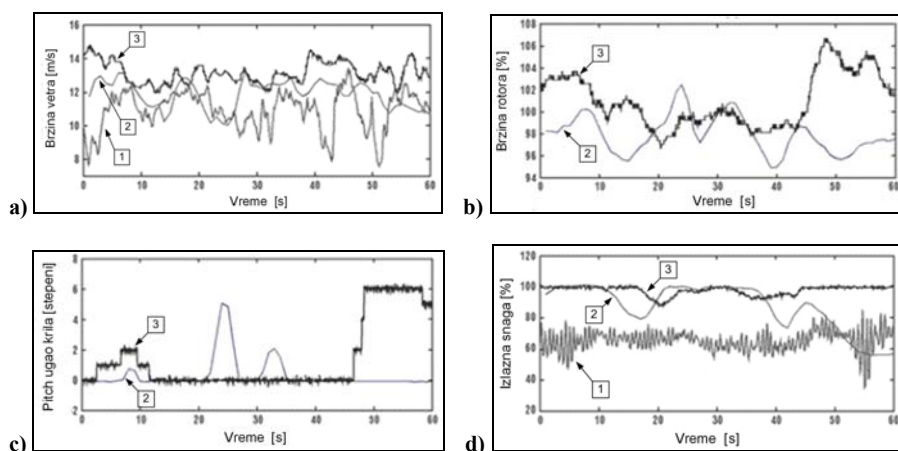
Različiti tipovi vetroturbina imaju svoje prednosti i mane. U tabeli 2 dat je pregled karakteristika različitih koncepata priključenja vetrogeneratora na električnu mrežu. Sistemi sa fiksnom brzinom su relativno jednostavni i robustni, a njihovi nedostaci su: nemogućnost regulacije aktivne i reaktivne snage, velika mehanička opterećenja (jer se varijacije snage prenose kao pulsacije momenta, a ovo može dovesti do oštećenja prenosnog mehanizma), velike fluktuacije izlazne snage (može dovesti do varijacija napona, i u mnogim slučajevima do pojave flikeri). Proizvođači vetroturbina se uglavnom koncentrišu na proizvodnju vetroturbina sa promenljivom brzinom iz sledećih razloga: imaju veći stepen korisnog dejstva u poređenju sa sistemima sa fiksnom brzinom, energetska elektronika za potrebe sistema sa promenljivom brzinom veoma brzo pojeftinjuje i postaje pouzdanija, ostvarena je redukcija mehaničkog opterećenja, moguća je regulacija aktivne i reaktivne snage u širokom opsegu (što je naročito bitno u slučaju udaljenih lokacija i vetrogeneratora na moru), lakše se uklapaju u zahteve koje nameću kompanije za prenos i distribuciju električne energije, a posebno u slučaju velikih farmi vetrogeneratora. Takođe, sistemi sa promenljivom brzinom imaju manje varijacije izlazne snage (jer velika inercija rotora ublažava varijacije brzine vetra i na taj način redukuje probleme sa flikerima). Na slici 4 prikazana su merenja brzine vetra i rezultujuće brzine rotora, promena pitch uglova i izlazna snaga, za razmatrane koncepte priključenja vetrogeneratora na električnu mrežu (za brzine vetra oko nominalnih vrednosti).

Tabela 2. Poređenje različitih koncepata vetroturbina (prednosti i mane)

		Fiksna brzina, klasična stall regulacija	Promenljiva brzina pitch regulacija, dvostruko napajani indukcionni generator	Promenljiva brzina, sinhroni generator sa detektnim pogonom u kombinaciji sa pitch regulacijom
1. Cena, veličina i težina		+	-/-	-
2. Pogodnost za rad na mrežnoj frekvenciji od 50 Hz		-	-	+
3. Intenzitet buke i vibracija		-	+	+
4. Proizvodnja električne energije	Promenljiva brzina	-	+	+
	Prenosni mehanizam	-	-	+
	Generator	+	+	-
	Prevarač	+	-/-	-
5. Pouzdanost i održavanje	Četkice	+	-	- (PM: +)
	Prenosni mehanizam	-	-	+
	Mehanička opterećenja	-	+	+
	Kompleksnost	+	-	-
6. Kvalitet električne energije	Flikeri	-	+	+
	Mogućnost kontrole mrežnog napona i učestanosti	-	+	+
	Harmonici	+	-	-
7. Kvarovi u mreži	Struje kvara	+	+	+/-
	Uspostavljanje napona posle kvara	-	+	+

