

Professional paper – Stručni rad

VJETROGENERATORI KAO ALTERNATIVNI IZVORI ENERGIJE

Mihailo Jovanović

*Univerzitet Adriatik, Fakultet za menadžment, Zemunska 143, Meljine, Herceg Novi, Crna Gora,
mihajovanovic30@gmail.com*

APSTRAKT

Energija vjetra predstavlja jedan od najaktuelnijih obnovljivih izvora energije (OIE) ili tzv. alternativnih izvora za proizvodnju električne energije. Energija vjetra se pokazala kao najozbiljniji alternativni izvor energije sa više aspekata: zbog njene neizmjerne količine, neznatno veće cijene električne energije od cijene električne energije dobijene iz hidroelektrana, dobijanja čiste i obnovljive energije koja ne zagađuje i ne emituje CO₂ u okolinu. U radu su opisani principi rada vjetroturbina, tipovi njihovih konstrukcija, tipovi vjetrogeneratorskih sistema. Dat je pregled generatora električne energije pogodnih za rad vjetroturbina, šeme realizacije vjetroelektrana, načini priključenja na mrežu. Prikazana je zavisnost prečnika rotora od instalisane snage. Analizirani su projekti korišćenja energije vjetra u Crnoj Gori na bazi vjetrogeneratorskih sistema.

Cljučne riječi: vjetar, vjetrogeneratori, alternativni izvori, električna energija, mreža.

UVOD

Vjetroturbine, poznatije kao vjetrenjače koriste se već cio jedan vijek. Tokom 19. vijeka masovno su korišćene za pokretanje mlinova i pumpi za vodu. Proizvodnja električne energije iz vjetra počela se razvijati tridesetih godina prošlog veka. Proizvodnja električne energije iz vjetra u to vrijeme je bila neefikasna, nepouzdana i skupa. Razvojem velikih hidro, termo i nuklearnih elektrana, vjetroagregati, ekonomski i tehnički nekonkurentni, su pali u zaborav. Međutim, iscrpljivost rezervi fosilnih goriva i ekološki problemi izazvani njihovom eksploatacijom, doveli su početkom devedesetih godina prošlog veka do napretka u razvoju i primjeni vjetroagregata.

Vjetroturbina ne može transformisati cjelokupnu kinetičku energiju vjetra koji struji kroz površinu koju obuhvataju lopatice rotora, a koja se preko vratila i zupčanika prenosi na neki uređaj (turbinu). Koeficijent korisnog dejstva ovih mašina (tj. količnik energije proizvedene na obrtnom vratilu i energije koju vjetar utroši na to obrtanje) ne može preći Betz-ovu teoretsku granicu od 16/27 ili u procentima 59,29%. Upravo taj faktor definiše koeficijent snage kod vjetroturbina, odnosno efikasnost rotora vjetroturbine. Taj koeficijent je definisao Albert Betz, njemački inženjer, u svom fundamentalnom zakonu, tzv Betz-ovom zakonu, kojim se dokazuje da se može iskoristiti najviše 59% raspoloživog energetskeg potencijala vjetra. U realnim uslovima taj procenat je manji, oko 45% , pa se dolazi do zaključka da je dostupnost izvora vjetra ključni faktor u određivanju lokacije na kojoj će se postavljati vjetroturbine.

