

# Vjetroelektrane u Hrvatskoj

---

**Lint, Slobodan**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:854820>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-27**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
SPECIJALISTIČKI STUDIJ STROJARSTVA**

**VJETROELEKTRANE U HRVATSKOJ**

**ZAVRŠNI RAD**

**Mentor:**  
**dr. sc. Ljubomir Majdandžić**

**Student:**  
**Slobodan Linta**

**U Karlovcu, 2015.**



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU STROJARSKI ODJEL

Stručni studij strojarstva

Usmjerenje:

Karlovac, 04.03.2015.

### ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student:

**Slobodan Linta**

Matični broj: 0111411026

Naslov:

**RAZVOJ VJETROELEKTRANA U HRVATSKOJ**

Opis zadatka:

Radom je potrebno opisati razvoj vjetroelektrana kroz povijest. Rad mora obuhvatiti razvoj vjetroelektrana u svijetu, Europi i Hrvatskoj.

Treba navesti vrste vjetroelektrana, princip rada i dijelove vjetroelektrane te opisati koji generatori električne energije su prikladni za rad vjetroturbina.

Osobito je potrebno analizirati stanje iskorištenja energije vjetra u Hrvatskoj i perspektive korištenja energije vjetra u Hrvatskoj.

Na kraju treba dati opći utjecaj i doprinos korištenja energije vjetra te koje su prednosti i nedostaci vjetroelektrana.

Zadatak izraditi i opremiti sukladno Pravilniku o diplomskom ispitu VUK-a.

Zadatak zadan:  
04.03.2015.

Rok predaje rada:  
23.06.2015.

Predviđeni datum obrane:  
30.06.2015.

Mentor:

Prof. dr.sc. Ljubomir Majdandžić

Predsjednik Ispitnog  
povjerenstva:

Marijan Brozović, dipl.ing.

## **Sažetak**

Ovim radom je opisan razvoj vjetroelektrana kroz povijest. Obuhvaćen je razvoj vjetroelektrana u svijetu, Europi i Hrvatskoj. Navedene su vrste vjetroelektrana, princip rada i dijelovi vjetroelektrane. Opisani su generatori električne energije koji su prikladni za rad vjetroturbina. Analizirano je stanje iskorištenja energije vjetra u Hrvatskoj i perspektive korištenja energije vjetra u Hrvatskoj. Dani su opći utjecaji i doprinosi korištenja energije vjetra te koje su prednosti i nedostaci vjetroelektrana. Stoga, ovaj rad razmatra mogućnost povećanja jedne od vrsta obnovljivih izvora energije uz očuvanje ekološkog sustava Hrvatske.

## **Summary**

This study describes the development of wind power plants throughout history. It includes the development of wind power plants in the world, Europe and Croatia. The types of wind power plants are listed, work principles and parts of the wind power plant as well. Generators of electricity that are suitable for the operation of wind turbines are described. This work also provides an analysis of the state of wind energy utilization and prospects of using wind power in Croatia. It describes general influences and contributions of wind energy use and also the advantages and disadvantages of wind power plants using. Therefore, this paper discusses the possibility of an increase in one sector of renewable energy sources while preserving the ecological system of Croatia.

## SADRŽAJ:

1.Uvod u energiju vjetra.....	5
1.1 Razvoj vjetroelektrana u Istočnoj Europi i bivšem SSSR-u.....	6
1.2 Potencijal, regulativa i budućnost regije.....	6
1.2 Vjetroagregati u Hrvatskoj .....	8
2.Razvoj vjetroelektrana kroz povijest.....	9
2.1 Antička povijest i Srednji vijek .....	9
2.2 19. stoljeće.....	11
2.3 20. stoljeće.....	12
2.4 Moderna industrija vjetra.....	15
3. Metodologija .....	17
3.1. Meteorološki podaci .....	18
4.Značaj energije vjetra u Hrvatskoj .....	20
5. Vjetroelektrane u EU.....	23
6.Generatori električne energije prikladni za rad vjetroturbina .....	30
6.1 Sinkroni generator .....	30
6.2 Asinkroni generator .....	37
6.3 Spajanje elektrane u sustav .....	41
7.Vrste vjetroelektrana .....	43
Priobalne vjetroelektrane .....	43
Plutajuće vjetroelektrane.....	44
Visinske vjetroelektrane.....	45
8.Princip rada i dijelovi vjetroelektrane .....	46
9.Tržište energije vjetra i stanje u Hrvatskoj.....	53
9.1Tržište energije vjetra .....	53
9.2 Stanje iskorištenja energije vjetra u Hrvatskoj .....	55
10.Utjecaj vjetroelektrana na okoliš.....	59
11.Prednosti i nedostaci vjetroelektrana .....	63
Prednosti .....	63
Nedostaci .....	64
12.Zaključak:.....	65
13.Literatura: .....	66

## **Popis slika:**

Slika 1. Pometno brdo

*Slika 2.. Vjetroelektrana Ravne 1 na Pagu.*

*Slika 3.. Heronova vjetrenjača koja je pokretala orgulje.*

*Slika 4. Darrieusova turbina.*

*Slika 5. Metodologija WasP*

*Slika 6. Proizvodnja iz vjetroelektrana u Hrvatskoj do 2020 i strategija energetskog razvoja RH do 2020. sa pogledom prema 2030.*

*Slika 7. Ravne 1, prva vjetroelektrana u Hrvatskoj*

*Slika 8: Instalirana snaga po zemljama Europe*

*Slika 9: Instalacija po izvoru tokom prošle godine*

*Slika 10: Instalirana snaga po izvoru energije od 2000. do 2014.*

*Slika 11: Udio pojedinog izvora energije u instaliranoj snazi u 2000. i 2014.*

*Slika 12: Instalirana snaga vjetroelektrana po državama EU*

*Slika 13. Sinkroni generator*

*Slika 14. Unutrašnjost stupa vjetrogeneratora*

*Slika 15. Izrada temelja za vjetrogenerator*

*Slika 16. Vjetroelektrana na Pagu*

*Slika 17. Vjetrogenerator*

*Slika 18. Kran podiže i postavlja stup na već izrađeni temelj*

*Slika 19. Slaganje stupa*

*Slika 20. Postavljanje godnole*

*Slika 21. Karakteristika momenta asinkronog stroja za jedan smjer vrtnje polja*

*Slika 22. Priključenje na mrežu*

*Slika 23. Priobalna vjetroelektrana Lillgrund*

*Slika 24. Prvi veći plutajući vjetroatregat Hywind*

*Slika 25. Osnovni princip rada vjetroatregata*

*Sliak 26. Dijelovi vjetroelektrane*

*Slika 27. Ukupna instalirana snaga vjetroelektrana u svijetu 1993-2006g.*

*Slika 28. Ukupna instalirana snaga vjetroelektrana u EU 2006g.*

*Slika 29. Vjetroelektrana Pag*

*Sliak 30. Vjetroelektrana Trtar*

*Sliak 31. Stoka ignorira vjetrovne turbine*

## *Izjava*

*Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno služeći se stečenim znanjem i dostupnom literaturom.*

*Zahvaljujem mentoru dr.sc. Ljubomir Majdandžić, dipl.ing  
na podršci i korisnim savjetima.*



## 1.Uvod u energiju vjetra

Iako stope rast kompjuterske industrije čine klasične industrije zastarjelim, danas postoji jedna suvremena strojogradnja čija je stopa rasta kroz posljednja tridesetljeća usporediv s informatičkim sektorom: to su vjetroelektrane.

Povijest vjetroelektrana i korištenja energije vjetra seže u doba kada su ljudi prvi puta postavili jedra na brodove i time si omogućili daleka putovanja i isto tako odlučili svoje živote povjeriti u ruke tog nepredvidljivog obnovljivog izvora energije.

Može se reći da je na neki način vjetar bio taj koji je pokrenuo eru istraživanja i omogućio prijenos robe i dobara u neslućenim količinama na velike udaljenosti.

Dugo vremena nakon prvih jedara uslijedilo je korištenje energije vjetra za obavljanje mehaničkog rada u mlinovima i za pokretanje vodenih pumpi (posebice u Nizozemskoj, na srednjem zapadu SAD-a i u zabačenim dijelovima Australije).

U modernim vremenima s dolaskom i izumom električne energije počinju se upotrebljavati u svrhu proizvodnje iste, no tek u zadnja dva desetljeća zbog sve većeg zagađenja okoliša počinju svoj značajan uzlet, da bi danas to bio jedan od glavnih izvora energije za blisku budućnost.

## 1.1 Razvoj vjetroelektrana u Istočnoj Europi i bivšem SSSR-u

Prema IEA na području Istočne Europe (uz dodatak Baltičkih zemalja, svih zemalja bivšeg Sovjetskog Saveza, te Cipar i Maltu) je u kolovozu ove godine bilo 30 projekata vjetroelektrana u razvoju kao dio mehanizma zajedničke realizacije (Annex 1 Kyoto Protokola) s ukupno instaliranom snagom od 1.280 MW. Najveći takav projekt je u Ukrajini i ima 300 MW.

Pošto je u istraživanju uzet veliki broj država, koje imaju potpuno različitu veličinu, broj stanovnika, ekonomiju i stupanj razvoja pregled potencijala u ovom članku će se odraditi po državama kako bi se mogao steći dojam do kojeg stupnja razvoja je stigla koja država i kakav je njen budući potencijal.

## 1.2 Potencijal, regulativa i budućnost regije

Cijelo područje Euroazije ima dobre potencijale za proizvodnju električne energije iz vjetra, ali stupanj razvoja varira od minimalnog odnosno nikakvog, pa do napretka koji bi se mogao mjeriti i sa državama Zapadne Europe. Nažalost još nisu napravljene osnovne procjene potencijala za neke zemlje bivšeg SSSR-a, koje su smještene u centralnoj Aziji. Trenutačno su glavni pokretači razvoja na ovom ogromnom području zemlje koje su ušle u Europsku Uniju, pošto one imaju obveze Europske Unije za proizvodnjom određene količine električne energije iz obnovljivih izvora do 2020. godine. Tu se radi o Sloveniji, Litvi, Latviji, Estoniji, Rumunjskoj i Bugarskoj.

Postoji još jedan poticaj za sve zemlje potpisnice Kyoto protokola koji se zove mehanizam zajedničke realizacije. Prema Annexu 1 tog protokola svaka industrijalizirana zemlja može ulagati u projekte smanjivanja emisija štetnih plinova u nekoj drugoj državi kao alternativa smanjivanju svojih emisija štetnih plinova. Većina takvih projekata se fokusira na dva najveća tržišta, koja još nisu u Europskoj Uniji, Ukrajini i Rusiji.

Svjetski pregled energije vjetra (GWEO) i Međunarodna agencija za energiju (IEA) imaju scenarije za razvoj vjetroelektrana na ovom području. Prema GWEO teško je procijeniti, pogotovo u kratkom i srednjem roku, kako će se razvijati obnovljivi izvori, odnosno vjetroelektrane.

Uočljivi napredak će se moći postići samo jakom političkom voljom i različitim poticajima za razvoj tehnologija vjetroelektrana. Ako takve volje ne bude, tržište će uglavnom stagnirati odnosno eventualno blago rasti.

Prema IEA stagnacija odnosno minimalni rast je referentni scenarij prema kojem će sa 215 MW godišnjih instaliranih vjetroelektrana u 2009. godini, 2015. biti 500 MW, a 2030. 750 MW. Prema tom scenariju bi do 2030. bilo instalirano 13 GW vjetroelektrana.