Energetska efikasnost vetroturbina sa promenljivom brzinom sa asinhronim generatorom sa dvostranim napajanjem je nekoliko procenata veća u odnosu na sisteme sa standardnim asinhronim generatorom, ali i u poređenju sa sinhronim generatorom sa permanentnim magnetima, koji je direktno priključen na mrežu, postoji prednost,

zahvaljujući mogućnosti da se održava optimalni odnos između brzine turbine i vetra. Većina proizvođača vetroturbina razvija nove, veće sisteme u opsegu snaga od 3 do 6 MW, a oni su svi bazirani na radu sa promenljivom brzinom i pitch kontrolom bez obzira da li koriste sinhronne generatore bez prenosnog mehanizma ili asinhronne generatore sa dvostranim napajanjem. Asinhronni generatori sa stall kontrolom za konstantnom brzinom su nepodesni za ovako velike snage. Svako izabrano rešenje za sistem vetrogeneratora sa promenljivom brzinom mora se podvrgnuti analizi kvaliteta i cene. Optimalni izbor je onaj koji je pogodan za priključenje na standardnu distributivnu mrežu, a minimizira cenu generisane energije. HVDC prenos bi u budućnosti moglo da predstavlja rešenje za farme vetrogeneratora kod prenošenja snage na velike udaljenosti, kako na moru, tako i na kopnu. Ovo će otvoriti nove mogućnosti za regulaciju promenljive brzine vetroturbina.



Slika 4. Izmerena: **(a)** brzina vetra, **(b)** brzina rotora, **(c)** ugao nagiba krila i **(d)** izlazna snaga u procentima za: vetrogenerator (VG) sa fiksnom brzinom (1), VG sa promenljivom brzinom i dvostrano napajanim asinhronim generatorom (2) i VG sa promenljivom brzinom i sa sinhronim generatorom sa direktnim pogonom (3)

## 6. ZAKLJUČAK

Vetrogeneratori, 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 instalisanih kapaciteta u svetu, a naročito u zemljama Evropske Unije. Stohastičnost vetra i težnja ka maksimumu iskorišćenja njegove energije zahtevaju rad vetroturbine sa promenljivom brzinom. Takav rad otežava zadovoljenje tehničkih kriterijuma rada vetrogeneratora koji je priključen na krutu električnu mrežu. Osnovni problem koji se javlja pri konverziji kinetičke energije vetra u električnu je obezbeđenje pouzdanog i efikasnog rada generatora na električnoj mreži u uslovima promenljive snage vetra. Efikasan rad vetrogeneratora podrazumeva prilagođavanje vetroturbine brzini vetra tako da se elektromehanička konverzija odvija sa maksimalnim stepenom



iskorišćenja. Sa druge strane, u uslovima velike varijacije brzine vetra, javlja se problem zadovoljenja svih tehničkih kriterijuma u pogledu generisanja električne energije u elektroenergetski sistem (varijacije napona, nivo harmonika i slično). Dvostrano napajani indukcion generator koji je vektorski upravljani sa dvostepenim PWM back-to-back VSI pretvaračem pokazao se kao najbolje rešenje za savremene vetrogeneratore većih snaga. Procenjuje se da će prosečno učešće vetroenergije u ukupnoj proizvodnji električne energije u većini zemalja koje imaju dobar vetroenergetski potencijal u narednom periodu iznositi oko 20 %. Izgradnjom akumulacionih postrojenja i poboljšanjem interkonekcije ovaj procenat se može značajno povećati.

#### LITERATURA

- [1] Ackermann T. et al: *Wind Power in Power Systems*, John Wiley & Sons, Ltd, januar 2005.
- [2] Manwell J.F., et al, *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, John Wiley and Sons Ltd, april 2002.
- [3] Mikičić D., Radičević B., Đurišić Ž.: *Wind Energy Potential in the World and in Serbia and Montenegro*, Facta Universitatis, Series: Electronics and Energetics, vol. 8, No 1, 2006.
- [4] Mikičić D., Đurišić Ž., Radičević B.: *Globalna procena o količini električne energije koja bi se mogla dobiti pomoću vetrogeneratora u Srbiji i Crnoj Gori*, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Jun 2003.
- [5] Mikičić D., Đurišić Ž., Radičević B.: *Vetrogeneratori kao perspektivni izvori električne energije*, Elektroprivreda, br. 4, 2002. str. 5-17

#### CURRENT SOLUTIONS TO ELECTRIC ENERGY GENERATION IN THE LOW POWER AND HIGH POWER WIND POWERED ELECTRICAL GENERATING STATION

**Branko Radičević<sup>1</sup>, Dušan Mikičić<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Faculty of Agriculture – Belgrade*

<sup>2</sup>*Faculty of Electrical Engineering – Belgrade*

**Abstract:** Today, wind energetics is a modern, technically and technologically highly developed industry, with the biggest trend of development in the last decade (about 32%); it is an industry which experienced a powerful development of new composite materials, electric machines and power supply electronics, along with a new knowledge being acquired and constructions made in the field of aeromechanics. In this paper special attention is given to configuring contemporary wind generator plants (types of generators, turbines, controllers, measuring, controlling and protection equipment, software for the simulation of operation which takes into account relevant wind and electric parameters) in accordance with the existing commercial technology in the world. The operation of particular wind generators which are autonomous systems is specially studied. Also are studied the ways in which individual generators or smaller farms of wind generators are connected to the electric grid, and the problem of the quality of delivered energy, and system stability.

**Key words:** *wind powered electrical generating station, electric energy, converters, software.*