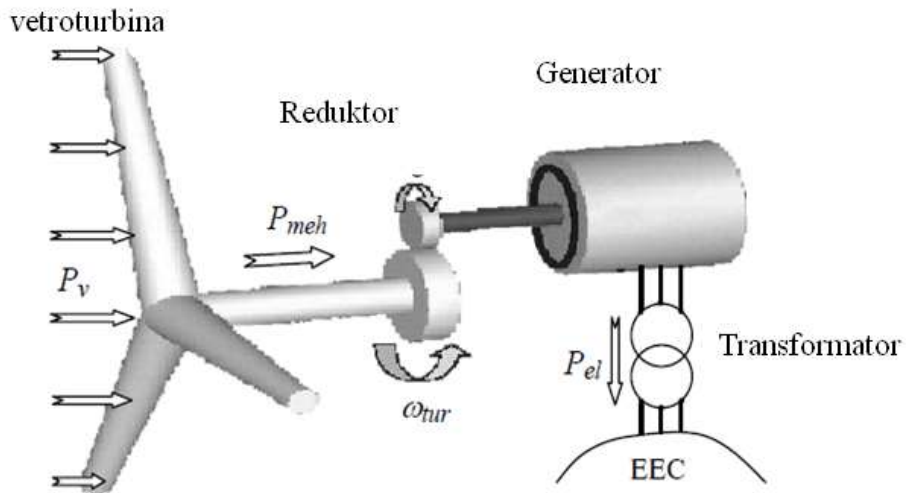
Energija vjetra predstavlja jedan od najaktuelnijih obnovljivih izvora energije (OIE) ili tzv. alternativnih izvora za proizvodnju električne energije. Tačnije, vjetar predstavlja horizontalno strujanje vazduha, koje nastaje kao posljedica razlika u vazдушnom pritisku, uzrokovano različitim zagrijavanjem. Energija vjetra se pokazala kao najozbiljniji alternativni izvor energije sa više aspekata:

- ona predstavlja neiscrpn resurs energije,
- razvojem novih tehnologija dolazi do pada cijena vjetroturbina i prateće opreme, tako da je cijena električne energije proizvedena vjetroturbinama niža od cijene električne energije dobijene fotonaponskim panelima i neznatno iznad cijene električne energije dobijene iz hidroelektrana (Lantz at all, 2012).

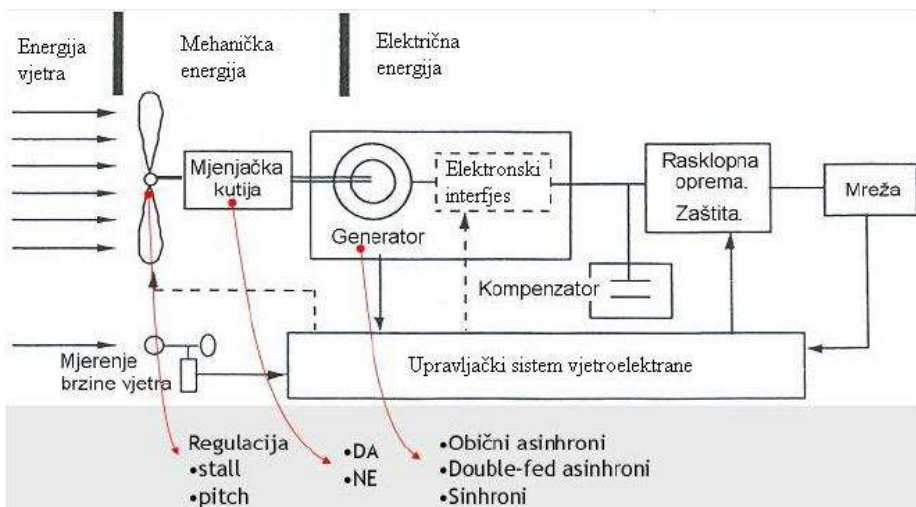
- nema troškova goriva,
- predstavlja ekološki potpuno čist način pretvaranja energije. Energija vjetra je čista i obnovljiva, ne zagađuje sredinu i ne emituje CO₂ u okolinu, pa time ne utiče na klimatske promjene, odn. na jačanje efekta staklene bašte.
- vjetroturbine koje vrše konverziju energije vjetra u električnu energiju zauzimaju relativno mali prostor. Sa druge strane negativni efekti se ogledaju u stvaranju buke, negativnom uticaju na neposredni životinjski svijet, pogotovo ptice.