To bi bio stvarno porazan rezultat s obzirom na potencijal cijele regije. Prosječni scenarij je puno manje crn, i prema njemu bi se godišnje instaliralo 2 GW 2020. i 8 GW 2030. godine. Ukupno bi 2020. bilo instalirano 12 GW, a 2030. 71 GW.

Napredni scenarij je još malo bolji i on procjenjuje 15,8 instaliranih GW do 2020., odnosno 4 GW u 2020. i 10 GW godišnje do 2030. Prema tom naprednome scenariju bi do 2030. više od 145.000 ljudi radilo u sektoru vjetra, dok bi u prosječnome scenariju 2030. bilo 121.500 radnih mjesta, a u stagnacijskom samo 8.500 ljudi zaposlenih u tom sektoru.

## 1.2 Vjetroagregati u Hrvatskoj

U Hrvatskoj je Končar još 1988. postavio prvi vjetroagregat u Uljaniku, koji se i danas tamo nalazi, no onda je razvoj istoga obustavljen. Danas Končar ima postavljen prvi prototip svog modernog vjetroagregata na lokaciji Pometeno brdo u blizini Splita i pokušava uhvatiti korak s ostalim poznatim proizvođačima vjetroagregata.



*Slika 1. Pometno brdo*

U Hrvatskoj je trenutno 12 vjetroelektrana koje su u normalnom radu (lipanj 2014.) i koje isporučuju električnu energiju u elektroenergetski sustav Hrvatske. Instalirana snaga svih vjetroelektrana je 280 MW, u radu je 148 vjetroagregata koji isporučuju godišnje oko 810 GWh električne struje.

Za usporedbu Termoelektrana Plomin ima snagu 330 MW i isporučuje godišnje oko 2173 GWh električne struje.



*Slika 2. Vjetroelektrana Ravne 1 na Pagu.*

## 2. Razvoj vjetroelektrana kroz povijest

### 2.1 Antička povijest i Srednji vijek

Jedrenjaci kao prvi oblik korištenja energije vjetra postoje već najmanje 5500 godina i od tih davnih vremena do danas rade na isti način, koristeći čisti i svudje dostupan izvor energije. Isto tako jedrenjaci su najvažniji oblik vodnog transporta u povijesti čovječanstva s izuzetkom modernih vremena.

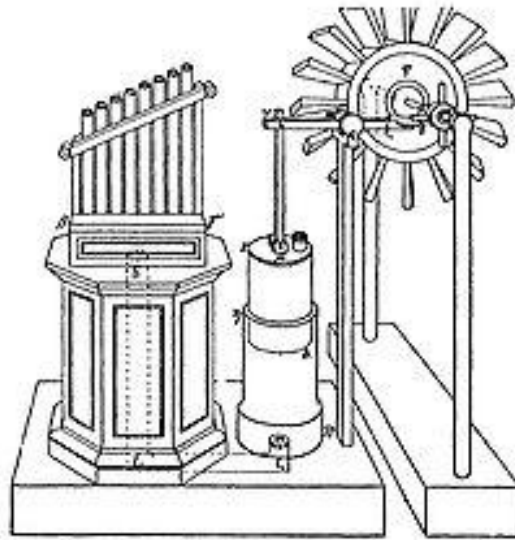
Najraniji poznati slučaj korištenja energije vjetra za pokretanje stroja putem rotora je Heronova vjetrenjača koja je pokretala orgulje, iz 1. stoljeća.

Prve vjetrenjače za praktičnu primjenu bile su u upotrebi u pokrajini između Afganistana i Irana, najranije u 9. stoljeću, a moguće već i u 7. stoljeću. To su bile vjetrenjače s vertikalnom osi vrtnje i pravokutnim lopaticama s jedrima, a upotrebljavale su se za mljevenje i pumpanje vode.

Njihova uporaba je bila raširena u srednjoj Aziji i na Bliskom istoku. Vjetrenjače s horizontalnom osi vrtnje su ušle u širu primjenu u sjeverozapadnoj Europi početkom 1180-tih godina i bile su korištene za mljevenje. Mnoge stare nizozemske vjetrenjače i danas postoje. U to doba vjetrenjače su se također koristile i za pumpanje morske vode za dobivanje soli u Kini i na Siciliji.

Najstariji sigurni spomen jedne vjetrenjače s horizontalnom osi datira iz 1185., u Weedleyu, Yorkshire, Velika Britanija. Europske vjetrenjače s horizontalnom osi su konstrukcijski bile značajno različite od afganistanskih i iranskih vjetrenjača s vertikalnom osi vrtnje, te se općenito smatra da su to dva potpuno odvojena i neovisna otkrića.

U srednjovjekovnoj Velikoj Britaniji su lokacije vodotoka i samim time iskorištavanje energije vode obično bile rezervirane za plemstvo, pa je time energija vjetra bila važan izvor energije za niže staleže. Do 14. stoljeća nizozemske vjetrenjače su se koristile za isušivanje (pumpanje vode) delte Rajne (polderi).



*Slika 3. Heronova vjetrenjača koja je pokretala orgulje.*

## 2.2 19. stoljeće

Do 1900. u Danskoj je bilo ugrađeno oko 2500 vjetrenjača za obavljanje mehaničkog rada (vodne pumpe i mlinovi), koje su po nekim procjenama imale ukupnu snagu od 30 MW.

Na srednjem zapadu SAD-a je između 1850. i 1900. na farmama ugrađen ogroman broj malih vjetrenjača (oko 6 milijuna), koje su se koristile za pokretanje pumpi za navodnjavanje.

Prvu vjetrenjaču za proizvodnju električne energije (tj. prvi vjetroagregat) je izradio prof. James Blyth u Škotskoj u srpnju 1887., s Anderson's College-a, Glasgow.

Njegov vjetroagregat visine 10 m s platnenim jedrima je postavljen u vrtu njegove vikendice i punio je akumulatore koji su davali energiju za osvjetljenje njegove kolibe. Time je to postala prva kuća na svijetu koja se napajala električnom energijom proizvedenom iz energije vjetra.

1887. u Clevelandu (SAD) je Charles Brush dizajnirao i konstruirao veći i bolji vjetroagregat, koji je izradila njegova inženjerska tvrtka, te ga postavila kod njegove kuće i koji je radio sve do 1900. Njegov vjetroagregat imao je rotor promjera 17 metara i bio je postavljen na 18 m visoki stup, no unatoč veličini razvijao je maksimalnu snagu od samo 12 kW, a okretao se relativno sporo i imao je 144 lopatice!

Priključeni generator je punio akumulatorske baterije, te pokretao do 100 žarulja ili neki od strojeva u Brushovom laboratoriju. Vjetroagregat je napušten 1908., nakon što je 1900. proradila centralna elektrana za proizvodnju električne energije u Clevelandu.

1890-tih godina danski znanstvenik Poul la Cour je konstruirao vjetroagregat za proizvodnju električne energije, koji se onda koristio za proizvodnju vodika za izvođenje pokusa u srednjoj školi Askov. Njegov vjetroagregat iz 1896. je poslije postao lokalna elektrana sela Askov.

### **2.3 20. stoljeće**

Od početka 20. stoljeća do 1970-tih razvoj vjetroagregata i industrije vjetra je bio ograničen i usporen uslijed dostupnosti i niske cijene drugih izvora energije, posebice nafte i ugljena.

U Danskoj je energija vjetra bila bitan dio decentralizirane elektrifikacije u prvoj četvrtini 20. stoljeća, dobrim dijelom i zbog vjetroagregata u Askovu.



Do 1908. bilo je postavljeno 72 vjetroagregata snage 5 do 25 kW. Najveći od njih su imali stup visine 24 m i promjer lopatica 23 m. 1957. Johannes Juul je postavio vjetroagregat s promjerom rotora 24 m u Gedseru koji je bio u pogonu 10 godina. Bio je to vjetroagregat s tri lopatice, horizontalnom osi vrtnje, okrenut u smjeru vjetra i s pasivnom regulacijom snage; sličan onima koje i danas koristimo u komercijalnim vjetroelektranama.

Takvi vjetroagregati su usavršeni, te im je povećavan stupanj iskorištenja uslijed serijske proizvodnje, a kao praktična posljedica toga danas svi komercijalni vjetroagregati slične tom danskom tipu vjetroagregata.

1927. u SAD-u je osnovana tvrtka Jacobs Wind koja je proizvodila vjetroagregate za korištenje na farmama. Oni su pretežno bili korišteni na farmama koje su bile udaljene od najbliže elektroenergetske mreže za punjenje akumulatora i osvjetljenje. U 30 godina proizvedeno ih je oko 30 000 i bili su korišteni i u zabačenim dijelovima Afrike, pa čak i na Antarktici.

Ovakav način korištenja vjetra prepoznali su i mnogi drugi proizvođači opreme, a snage tih malih vjetroagregata su se kretale od nekoliko stotina W do nekoliko kW.

1931. izumljen je Darriusov vjetroagregat sa vertikalnom osi vrtnje koji je imao potpuno drugačija dizajnerska rješenja od klasičnih vjetroagregata s horizontalnom osi vrtnje. Vertikalna orijentacija omogućava korištenje vjetra iz svih smjerova bez potrebe za sustavom zakretanja, dok se teška oprema generatora i mjenjačke kutije može postaviti na nivo zemlje umjesto na vrh tornja vjetroagregata.

Prethodnik modernih velikih vjetroagregata s horizontalnom osi koji se priključuju na elektroenergetsku mrežu bio je vjetroagregat WIME-3D, koji je radio od 1931. do 1942. u Balaklavi (blizu Jalte), SSSR.

To je bio vjetroagregat snage 100 kW, sa visinom stupa od 30 m, koji je bio priključen na 6,3 kV distributivnu mrežu. Promjer rotora sa tri lopatice bio je također 30 m, a stup je bio čelični rešetkasti. Prema izvještajima godišnji faktor opterećenja mu je bio 32%, što se uklapa i u brojke sa današnjih vjetroagregata.

1941. na električnu mrežu je spojen prvi svjetski vjetroagregat snage preko 1 MW, koji je bio postavljen na planini poznatoj kao Grandpa's Knob u mjestu Castleton u SAD-u.

Bio je to Smith-Putnam vjetroagregat snage 1,25 MW koji je radio 1100 sati prije puknuća lopatice koja nije bila dovoljno ojačana na poznatoj slaboj točki zbog nedostatka materijala. Prvi sljedeći vjetroagregati slične snage i dimenzija postavljeni su tek nakon 40 godina, tako da je to bio pravi pionirski pothvat.



*Slika 4. Darrieusova turbina.*

## 2.4 Moderna industrija vjetra

Moderno iskorištavanje energije vjetra, kakvo poznajemo i danas, je počelo u 1970-tim godinama kao odgovor na svjetsku naftnu krizu 1973.

Od 1973. do 1986., tržište vjetroagregata se razvilo od malih pojedinačnih vjetroagregata za upotrebu na farmama snaga 1 do 25 kW sve do polja međusobno povezanih vjetroagregata (vjetroelektrane) koji su bili srednjih snaga od 50 pa sve do 600 kW.

Vjetroelektrane izgrađene u Kaliforniji su predstavljale veliku većinu ugrađene snage svjetskih vjetroagregata sve do ranih 1990-tih. Na vrhuncu razvoja industrije vjetra u Kaliforniji je u 1980-tima bilo instalirano 17 000 vjetroagregata, ukupne snage 1 700 MW, koji su proizvodili preko 3 TWh električne energije godišnje, što je bilo dovoljno za napajanje grada od 3 000 000 stanovnika.

Taj nagli razvoj industrije vjetra u Kaliforniji bila je neočekivani pojava, koja se desila uslijed povoljne ekonomske i zakonske klime.