PRINCIP KONVERZIJE ENERGIJE VJETRA U ELEKTRIČNU ENERGIJU

Vjetrogenerator pretvara kinetičku energiju vazduha koji se kreće (vjetra) pomoću lopatica rotora (elise), prenosnog mehanizma i elektrogeneratora u električnu energiju (Spera, 2009), (Schaffarczyk, 2014). Za vjetroenergetiku su od posebnog interesa površinski vjetrovi u prizemnom sloju atmosfere do visine od 200 m. U tom sloju se na pogodnim lokacijama postavljaju vjetroagregati koji vrše konverziju energije vjetra u električnu. Električna energija se isporučuje elektroenergetskom sistemu - EES-u ili izolovanim potrošačima. Principijska šema konverzije energije vjetra u električnu u vjetroagregatima, koji su priključeni na mrežu prikazana je na slici 1.



Slika 1. Principijska šema konverzije energije vjetra u električnu u vjetroagregatima

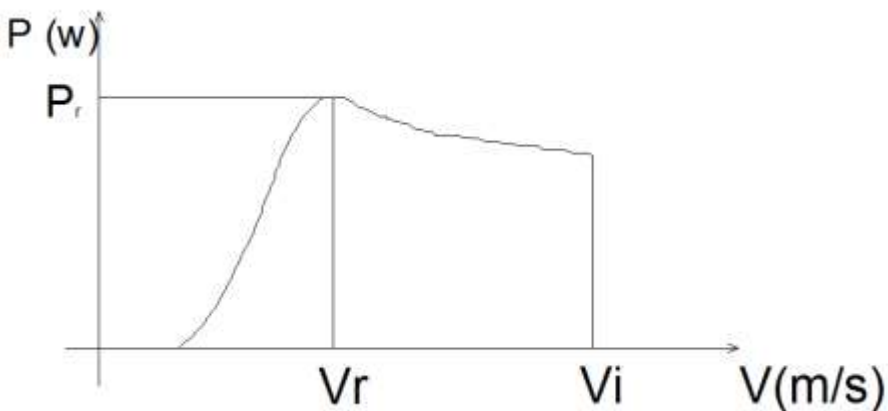


Slika 2. Uopštena šema vjetroelektrane

Kinetička energija vjetra se transformiše u mehaničku energiju pomoću vjetroturbine. Brzinu obrtanja vjetroturbine (koja iznosi nekoliko desetina obrtaja u minutu) obično je potrebno prilagoditi zahtijevanoj brzini generatora. Zato se koristi mehanički reduktor, koji se sve više supstituiše elektronskim sklopovima. Električni generator može biti sinhroni i asinhroni, pri čemu može raditi sa fiksnom ili promenljivom brzinom obrtanja. Generator se naponski prilagođava EES-u pomoću energetskog transformatora. Na slici 2. data je uopštena šema vjetroelektrane.

Sa slike 2. je vidljivo da postoje tri oblika energije: energija vjetra, mehanička energija i električna energija. Na slici 2. su prikazani glavni elementi koji se najčešće susreću u realizacijama vjetroelektrana. Energija vjetra se transformiše u mehaničku energiju pomoću vjetroturbine, sa jednom ili više elisa, najčešće sa tri elise. Pri tome treba voditi računa o nivou buke i vizuelnim efektima. Vjetroturbina je mehanički spregnuta sa električnim generatorom. Vrlo često spoj posjeduje mehaničku kutiju sa prenosnicima u kojoj se niska brzina vjetroturbine povećava tako da se na osovini generatora dobije veća brzina okretanja, što ima za cilj bolje iskorišćenje mogućnosti generatora. U nekim realizacijama kod kojih se koriste sinhroni višepolni generatori, mehanička kutija je izostavljena. Neke vjetroelektrane posjeduju sistem za upravljanje uglom zakretanja lopatica (elisa), čime se utiče na brzinu okretanja rotora. Sistemom za zakretanje lopatica, vjetroelektrana se prilagođava različitim brzinama vjetra što ima kao rezultat bolju efikasnost, tj. stepen iskorišćenja vjetroelektrane (Lysen, E.H., 1982).

Tipični oblik krive zavisnosti snage koju vjetroturbina predaje generator u funkciji brzine vjetra, dat je na Slici 3. Kod vjetroelektrane s promjenljivom brzinom obrtanja elisa, dio krive koji se nalazi između referentne brzine vjetra V_r i izlazne brzine V_i moguće je održavati jednakim referentnoj snazi vjetroturbine P . Na Slici 3. korišćene su sledeće oznake: P referentna snaga vjetroturbine (najveća snaga koju vjetroturbina može postići), V_r referentna brzina vjetra (brzina vjetra pri kojoj se postiže referentna snaga), V (m/s) ulazna brzina vjetra (brzina vjetra pri kojoj vjetroturbina započinje predaju snage) i V_i izlazna brzina vjetra (gornja granica brzine vjetra pri kojoj vjetroturbina ostaje u pogonu, iznad te brzine turbina se isključuje kako ne bi došlo do loma elise).



Slika 3. Kriva zavisnosti snage vjetroturbine od brzine vjetra (bez zakretanja elisa)

Vjetrogeneratori počinju da proizvode električnu energiju već pri brzini od $2.5 \frac{m}{s}$, a zaustavljaju se iz razloga bezbjednosti pri brzini $V_i = 25 \frac{m}{s}$. Ekonomska opravdanost izgradnje vjetrogeneratora je pri najmanjoj godišnjoj srednjoj brzini vjetra od $4.9 - 5.8 \frac{m}{s}$.

TIPOVI VJETROGENERATORA

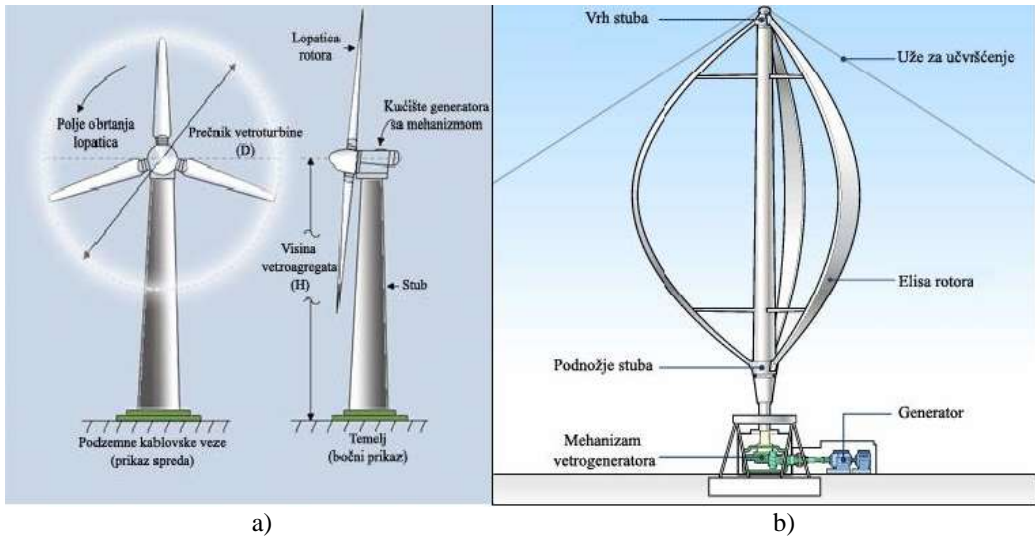
Vjetrogeneratori mogu imati različite konstrukcije, snage i frekvencije i uglavnom se podjela vrši na (Manwell, J.,F. et al., 2012):

Vjetrogeneratori prema orijentaciji osovine: sa vertikalnom osovinom i horizontalnom osovinom (slika 4).

Vjetrogeneratori prema veličini električne snage koju je moguće dobiti vjetrogeneratori se dele na: male (do 2kW), srednje (od 2-100 kW) i velike (preko 100 kW).