No ta pojava je ujedno pokrenula industriju vjetra. Američki proizvođači su već u to vrijeme nastupili sa vjetroagregatima velikih dimenzija i snaga, s različitim dizajnerskim rješenjima, no brzopletost i nedovoljno ulaganje u razvoj tih rješenja, rezultiralo je cijelim nizom katastrofalnih, nesigurnih i neprimjenjivih vjetroagregata.

S druge strane, danske tvrtke s klasičnim danskim tipom vjetroagregata, koji je i danas najrašireniji diljem svijeta, su imale gotov, provjeren i certificirani proizvod od strane Risoe instituta (koji je i danas najpriznatiji svjetski institut za energiju vjetra).

Naknadno se ustanovilo da su danski vjetroagregati bili loše rješenje za visoke brzine vjetra u Kaliforniji.

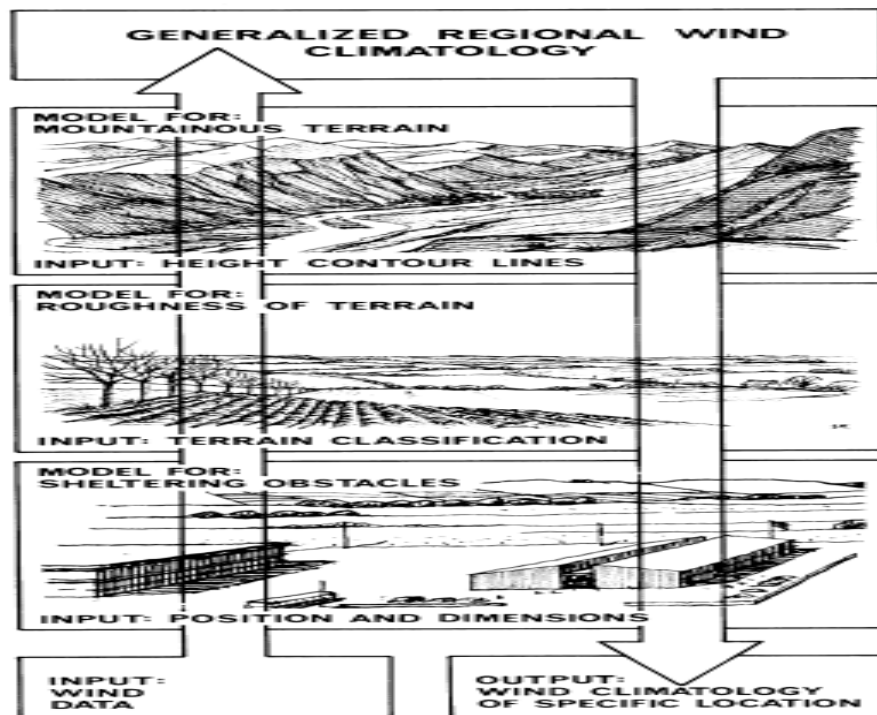
No kotačić je pokrenut i razvoj energije vjetra je uzeo maha, te se do kraja 20. stoljeća samo ubrzavao, s tim da se težište proizvodnje i ugradnje nove snage preselio u sjevernu Europu, koju se i danas smatra kolijevkom modernih vjetroagregata i industrije vjetra.

U 21. stoljeću, tj. u zadnjih 10 godina, razvoj energije vjetra poprima neslućene razmjere, snaga pojedinačnih vjetroagregata se u manje od 20 godina povećala za 10 puta, a dimenzije su narasle više od dva puta.

Danas se slobodno može reći da vjetar kao izvor energije krupnim koracima postaje jedan od uobičajenih izvora energije, te će u skorijoj budućnosti po svim kriterijima moći stati uz bok i čak i nadmašiti klasične centralizirane izvore energije koje smo većinom koristili do sada.

Isto tako instalirana snaga u vjetroelektranama u svijetu svake godine bilježe ogroman rast u prvih 10 godina 21. stoljeća, a broj zaposlenih u toj industriji u Europskoj uniji se bliži brojcima od 200 000 ljudi.

### 3. Metodologija



Slika 5. Metodologija WAsP

WAsP ili *Wind Atlas Analysis and Application Program* je softverski program koji se koristi za predviđanje atlasa vjetra i proizvodnje električne energije iz vjetroturbina. Predviđanja se baziraju na mjerenjima podataka o vjetru na lokaciji turbina ili na podacima dobivenim od meteoroloških stanica koje se nalaze negdje u blizini lokacije vjetroturbina. U obzir se uzimaju još i utjecaji terena na brzinu i smjer vjetra poput topografije terena, hrapavosti površine i prepreka.

Program u prvom koraku računa utjecaj terena na smjer i brzinu vjetra i tako stvara generalizirani atlas vjetra za to područje.

Nakon toga se provodi obrnuti proces u kojemu WAsP iz atlasa vjetra uzimajući u obzir topografiju, hrapavost terena i prepreke daje podatke za brzinu i smjer vjetra na lokaciji turbine iako su se mjerenja u stvarnosti odvijala nekoliko kilometara dalje.

Taj postupak proračuna prikazan je na slici 4. Iz ovog kratkog uvoda možemo zaključiti da postoji nekoliko parametara koji su jako bitni kod predviđanja proizvodnje električne energije iz vjetroelektrana pa ćemo nešto reći o njima tj. o tome kako se oni unose u WAsP.

### 3.1. Meteorološki podaci

U WAsP se unose meteorološki podaci u obliku *Observed wind climate* (OWC) podataka koji nam daje podatke o brzini vjetra i smjeru vjetra na lokaciji meteorološke stanice tj. na poziciji na kojoj se nalazi mjerni uređaj.

Da bi se došlo do tog tipa podataka potrebno je prikupiti meteorološke podatke u trajanju od najmanje jedne godine (bilo bi bolje kad bi se prikupili podaci za više godina) i te podatke obraditi tako da se ih se može iskoristiti za stvaranje OWC podataka. Zbog toga kvaliteta podataka mjerenja direktno utječe na kvalitetu predviđanja atlasa vjetra i proizvodnje električne energije u WAsP.

Ukratko, mjerenja koja se provode moraju biti pouzdana, reprezentativna i najviše od svega točna.

Ako je moguće mjerenja bi se trebala provoditi na osnovu preliminarne analize lokacije vjetroparka provedene u WAsP. To bi osiguralo da podaci koji su prikupljeni mjerenjem budu s reprezentativne lokacije, da pozicija mjernog stupa na kojem se nalazi anemometar pokriva sve bitne raspone visine, hrapavosti površine, strmosti terena te izloženosti bilo kakvim drugim utjecajima tj. lokacija mjesta mjerenja mora biti što sličnija lokaciji na kojoj će se postavljati turbine da bi se predviđanjem dobili što točniji rezultati.

Također bi bilo poželjno da se prije postavljanja mjernog stupa za mjerenja napravi OWC tj. ruža vjetrova za to područje na osnovu podataka prikupljenih s lokalne meteorološke postaje kako bi se moglo što bolje postaviti mjerni stup da on ima što manji utjecaj na podatke mjerenja. Još jedan od bitnijih faktora je visina mjernog stupa. Bilo bi poželjno da su podaci koji se prikupljaju izmjereni na minimalno  $2/3$  visine na kojoj će se nalaziti rotor vjetroturbine.

Mjerni stup sa uređajima za mjerenje čija visina je dovoljna da se točno može modelirati proizvodnja električne energije kod većine modernih vjetroagregata prikazan je na slici 4. Prikazani stup mjeri brzinu vjetra na visinama od 62, 58, 45, 30 i 15 metara pa je na osnovu više točaka moguće točnije odrediti vertikalni profil vjetra.

## 4. Značaj energije vjetra u Hrvatskoj

Krajem 2008. godine izdana je prilagođena i nadograđena strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske, koja u obzir treba uzeti sve veću potrebu za iskorištavanjem obnovljivih izvora energije.

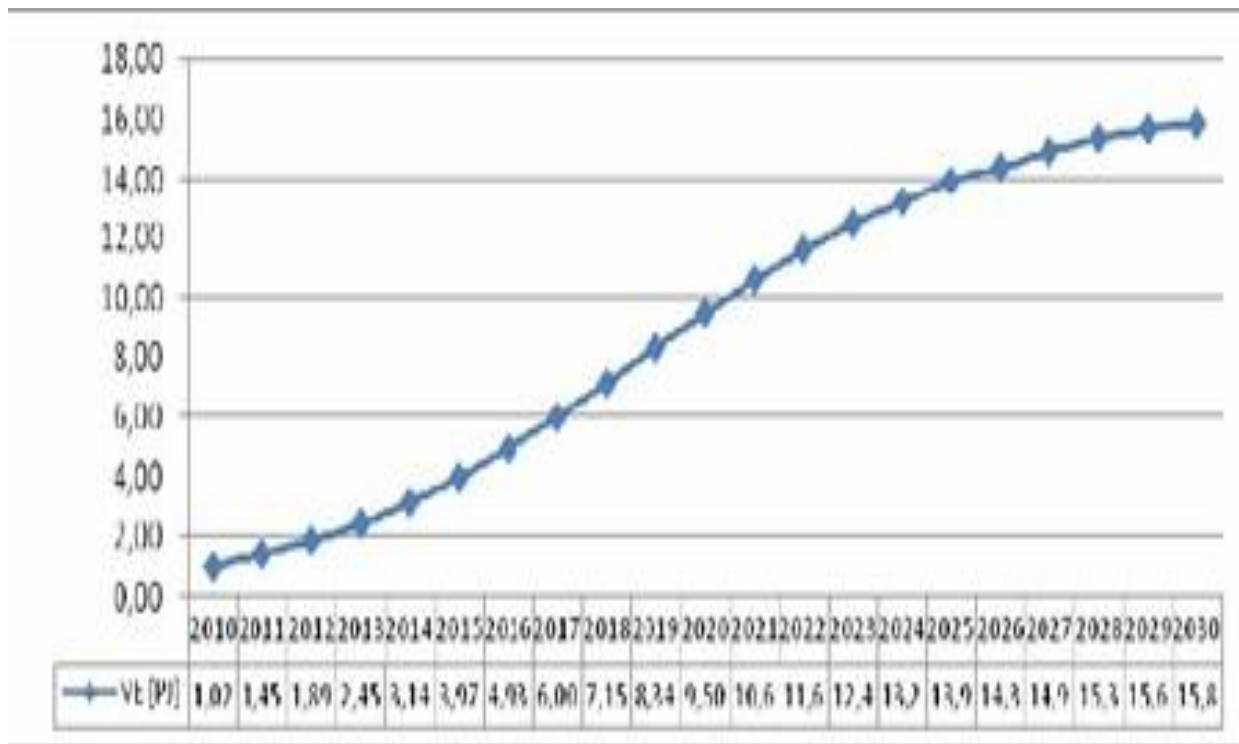
Prema ciljevima strategije, Hrvatska bi do 2020. godine trebala instalirati 1.200 MW vjetroelektrana, čime bi se po broju MW po glavi stanovnika približila Španjolskoj danas. Naravno, do tada će Španjolci biti na daleko većem nivou.

Predviđa se i da će do 2030. biti instalirano oko 2.000 MW vjetroelektrana. U ovom trenutku u Hrvatskoj ima instaliranih oko 70 MW vjetroelektrana.

Donošenjem podzakonskih akata za reguliranje tržišta obnovljivih izvora energije 2007. godine bilo je predviđeno 360 MW vjetroelektrana u pogonu krajem 2010. godine. Sasvim je očito da je zabilježen ogroman podbačaj u dostizanju tog cilja.