Takođe mogu biti:

- konstantne brzine konstantne frekvencije,
- promjenljive brzine konstantne frekvencije
- promjenljive brzine promjenljive frekvencije



Slika 4. Vjetrogeneratori sa: a) Vertikalnom osovinom b) Horizontalnom osovinom (Darrieus tip)

Osnovne prednosti vertikalnih vjetroturbin su:

- Generator i mjenjač se može postaviti na zemlju, toranj nije potreban
- Nije potreban obrtni mehanizam za skretanje rotora u odnosu na vjetar

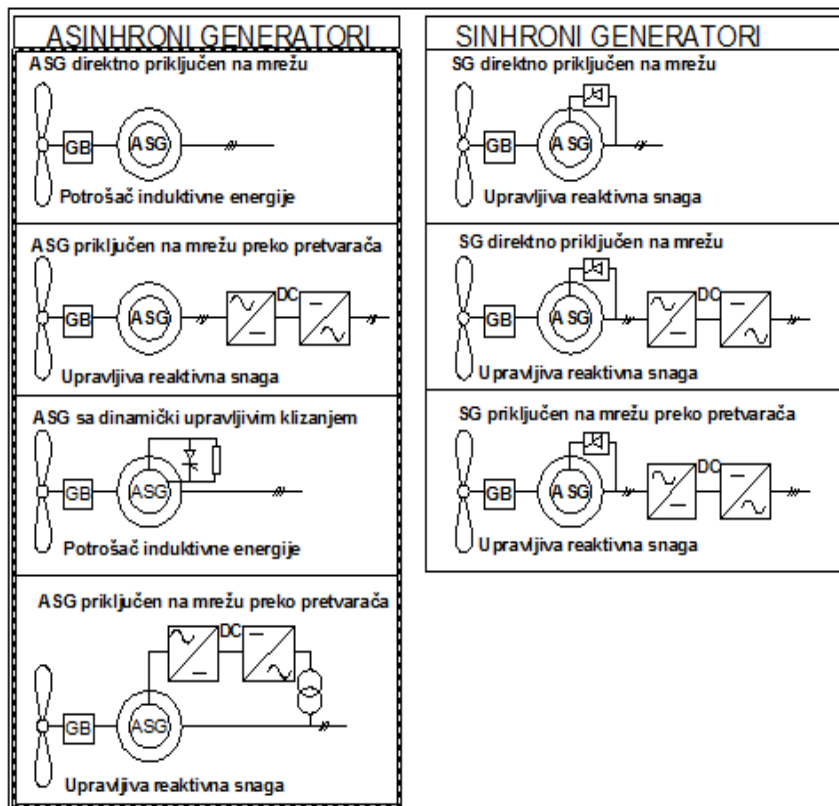
Osnovni nedostaci vertikalnih vjetroturbin su:

- Brzine vjetra su veoma male na donjem dijelu rotora,
- Ukupna efikasnost vertikalne vjetroturbin je manja od horizontalne,
- Mašina ne posjeduje karakteristiku samo-pokretanja (npr. za Darrieus mašinu je potrebna početna sila prije nego što krene).

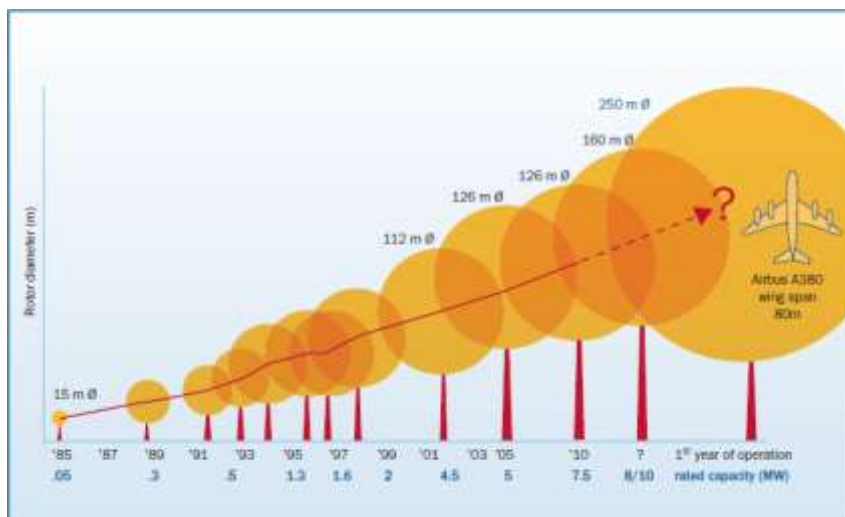
PRIMJENA VJETROGENERATORA

Savremene vjetroelektrane su uglavnom bazirane na asinhronim i sinhronim električnim generatorima (Slika 5.). Zahvaljujući razvoju energetske elektronike, tj. poluprovodničkih pretvarača, napon dobijen na krajevima generatora se pretvara u sinusoidalni napon frekvencije 50 Hz, čime je po frekvenciji prilagođen distributivnoj mreži (Chen, Z., et al.). Dalje se taj napon po naponskom nivou prilagođava preko transformatora i veže na elektroenergetsku mrežu. Na početku razvoja vjetrogeneratori su bili snage desetak kW, da bi se danas gradili za snage 10-20 MW pa i veće. Sa porastom snage rasla je i visina vjetrogeneratora (visine čak veće od 100 m) sa prečnikom rotorskih elisa većim od najvećeg putničkog aviona današnjice Airbus-a A380 (raspon krila 80m) (Fichaux, N., et al) (Slika 6.). Vjetrogeneratori se obično vežu u cjelinu, farmu vjetrogeneratora.

Nominalana snaga takve farme generatora se kreće u opsegu od nekoliko MW do nekoliko stotina MW pa i više. Uzima se da se po 1 km² mogu se postaviti vjetroagregati čija je ukupna snaga 10 do 20 MW. Farme vjetrogeneratora se dijele prema lokaciji na: farme na kopnu (onshore) i farme na moru (*offshore*). Na Slici 7. je prikazana farma vjetrogeneratora Mojave in Kern County, California. To je najveća farma vjetrogeneratora u USA, sa instalisanom snagom 1547 MW.