Krivnja pri tome leži samo na administrativnoj proceduri i nedorečenom zakonskom okviru, jer u registru obnovljivih izvora energije ima upisano oko 6.000 MW projekata vjetroelektrana, izdana su rješenja studije utjecaja na okoliš za oko 35 vjetroelektrana – međutim tek ih je nekolicina dobila mogućnost priključenja na elektroenergetsku mrežu. I to unatoč činjenici da Hrvatska uvozi 30% električne energije i da proizvodimo 40% ukupne potrošnje iz hidroelektrana koje su idealni partner za reguliranje energije iz vjetra u trenucima kada vjetra nema.





*Slika 6.*

*Proizvodnja iz vjetroelektrana u Hrvatskoj do 2020 i strategija energetskeg razvoja RH do 2020. sa pogledom prema 2030.*

Dosadašnjim tempom razvoja cilj od 1.200 MW do 2020. neće biti dostignut. Potrebne su drastične promjene u zakonskoj proceduri i političkoj volji, koja mora prestati biti samo deklarativna da bi se ostvarili postavljeni ciljevi – koji će uz to biti obvezujući ulaskom Hrvatske u EU.

I dok skoro sve zemlje EU doživljavaju procvat investicija u obnovljive izvore i premašuju unaprijed zadane ciljeve, posebno u instaliranju vjetroelektrana, i to čak i u doba krize kada sve druge grane gospodarstva imaju ozbiljnih problema – u Hrvatskoj se dešava jako malo toga. I to ne zbog nedostatka zainteresiranosti investitora.



*Slika 7. Ravne 1, prva vjetroelektrana u Hrvatskoj*

Općenito razmišljanje koje vlada u Hrvatskoj je kako su obnovljivi izvori energije potrebni za ispunjavanje određenih ciljeva i normi koje nameće EU. Nažalost takva klima nije nimalo poticajna za razvoj obnovljivih izvora. Vjetroelektrane su u susjednim i drugim zemljama EU postale zamašnjak razvoja i razvijanja novih kompetencija za svijet budućnosti.

Hrvatska u tome prilično zaostaje, kao što i zaostaje u razvoju vjetroelektrana. Ta činjenica je tim prije neshvatljiva jer Hrvatska ima značajne potencijale energije vjetra koje bi mogla iskoristiti i na način da izvozi tako proizvedenu zelenu energiju u zemlje koje nemaju toliko obnovljivih potencijala.

Nažalost, slična situacija, ako ne i gora po pitanju iskorištavanja energije vjetra je i u drugim zemljama regije, posebno Srbiji i Bosni i Hercegovini. Te dvije države su tek ove godine donijele zakone koji reguliraju tržište obnovljivih izvora energije.

## 5. Vjetroelektrane u EU

Tokom prošle godine je u Europi instalirano 12.819,6 MW vjetroelektrana od čega je 11.971,4 MW bilo u EU.

Od te instalirane snage u EU, 10.308,1 MW je bilo na kopnu, a 1.483,3 MW je bilo priobalno. Prošle godine je rast kopnenih vjetroelektrana bio 5,3%, dok je kod priobalnih ostvaren pad od 5,3%.

	Installed 2013	End 2013	Installed 2014	End 2014
<b>EU Capacity (MW)</b>				
Austria	308.4	1,683.8	411.2	2,095
Belgium	275.6	1,665.5	293.5	1,959
Bulgaria	7.1	681.1	9.4	690.5
Croatia	81.2	260.8	85.7	346.5
Cyprus	-	146.7	-	146.7
Czech Republic	8	268.1	14	281.5
Denmark	694.5	4,807	67	4,845
Estonia	10.5	279.9	22.8	302.7
Finland	163.3	449	184	627
France	630	8,243	1,042	9,285
Germany	3,238.4	34,250.2	5,279.2	39,165
Greece	116.2	1,865.9	113.9	1,979.8
Hungary	-	329.2	-	329.2
Ireland	343.6	2,049.3	222.4	2,271.7
Italy	437.7	8,557.9	107.5	8,662.9
Latvia	2.2	61.8	-	61.8
Lithuania	16.2	278.8	0.5	279.3
Luxembourg	-	58.3	-	58.3
Malta	-	-	-	-
Netherlands	295	2,671	141	2,805
Poland	893.5	3,389.5	444.3	3,833.8
Portugal*	200	4,730.4	184	4,914.4
Romania	694.6	2,599.6	354	2,953.6
Slovakia	-	3.1	-	3.1
Slovenia	2.3	2.3	0.9	3.2
Spain	175.1	22,959.1	27.5	22,986.5
Sweden	689	4,381.6	1,050.2	5,424.8
UK	2,075	10,710.9	1,736.4	12,440.3
<b>Total EU-28</b>	<b>11,357.3</b>	<b>117,383.6</b>	<b>11,791.4</b>	<b>128,751.4</b>

	Installed 2013	End 2013	Installed 2014	End 2014
<b>European Union: 128,751.4 MW</b>				
<b>Candidate Countries: 3,799.5 MW</b>				
<b>EFTA: 882.6 MW</b>				
<b>Total Europe: 133,968.2 MW</b>				
<b>Candidate Countries (MW)</b>				
FYROM	-	-	37	37
Serbia	-	-	-	-
Turkey	646.3	2,958.5	804	3,762.5
<b>Total</b>	<b>646.3</b>	<b>2,958.5</b>	<b>841</b>	<b>3,799.5</b>
<b>EFTA (MW)</b>				
Iceland	1.8	1.8	1.2	3
Liechtenstein	-	-	-	-
Norway	110	771.3	48	819.3
Switzerland	13.3	60.3	-	60.3
<b>Total</b>	<b>125.1</b>	<b>833.4</b>	<b>49.2</b>	<b>882.6</b>
<b>Other (MW)</b>				
Belarus	-	3.4	-	3.4
Faroe Islands	4.5	6.6	11.7	18.3
Russia	-	15.4	-	15.4
Ukraine	95.3	371.2	126.3	497.5
<b>Total</b>	<b>99.8</b>	<b>396.7</b>	<b>138.0</b>	<b>534.7</b>
<b>Total Europe</b>	<b>12,228.5</b>	<b>121,572.2</b>	<b>12,819.6</b>	<b>133,968.2</b>

\* Provisional data  
 \*\* Former Yugoslav Republic of Macedonia  
 Note: due to previous year adjustments, 423.5 MW of project decommissioning, repowering and rounding of figures, the total 2014 end-of-year cumulative capacity is not exactly equivalent to the sum of the 2013 end-of-year total plus the 2014 additions.

Slika 8: Instalirana snaga po zemljama Europe

Investicije u EU vjetroelektrane su bile između 13,1 i 18,7 milijardi eura pri čemu su kopnene vjetroelektrane činile 8,9 do 12,8 milijardi eura investicija a priobalne 4,2 do 5,9 milijardi eura. Nadolazeća tržišta srednje i istočne Europe su instalirala 838 MW što je 7,1% ukupnih instalacija.

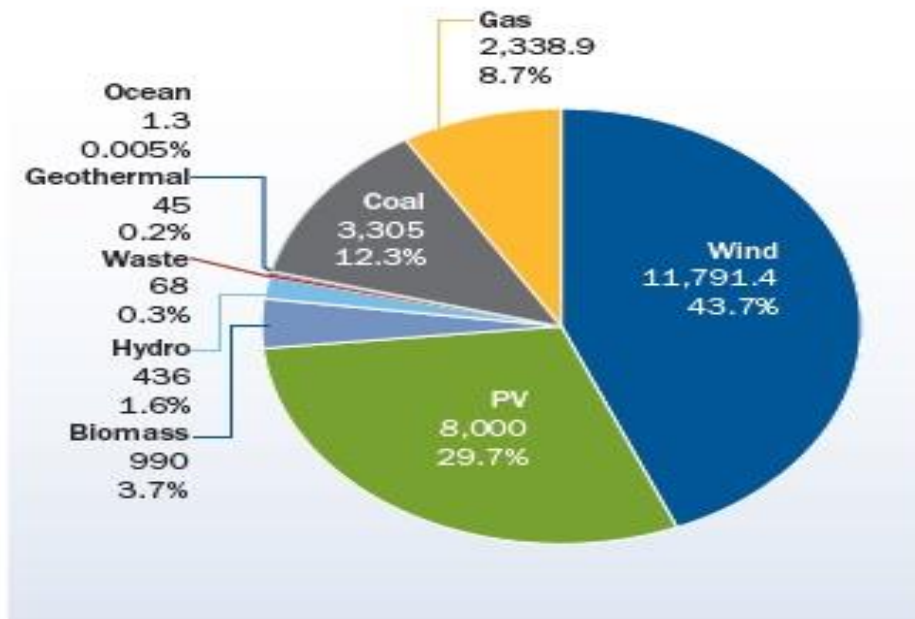
Prošle godine su imale pad udjela sa 16% 2013. na 7,1% i to zbog velikog pada tržišta Rumanjske gdje je došlo do retroaktivnih legislativnih promjena i Poljske gdje je postojala nesigurnost oko novog Zakona o OIE.

Dodatno je 59,5% svih instalacija u EU prošle godine bilo u Njemačkoj i Velikoj Britaniji čime je nastavljen trend iz 2013. Nekoliko država sa velikim instalacijama je imalo veliki pad i to Danska, Španjolska i Italija kod kojih je ostvaren pad od 90,4%, 84,3% i 75,4%. Priobalne vjetroelektrane su imale udio od 12,6% u ukupnim instalacijama.

### **Instalacije elektrana**

Ukupno je tokom prošle godine u Europi instalirano oko 26,9 GW novih elektrana, što je čak 9,4 GW manje nego 2013.

Najviše je instalirano vjetroelektrano i to 11,8 GW odnosno 43,7% svih instalacija. Solarni fotonapon je bio drugi sa 8 GW (29,7%), a termoelektrane na ugljen su bile treće sa 3,3 GW (12,3%).



Slika 9: Instalacija po izvoru tokom prošle godine

Nakon njih je bio plin sa 2,3 GW, biomasa sa 990 MW, hidroelektrane sa 436 MW, otpad sa 68 MW, geotermalne elektrane sa 46 MW i oceanska tehnologija sa 1,3 MW. Druge tehnologije nisu instalirale ništa tokom prošle godine.

Tokom prošle godine je pak iz pogona izašlo 7,2 GW elektrana i to 2,9 GW plina, 1,1 GW elektrana na naftu, 423.5 MW vjetroelektrana, 370 MW biomase i 14,9 MW hidroelektrana.