Slika 5. Šema realizacije vjetroelektrana, načini priključenja na mrežu

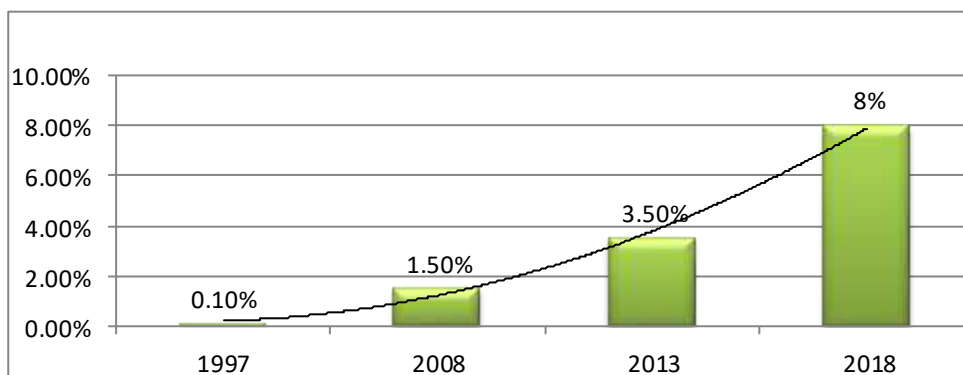


Slika 6. Zavisnost prečnika rotorskih elisa od instalisane snage

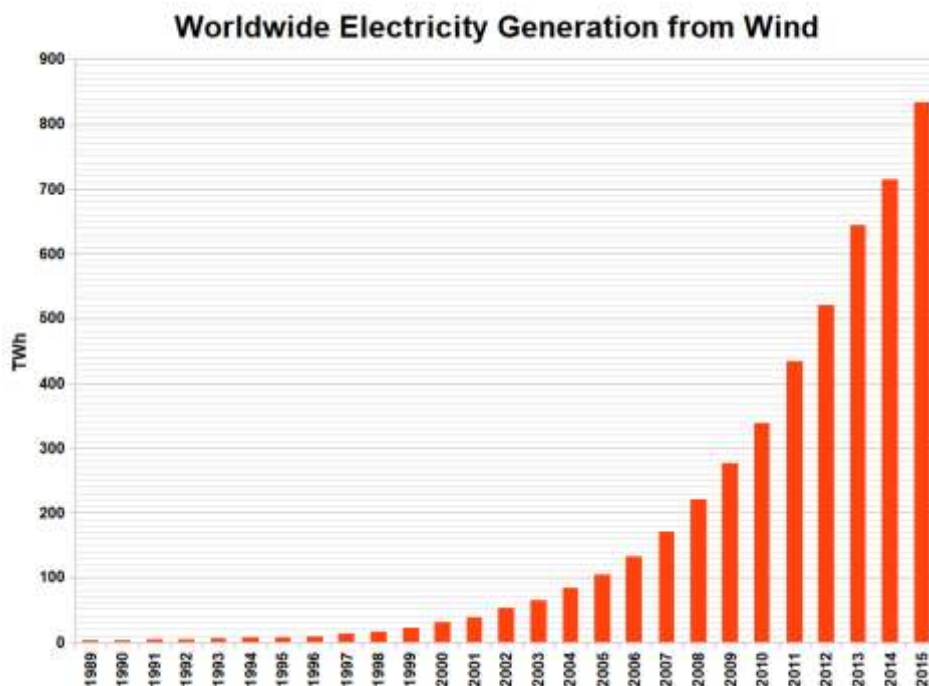


Slika 7. Farma vjetrogeneratora Mojave in Kern County, California
https://en.wikipedia.org/wiki/Alta_Wind_Energy_Center preuzeto 18.10.2019.

Eksponencijalni porast udijela električne energije dobijene od energije vjetra u globalnoj proizvodnji električne energije (Slika 8.), govori o sve većoj primjeni vjetrogeneratora uz sve povoljnije ekonomske i ekološke efekte. Tendencija porasta je takva da se očekuje da će udio električne energije dobijene od energije vjetra u ukupnoj proizvedenoj električnoj energiji biti iznad 10%.



Slika 8. Udio električne energije dobijene od energije vjetra u globalnoj proizvodnji električne energije



Slika 9. Generisanje električne snage (TWh) putem vjetrogeneratora na svjetskom nivou
https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power preuzeto 18.10.2019.

Eksponencijalni rast generisane električne snage (TWh) putem vjetrogeneratora na svjetskom nivou potvrđuje dijagram dat na Slici 9. Korišćenje energije vjetra u Crnoj Gori uglavnom je vezano za dva projekta vjetroelektrana: vjetroelektrana Krnovo i vjetroelektrana Možura. Vjetroelektrana Krnovo kod Nikšića, ima 26 vjetrogeneratora (vjetrenjača) instalisane snage 72 MW i koja je puštena u rad prije dvije godine. Planirana godišnja proizvodnja električne enrgije je od 200 do 230 GWh. Ove godine će VE “Krnovo proizvesti između 40 i 50 GWh. Vjetroelektrana Možura kod Ulcinja, ima 26 vjetrogeneratora (vjetrenjača) instalisane snage 72 MW. Završen je probni rad vjetroelektrane, a nadležni u toj opštini očekuju da bi ona u septembru trebalo da počne proizvodnju struje za tržište.

Postoji niz drugih mini vjetroturbina koje su instalisane na različitim lokacijama u Crnoj Gori za npr. napajanje repetitorskih stanica, ruralnih domaćinstava, itd. Međutim, generalno za Crnu Goru važi da je bogata resursima vjetroenergije, ali da su rijetka područja stalnih vjetrova koja obezbjeđuju kontinuirano i stabilno napajanje električnom energijom iz vjetrogeneratora.

ZAKLUČCI

Primjena i razvoj alternativnih obnovljivih izvora energije na bazi vjetroelektrana ima najveći rast u odnosu na ostale alternativne izvore energije. Tu primjenu karakteriše ekspanencijalni rast kako u ukupnoj proizvedenoj električnoj energiji, tako i u udjelu u ukupnoj proizvodnji električne energije iz svih ostalih izvora energije. Trošak proizvodnje po kWh ovako proizvedene električne energije rapidno opada, tako da je cijena proizvedene električne energije iz vjetroelektrana kompetitivna sa cijenom električne energije dobijene iz hidroelektrana. S obzirom na tu činjenicu, kao i na činjenicu da vjetroelektrane ne zagađuju sredinu i ne utiče na klimatske promjene, perspektive daljeg razvoja vjetroelektrana su izuzetno povoljne.

Mogućnost primjene pojedinačnih vjetroelektrana u elektrifikaciji seoskih, planinskih područja i područja koja nijesu obuhvaćena elektroenergetskim sistemom, čini ovaj način proizvodnje

električne energije posebno atraktivnim. Dalji razvoj se očekuje u oblastima još boljeg dizajna vjetrogeneratora i daljom integracijom elektronskih sklopova i i elektronskih energetskih pretvarača u vjetrogeneratorima.

Negativni uticaji vetroelektrana – efekat buke, uticaj na biljni i životinjski svijet, ptice u neposrednom okruženju postoji, ali je zanemarljiv u odnosu na pozitivne efekte u odnosu na životnu sredinu.

Radi efikasnog korišćenja vjetrogeneratora važno je da se grade na lokacijama sa stalnim vjetrovima, kako bi bili pouzdani, kontinuirani i stabilni proizvođači električne energije.

LITERATURA

- Chen, Z., Spooner, E. (2001). *Grid power Quality with Variable Speed Wind Turbines*, IEEE Transaction on Energy Conversion, Volume 16, June, 2001.
- Fichaux, N., et all (March 2011). *Up Wind – Design limits and solutions for very large wind turbines*, EWEA.
- Lantz, E., Hand, M. and Wiser, R. (13–17 May 2012) *The Past and Future Cost of Wind Energy*, National Renewable Energy Laboratory conference paper no. 6A20-54526, p. 4
- Lysen, E.H. (1982). *Introduction to wind energy, basic and advanced introduction to wind energy*, SWD, Netherlands.
- Manwell, J.,F., McGowan, J., G., Roberts, A.,L. (2012). *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, John Wiley & Sons, 2nd edition.
- Schaffarczyk, A., (ed.). (2014). *Understanding wind power technology*, John Wiley & Sons.
- Spera, A., D. (2009). *Wind Turbine Tehnology, fundamental concepts in wind turbine engineering*, ASME Press, Second edition.

WIND GENERATORS AS ALTERNATIVE SOURCES OF ENERGY

Mihailo Jovanović

*University Adriatic, Faculty of management, Zemunska 143, Meljine, Herceg Novi, Montenegro,
mihajovanovic30@gmail.com*

ABSTRACT

Wind energy is one of the most actual renewable energy sources (RES), or so-called alternative sources for electricity production. Wind energy has proven to be the most serious alternative source of energy from several aspects: due to its immense amount, a slightly higher electricity price than the price of electricity obtained from hydroelectric power plants, obtaining clean and renewable energy that does not pollute or emit CO_2 into the environment. This paper describes the operating principles of wind turbines, types of their structures, types of wind turbine systems. An overview of electricity generators suitable for the operation of wind turbines, scheme of realization of wind power plants, ways of connection to the grid is given. The dependence of the rotor diameter on the installed power is shown. Wind energy projects in Montenegro based on wind generators have been analysed.

Key words: wind, wind generators, alternative sources, electricity, grid