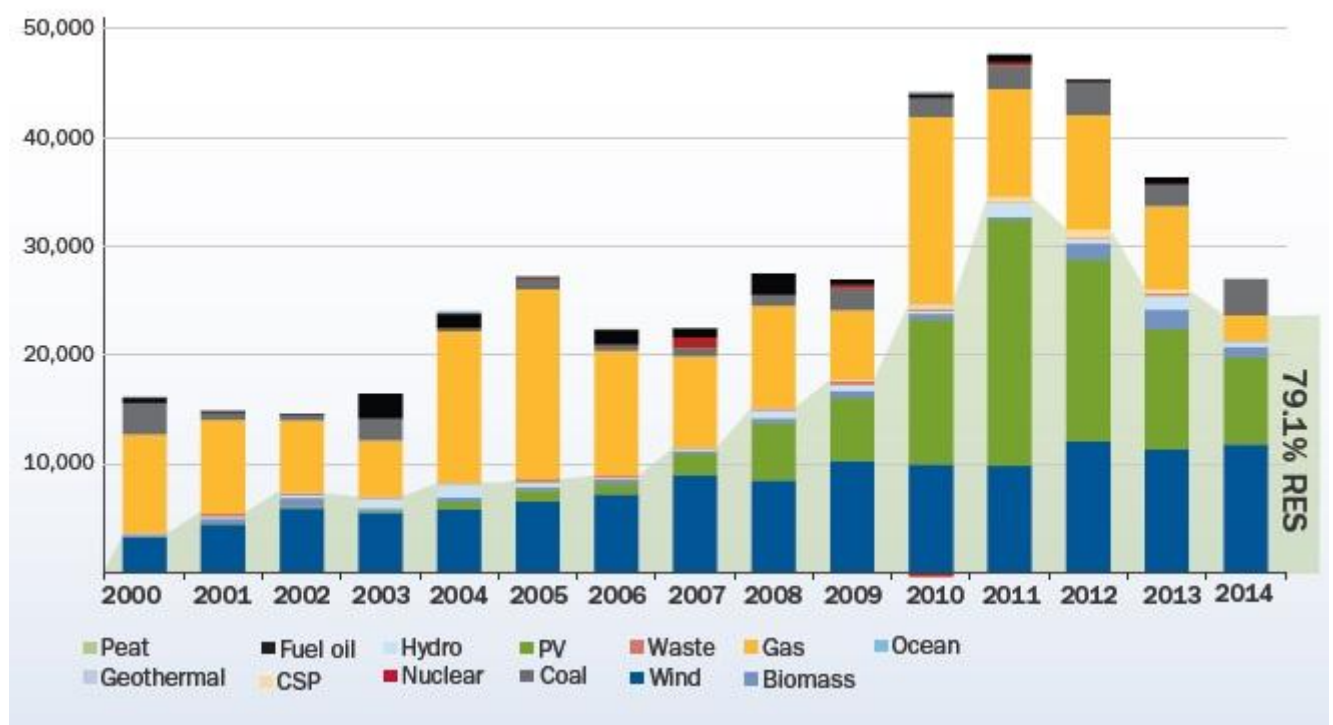
Ukupno gledano su obnovljivi izvori energije činili 79,1% svih instalacija u Europi, a dodatno je to bila sedma godina zaredom da je više od 55% instalirane snage u EU bilo iz OIE izvora.

## Trendovi i kumulativne instalacije

U 2000. je OIE izvora instalirano samo 3,6 GW. Od 2010. se pak svake godine instalira između 24,7 i 34,6 GW OIE što je osam do deset puta više nego 2000.

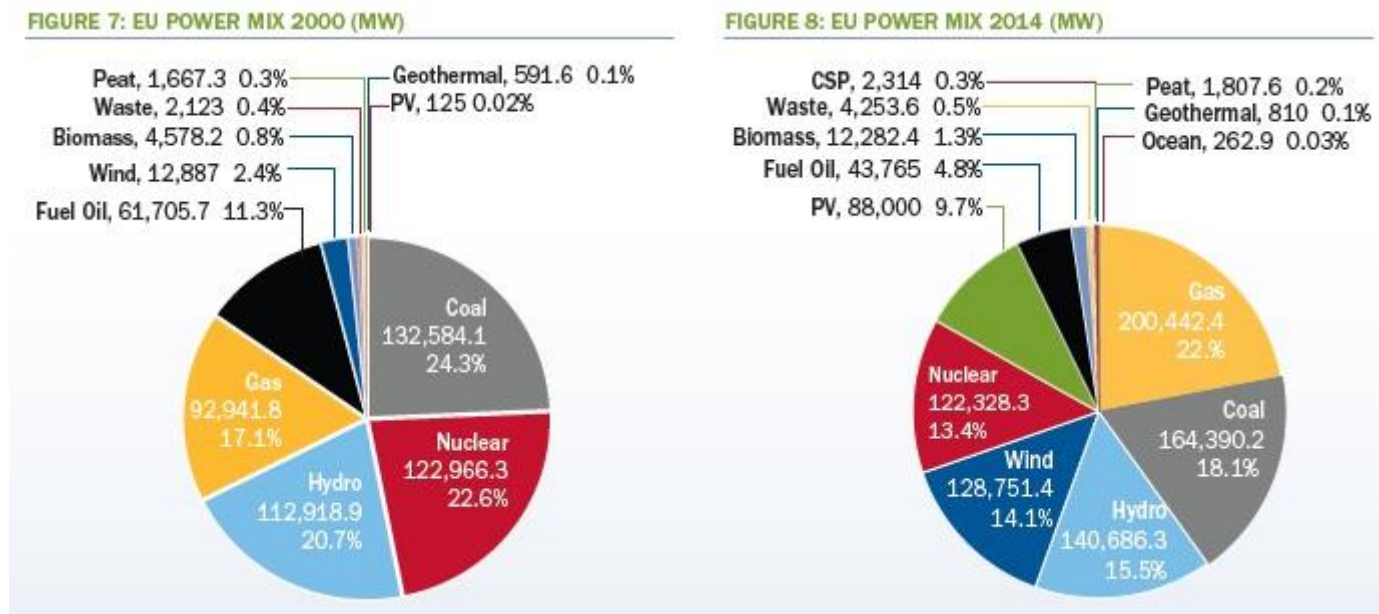
Njen udio je također rastao u ukupnoj instaliranoj snazi. U 2000. su činile 22,4% svih instalacija a prošle godine su bile 79,1%.

Od 2000. je instalirano 412,7 GW elektrana u Europi, od čega su 29,4% bile vjetroelektrane, dok su OIE činili 52,6%, a OIE i plin su imale udio od 91,1%.



Slika 10: Instalirana snaga po izvoru energije od 2000. do 2014.

Neto rast za vjetroelektrane od 2000. je bio 116,8 GW, za plin 101,3 GW a za solarni fotonapon 87,9 GW dok je najviše iz pogona izašlo elektrana na naftu (25,3 GW), ugljena (24,7 GW) i nuklearne energije (13,2 GW). Drugi OIE su također ostvarili rast ali je taj bio manji nego za solar i vjetar.



*Slika 11: Udio pojedinog izvora energije u instaliranoj snazi u 2000. i 2014.*

Udio vjetroelektrana u ukupnoj instaliranoj snazi elektrana je skočio sa 2,4% u 2000. na 14,1% u 2014. U istom periodu je udio OIE narastao sa 24,4% u 2000. na 41,5% u 2014.

## **Bliži pogled na instalaciju vjetroelektrana**

Godišnje instalacije vjetroelektrana u EU su rasle zadnjih 14 godina sa 3,2 GW u 2000. na 11,8 GW u 2014. uz godišnji rast od 9,8%.

U 2000. godini su godišnje instalacije vjetroelektrana u tri pionirske države - Danskoj, Njemačkoj i Španjolskoj - činile 85% svih instalacija EU. Do 2013. su one činile samo 36,2% svih instalacija, a prošle godine su činile 45,6% i to ponajviše zbog Njemačke koja je imala rast od 63%.

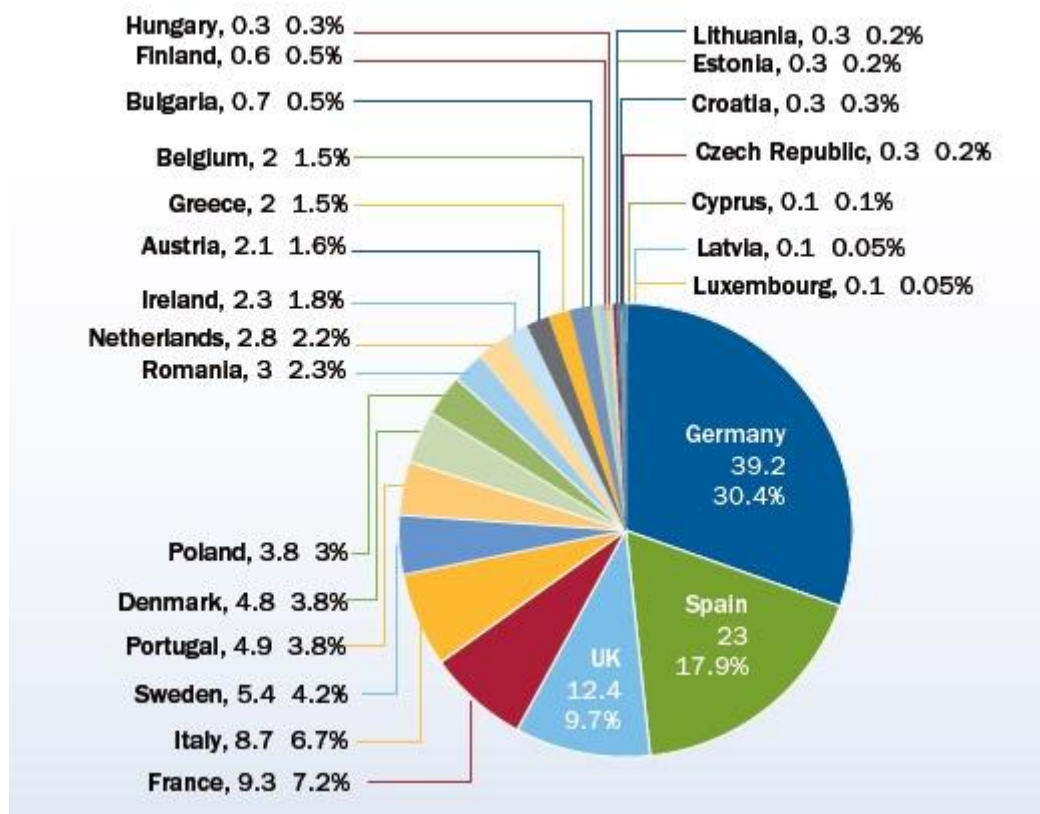
Dodatno je 13 novih EU zemalja 2000. bilo bez vjetroelektrana, dok danas one imaju udio od 7,9% u ukupnom tržištu. Ipak 85,7% instalacija je bilo u samo dvije države: Poljskoj i Rumunjskoj. To ukazuje da je nesigurnost obnovljivih u pojedinim državama EU uzrokovalo povećane instalacije u zemljama sa stabilnim regulatornim okvirom.

U Europskoj Uniji sada ima 128,8 GW vjetroelektrana što je rast od 9,8% u odnosu na prošlu godinu, ali je ipak bio niži nego kada je ostvaren rekordan rast od 12% u 2012. Njemačka još uvijek ima najveću instaliranu snagu, a prate je Španjolska, Velika Britanija, Francuska i Italija.

Deset drugih država ima više od 1 GW vjetroelektrana i to Danska, Grčka, Irska, Nizozemska, Austrija, Belgija, Poljska, Portugal, Rumunjska i Švedska. Od tih država Danska, Portugal i Švedska imaju više od 4 GW vjetroelektrana.

Što se tiče ukupnih kumulativnih instalacija Njemačka ima 39,2 GW, Španjolska 23 GW, Velika Britanija 12,4 GW, Francuska 9,3 GW a Italija 8,7 GW. Od novih zemalja članica najviše ima Poljska sa 3,8 GW a Rumunjska je druga sa 3 GW.





Slika 12: Instalirana snaga vjetroelektrana po državama EU

Današnja instalirana snaga vjetroelektrana u EU bi u prosječnoj godini proizvela 284 TWh električne energije, čime bi pokrila 10,2% ukupne potrošnje električne energije u Europskoj Uniji. Od toga bi kopnene vjetroelektrane pokrile 9,1% potreba dok bio priobalne pokrile 1,1%.

## 6. Generatori električne energije prikladni za rad vjetroturbina

Uloga električnog generatora u sustavu vjetroturbine jest pretvorba mehaničke energije u električnu. Nedostatak vjetroturbine kao pogona jest fluktuacija okretnog momenta. Također

zahtijevaju hlađenje koje se vrši zrakom ili vodom.

Generatori koji se koriste kod vjetroturbina mogu biti sinkroni i asinkron.

### 6.1 Sinkroni generator

Sinkroni generator spada u strojeve izmjenične struje. Njegova brzina čvrsto je povezana s frekvencijom napona i brojem pari polova.

Sinkroni generatori uglavnom se primjenjuju kada se znaju uvjeti rada pogona tj. kada je brzina vrtnje vjetroelektrane stalna (to se postiže ugradnjom sustava za zakretanje lopatica kod VSHO). Sinkronim generatorima potreban je uzbudni sustav i regulator brzine kojim će se održavati napon i frekvencija.

Oni imaju veći stupanj djelovanja i pouzdani su no pri uvjetima kada dolazi do poremećaja brzine vrtnje, zbog fluktuacije brzine vjetra ili poremećaja u mreži, teško zadržavaju sinkronizam.

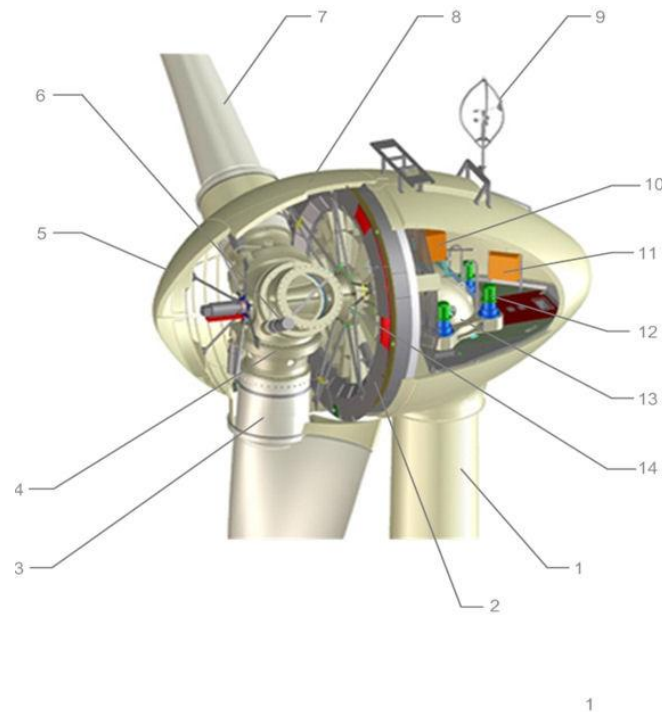
<b>p</b>	<b>N za 50 Hz min<sup>-1</sup></b>
<b>1</b>	<b>3000</b>
<b>2</b>	<b>1500</b>
<b>3</b>	<b>1000</b>
<b>4</b>	<b>750</b>
<b>5</b>	<b>600</b>
<b>6</b>	<b>500</b>
<b>7</b>	<b>375</b>

*Sinkrone brzine vrtnje za  
razne brojeve pari polova*

Za primjenu kod vjetroturbina koje nemaju konstantnu brzinu vrtnje potrebno je osigurati statički pretvaračfrekvencije. Time se izbjegavaju problemi nestabilnosti napona. Ovo je inicijalno skuplja varijanta ali ako je cijena isporučene energije visoka dugoročno dobiva na isplativosti.

Sinkroni generatori prikladni su za otočni način rada uz regulatore napona i frekvencije.

Dodatna prednost ovih generatora jest sposobnost proizvodnje jalove snage što je poželjno ako su priključeni na naponski slabu mrežu.



Slika 13. Sinkroni generator

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 1 - toranj                     | 8 - oplata gondole(rotirajući dio)                   |
| 2 - sinkroni generator         | 9 - anemometar                                       |
| 3 - adapter                    | 10 - priključna kutija generatora                    |
| 4 - glavčina                   | 11 - uzbuda generatora                               |
| 5 - prednji dio oplata(spiner) | 12 - elektromotorni pogon za zakretanje gondole(yaw) |
| 6 - klizni koluti              | 13 - glavni nosač                                    |
| 7- lopatice                    | 14 - osovinski rukavac                               |

Zadaća stupa vjetrogeneratora je da se rotor vjetroturbine sa strojarnicom uzdigne na optimalnu visinu iznad tla. Stup je najčešće koničnog oblika i izrađen od čelika. Rijetko je čeličnorestkaste ili betonske konstrukcije. Niz stup se spuštaju kablovi kojima se proizvedena električna energija predaje u mrežu. Kroz stup se osoblje za održavanje penje u gondolu. Unutar stupa često se nalaze vitalni dijelovi vjetrogeneratora kao što su frekvencijski pretvarač, transformator i sl.



*Slika 14. Unutrašnjost stupa vjetrogeneratora*

Temelj vjetrogeneratora nosi cjelokupni vjetrogenerator i osigurava njegovu stabilnost. Na potencijalnim lokacijama za podizanje vjetroelektrana u Hrvatskoj geološka struktura podloge uglavnom je prikladna za jeftinije izvedbe temeljenja. To je zbog toga što većinom prevladavaju karbonatne stijene koje karakterizira visoka specifična nosivost. Stabilnost kod prevrtanja može se postići ugradnjom čeličnih sidara.



*Slika 15. Izrada temelja za vjetrogenerator.*



*Slika 16. Vjetroelektrana na Pagu*

Vjetrogenerator je autonomna proizvodna jedinica električne energije. Sastoji se od :

- 1) vjetroturbine, koja kinetičku energiju pretvara u mehanički rad
- 2) generatora koji mehanički rad pretvara električnu energiju.

Postoje dva temeljna pristupa u konstrukciji vjetroturbina:

1. konstrukcija vjetroturbine s horizontalnom osi rotora
2. konstrukcija vjetroturbine s vertikalnom osi rotora (rijetko su zastupljene).

Moderne vjetrogeneratore karakterizira trolopatični rotor vjetroturbine i stup cijevne izvedbe. Oni su funkcionalno, aerodinamički i tehnološki visoko usavršeni.



*Slika 17. Vjetrogenerator*

Kod vjetrogeneratora s horizontalnom osi rotora vjetroturbine, smještaj lopatica obično je s privjetrinske strane . Osnovni dijelovi vjetroturbine su:

- rotor vjetroturbine
- strojarnica (gondola)
- stup
- temelj



Rotor vjetroturbine se sastoji od glavčine na koju su pričvršćene lopatice koje u pravilu imaju uređaje za zakretanje oko vlastite osi. Rotor vjetroturbine priključen je na električni generator koji mehaničku energiju vjetra pretvara u električnu. Dvije su osnovne izvedbe vjetrogeneratora:

- s asinkronim generatorom i prijenosnikom
- sa sinkronim generatorom i direktnim pogonom

## 6.2 Asinkroni generator

Također spadaju u strojeve izmjenične struje no njihova je brzina vrtnje različita od sinkrone brzine i ovisna je o opterećenju.

Kod motornog rada ovih strojeva priključivanjem na izmjenični simetrični trofazni izvor kroz namot statora poteku struje i stvore rotirajuće magnetsko polje koje rotira sinkronom brzinom i pri rotaciji presijeca vodiče rotorskog i statorskog namota te se u njima inducira napon.

Kod vjetrogeneratora s asinkronim generatorom mehanička se energija s rotora vjetroturbine preko osovine i sustava zupčanika (prijenosnika) prenosi na rotor električnog generatora. Ovaj tip vjetrogeneratora koriste vjetroelektrane na Pagu.

Vjetrogenerator sa sinkronim generatorom ima rotor vjetroturbine preko glavčine direktno spojen na rotor sinkronog generatora bez posredstva osovine i prijenosnika. Ovaj tip vjetrogeneratora koriste vjetroelektrane pokraj Šibenika.

Uz sam vjetrogenerator u pravilu se nalazi mala transformatorska stanica u kojoj se niski izlazni napon generatora pretvara u visok, i da bi se energija mogla transportirati na veće udaljenosti.

Navedeni su samo važniji dijelovi od kojih se sastoji jedan vjetrogenerator. Slaganje dijelova zahtjevan je i osjetljiv posao. Radi pojednostavljenja, postavljanje vjetrogeneratora svedeno je na četiri etape:

- izrada temelja s temeljnim segmentom stupa
- motaža stupa (najčešće u nekoliko dijelova)
- motaža gondole
- montaža rotora vjetroturbine

Na slikama montaže vjetrogeneratora s Paga vidi se kako to okvirno izgleda.



*Slika 18. Kran podiže i postavlja stup na već izrađeni temelj*

Stup se obično sastoji iz više dijelova koji se slažu jedan na drugi.

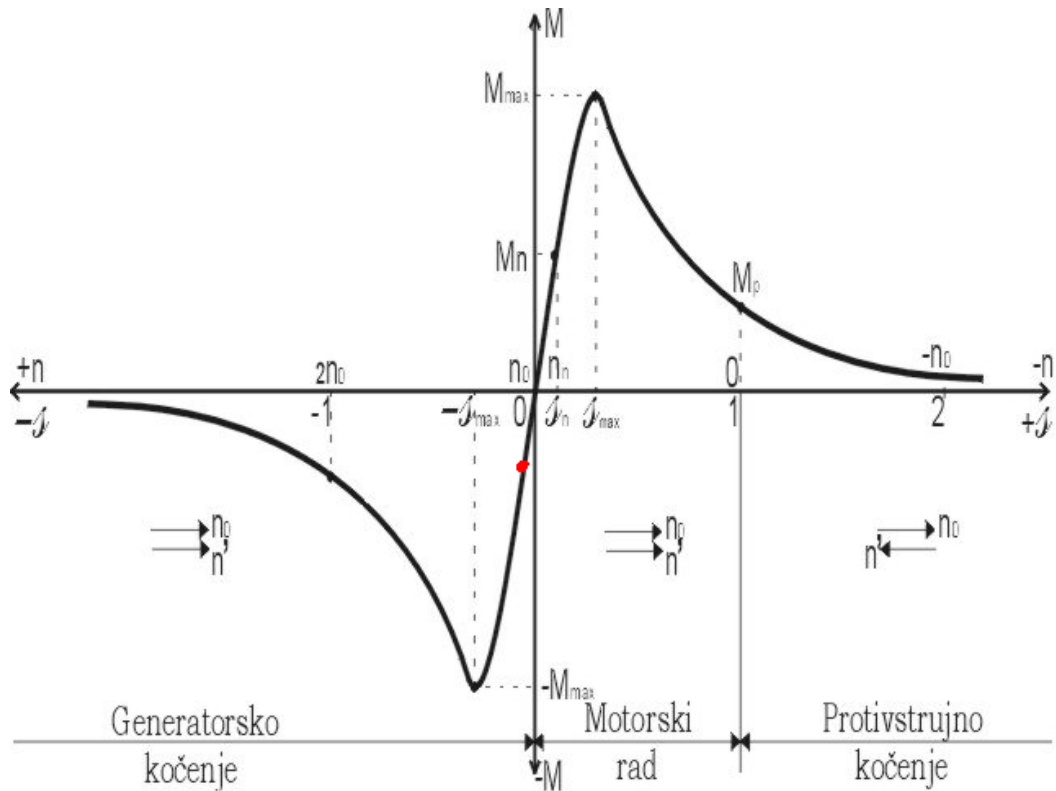


*Slika 19. Slaganje stupa*

Na postavljen stup stavlja se gondola (strojarnica)



*Slika 20. Postavljanje gondole*



Slika 21. Karakteristika momenta asinkronog stroja za jedan smjer vrtnje polja

Ovi generatori obično se koriste za spajanje vjetroelektrane na krutu mrežu. Osnovna prednost odražava se u njihovoj jednostavnoj i jeftinoj konstrukciji, no s druge strane moraju imati kompenzacijski uređaj (uklopive kondenzatorske baterije) i priključni uređaj koji služi za sinkronizaciju s mrežom.

U usporedbi s sinkronim generatorom asinkroni je u prednosti kod priključenja na mrežu zbog jednostavnijeg sustava upravljanja. Osim toga on je robusniji i znatno jeftiniji, a uvjeti održivosti sinkronizma mnogo su fleksibilniji.

Za potrebe vjetroturbina koje imaju promjenjivu brzinu vrtnje rotora potrebno je dodati diodni ispravljač u mosnom spoju za regulaciju djelatnog otpora rotora i promjenu brzina/moment karakteristike asinkronog motora.

Ovdje napon i frekvencija mreže određuju napon i frekvenciju asinkronog generatora. Maksimalna radna snaga ograničena je najvećom dopuštenom strujom u trajnom radu, a ovisi o dovedenoj mehaničkoj snazi tj. o brzini vrtnje generatora. Glavni nedostatak je nemogućnost rada bez napona mreže pa je potrebno koristiti samouzбудu u obliku kondenzatora.

Nije mu potrebna sinkronizacija niti uzбудni sustav, ali treba imati uređaj za ograničenje brzine vrtnje da ne bi došlo do pobjega, tj. do postizanja prevelikih nadsinkronih brzina pri naglom rasterećenju. Lako ih je održavati jer zahtijevaju samo povremenu zamjenu ležajeva.

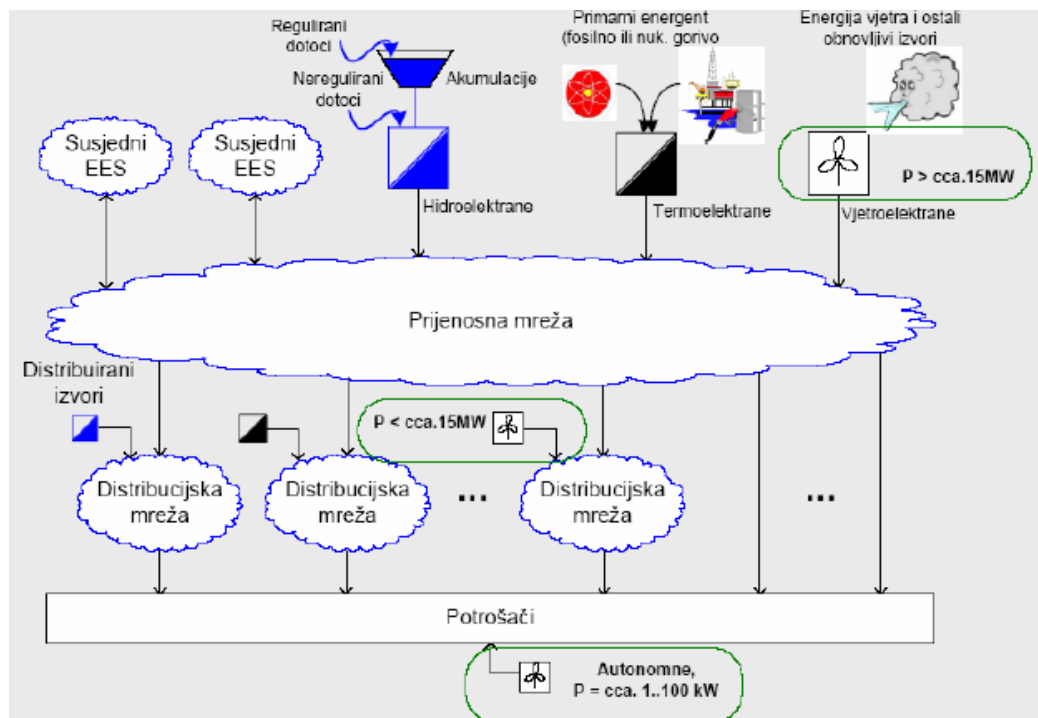
### 6.3 Spajanje elektrane u sustav

Da bi se vjetroelektrana spojila na mrežu moraju se zadovoljiti osnovni tehnički kriteriji pa je tako potrebno:

1. Poznavati najveću dozvoljenu snagu koju vjetroelektrana smije injektirati u mrežu (to određuje HEP s obzirom na mogućnosti elektroenergetskog sustava (EES) Hrvatske)
2. Odrediti raspon frekvencije sustava
3. Osigurati regulaciju napona
4. Zadržati stabilnost u stanju kvara, stabilnost kuta i napona
5. Osigurati kvalitetu isporučene električne energije
  - a. Emisija flikera (padovi napona koji uzrokuju treptaj na žaruljama)
  - b. Fluktuacije napona
  - c. Omjer radne i jalove snage
  - d. Kratki spoj

## Testiranje:

- Pokretanje
- Zaustavljanje u uvjetima velike brzine vjetra
- Vladanje u uvjetima promjene frekvencije sustava
- Vladanje u uvjetima promjene napona sustava
- Vladanje u uvjetima njihanja u sustavu
- Provjera kvalitete



Slika 22. Priklučenje na mrežu

## 7.Vrste vjetroelektrana

Vjetroelektane se mogu podijeliti na kopnene vjetroelektane, priobalne vjetroelektane, plutajuće vjetroelektrane i zračne vjetroelektrane.

### **Priobalne vjetroelektrane**

Priobalna vjetroelektrana (engl. *Offshore wind park*) je vrsta vjetroelektrane s čvrstim temeljima koja se gradi na moru (ima planova gradnje i na jezerima), uglavnom u priobalnom području, gdje je dubina vode obično manja od 60 metara (udaljenost od obale do najviše 50 kilometara), za razliku od plutajućih vjetroelektrana, koje se grade na pučini. Činjenica da voda (a posebice duboka voda) ima manju površinsku "hrapavost" od kopna jako utječe na brzine vjetra, koje su mnogo veće na moru.

Faktori snage su mnogo veći kod takvih instalacija. Kod lokacija s produženim plićinama (kao primjerice u Danskoj), vjetroelektrane je lako sagraditi. Općenito govoreći, morske instalacije vjetroagregata su načelno skuplje od kopnenih. To je zbog toga što su im tornjevi viši kada se uračuna dio ispod vode i što je sama izgradnja skuplja.

Proizvedena električna energija se do kopna prenosi putem podmorskog kabela. Održavanje je također skuplje, a mora se paziti i na zaštitu od korozije, zbog čega se često dodaju dodatni premazi i katodna zaštita. Takve turbine su najveće turbine u pogonu i predviđa se da će njihova veličina (i instalirana snaga) i dalje rasti (preko 6 MW). Vjetroelektrane smještene na moru znaju imati i više od 100 vjetroagregata.



*Slika 23. Priobalna vjetroelektrana Lillgrund (Švedska).*

### **Plutajuće vjetroelektrane**

Plutajuća vjetroelektrana ili pučinska vjetroelektrana je vrsta vjetroelektrane koja se postavlja na plutajuću strukturu u dubljem moru, gdje nije moguće postaviti priobalnu vjetroelektranu. Plutajuće vjetroelektrane su složene i zahtijevaju veće početne troškove, ali su nove studije pokazale je da zbog njihovih mogućnosti da pristupe snažnijim vjetrovima dalje na moru imaju isplativost primjene. Obično se više plutajućih vjetroagregata povezuju zajedno u vjetroelektranu, kako bi se koristio zajednički podvodni kabel za prijenos električne struje.





*Slika 24. Prvi veći plutajući vjetroagregat Hywind, koji je sklopljen u Stavangeru (Norveška), prije nego je postavljen u Sjevernom moru.*

### **Visinske vjetroelektrane**

Koncept visinskih vjetroelektrana se zasniva na iskorištenju energije vjetra u višim slojevima atmosfere. One predstavljaju dizajnirani koncept vjetroelektrana koji su na različite načine podignuti u visinu bez potpore tornja. Možemo ih podijeliti u dvije skupine: one za iskorištavanje vjetra na nižim visinama te na one koje to mogu na višim visinama. Tijekom posljednjih 20 godina napravljeno je nekoliko desetaka projekata i koncepata od kojih se istaknula nekolicina koje imaju šanse za realizaciju.

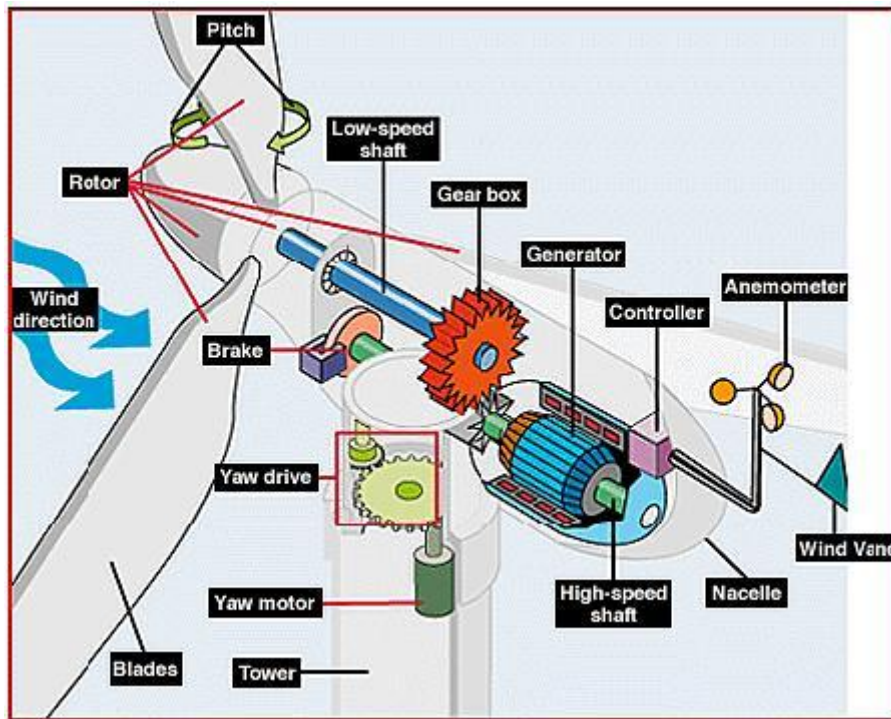
Zajedničko im je to što su predviđene za iskorištavanje vjetra na visinama većim nego što to mogu vjetroelektrane montirane na tlu, mogućnost montaže na bilo kojoj lokaciji na svijetu te su u potpunosti ekološki prihvatljive, budući da ne ispuštaju stakleničke plinove.

Visinske vjetroelektrane na taj način mogu proizvoditi električnu energiju 90% vremena, dok bi one na zemlji to činile maksimalno 35% vremena. To bi rezultiralo pojeftinjenjem električne energije i zahtjevalo bi manje vjetroelektrana za istu količinu električne energije.

## 8.Princip rada i dijelovi vjetroelektrane

### **Općenita shema djelovanja vjetroelektrane**

Pojam vjetroelektrana podrazumijeva sustav za transformaciju energije gibajuće zračne mase odnosno vjetra u električnu energiju posredstvom vjetroturbine i električnog generatora. Na slici 4.9. prikazan je osnovni princip rada vjetroagregata.



*Slika 25. Osnovni princip rada vjetroagregata*

Budući da vjetar predstavlja izrazito promjenjivi energetska resurs koji se ne može uskladištiti, potrebno je utvrditi uvjete pogona sustava za pretvorbu energije vjetra u električnu energiju.

Općenita shema djelovanja vjetroelektrane prikazana na slici 16. obuhvaća elemente koji se projektiraju obzirom na tri oblika energije: energiju vjetra, mehaničku energiju te električnu energiju.

Vjetroturbina koja može imati jednu ili više elisa, služi za transformaciju energije vjetra u mehaničku energiju.

Ako se u obzir uzmu razina buke i vizualni efekt, izvedba s tri elise predstavlja najčešće rješenje. Pored toga, dinamikom rotora s tri kraka je najlakše upravljati. Inercijski moment trokrakog rotora prema tornju ne mijenja se tijekom okretanja.

To rezultira manjim problemima uslijed oscilacija nego kod jednokrakih i dvokrakih rotora. Uz to je i optički mirniji zbog okretanja na manjoj brzini.

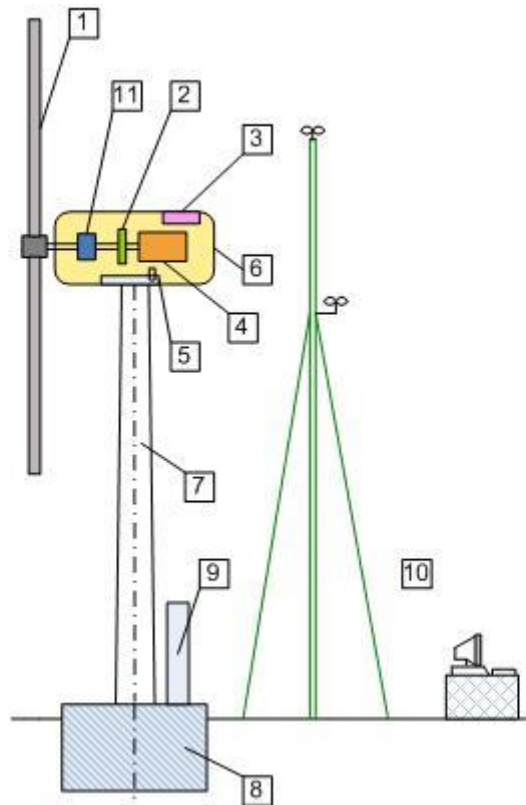
Oko 90% vjetroturbina koje se trenutno koriste u svijetu imaju trokraki rotor.

Spoj između vjetroturbine i električnog generatora ostvaren je pomoću mehančke spojke koja uobičajeno u sebi uključuje mjenjačku kutiju s prijenosnikom pomoću kojeg se niža brzina vrtnje rotora vjetroturbine prilagođava višoj brzini vrtnje rotora generatora.

Da bi se kinetička energija rotora uz pomoć generatora pretvorila u električnu, bila bi potrebna brzina rotora od 1 500 okretaja u minuti (rpm).

Budući da se rotor okreće brzinom od 30-50 rpm, potrebna je upotreba prijenosnika. S prijenosnikom se pretvara spora rotirajuća sila (visokog okretnog momenta) u brzu rotaciju (niskog okretnog momenta) koja je potrebna za rad generatora.

Postotak iskoristivosti energije je 98%, a gubitak energije koji nastaje uslijed trenja zupčanika prijenosnika manifestira se u obliku topline i buke.



*Slika 26. Dijelovi vjetroelektrane*

- 1) rotor
- 2) kočnice
- 3) upravljački i nadzorni sustav
- 4) generator
- 5) zakretnik
- 6) kućište
- 7) stup
- 8) temelj
- 9) transformator
- 10) posebna oprema
- 11) prijenosnik snage

**1. Kinetička energija elementa mase dm iznosi:**

$$dE = \frac{1}{2} v^2$$

**2. Za element mase vrijedi:**

$$dm = \varphi dV \text{ [kg]}$$

**3. Element je obujma:**

$$dV = A dx \text{ [m}^3\text{]}$$

**4. Za brzinu  $v = dx/dt$  dobije se da je element mase dm:**

$$dm = A \varphi v dt \text{ [kg]}$$

**5. Ako se jednačba (6.) uvrsti u jednačbu (1.), dobije se :**

$$dE = \frac{1}{2} \varphi A v^3$$

**6. Općenito snaga je kvocijent energije i vremena:**

$$P = \frac{dE}{dt} \text{ [W]}$$

**7. Ako se to svede na jediničnu površinu , dobije se gustoća snage vjetra:**

$$\frac{P}{A} = \frac{dE}{dt} \frac{1}{A} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$

8. Uzimajući izraze iz prethodne jednadžba, dobije se da je gustoća snage:

$$p = \frac{1}{2} \varphi v^3 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

9. Integriranjem jednadžbe (8.) dobije se godišnja energija vjetra po jedinici površine:

$$eg = \frac{\varphi}{2} \int_{t_1}^{t_2} v^3 \left[ \frac{J}{m} \right]$$

10. Vrijedi jednadžba kontinuiteta da je protok kroz pojedine presjeke konstantan:

$$Av_1 = A_0 V_0 = A_2 V_2$$

11. Za rotor vrijedi da je maseni protok:

$$m = \varphi V_0 A_0 \text{ [kg/s]}$$

12. Brzina  $v_0$  u presjeku rotora može se napisati kao srednja brzina ulaza i izlaza rotora

$$v_0 = \frac{v_1 + v_2}{2} \left[ \frac{m}{s} \right]$$

13. Snaga rotora turbine jednaka je razlici snage vjetra na ulazu i izlazu:

$$P = P_1 + P_2$$

$$P = \frac{1}{2} \varphi v^3 A_1 - \frac{1}{2} \varphi v_2^3 A_2 \text{ [W]}$$

$$P = \varphi v A_1 \frac{v_1^2}{2} - \varphi v_2 A_2 \frac{v_2^2}{2} \text{ [W]}$$

**14. Uzme li se u obzir maseni protok jednadžbe (11.), dobije se:**

$$P = \frac{m}{2} (v_1^2 - v_2^2) [\text{W}]$$

**15. Pomoću jednadžbe (11. i 12.) dobije se:**

$$P = \frac{\varphi(v_1+v_2)A_0}{4} (v_1^2 - v_2^2) [\text{W}]$$

$$P = \frac{\varphi}{4} A_0 v_1^3 \left( 1 + \frac{v_2}{v_1} \right) \left[ 1 - \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right] [\text{W}]$$

**16. Maksimalna snaga je ( $v_2=0$ ):**

$$P_m = \frac{\varphi}{2} A_0 v_1^3 [\text{W}]$$

**17. Idealni koeficijent iskorištenja snage jest odnos snage rotora i maksimalne snage:**

$$c_p = \frac{P}{P_m}$$

**18. Iz jednadžbe (15. i 16.) slijedi idealni koeficijent iskorištenja snage:**

$$c_p = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{v_2}{v_1} \right) \left[ 1 - \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right]$$

**19. Ako iz jednadžbe (18.) omjer brzina derivira i izjednači nulom, dobije se maksimalni koeficijent iskorištenja snage:**

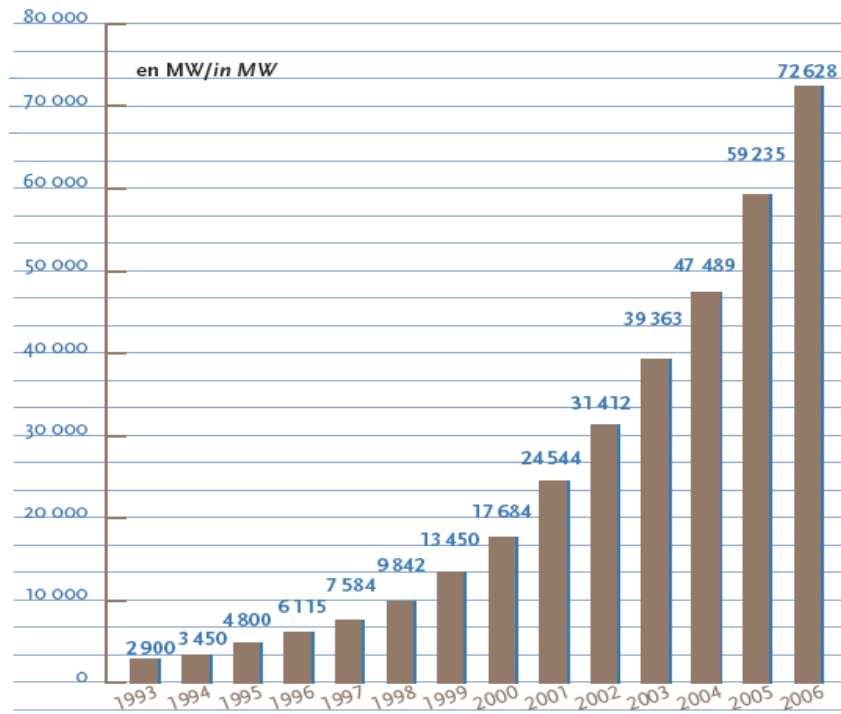
$$c_{p,\text{maks}} = 0.593$$



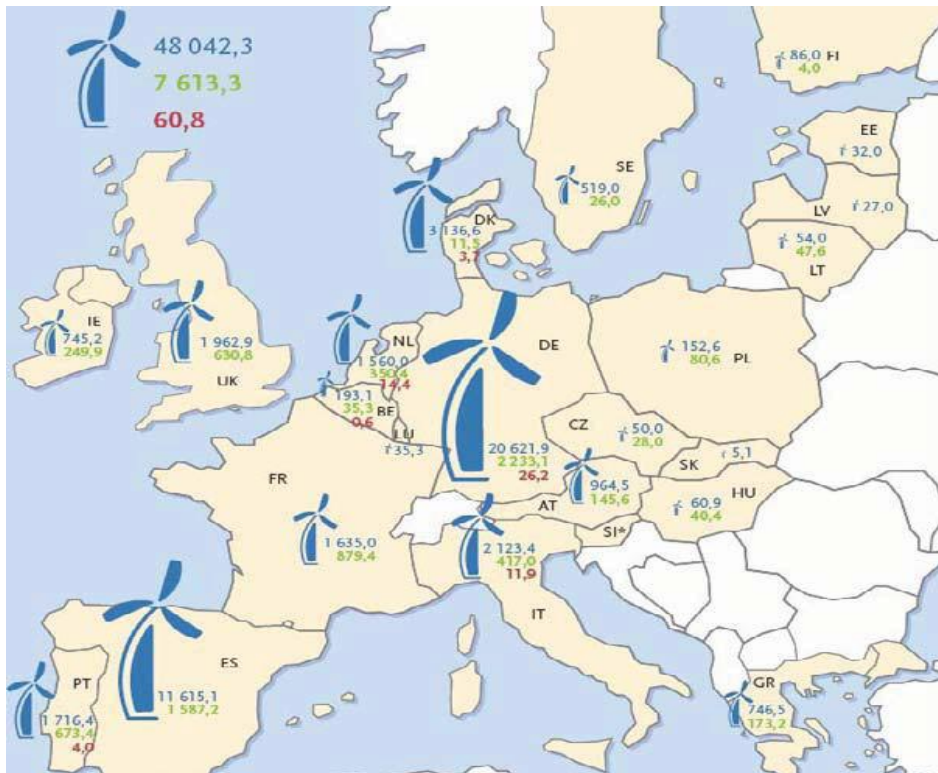
## 9.Tržište energije vjetra i stanje u Hrvatskoj

### 9.1Tržište energije vjetra

Na slici 17. prikazana je ukupno instalirana snaga vjetroelektrana u svijetu od 1993. – 2006. (podaci: EUrObserver ER 2007.) Jasno je vidljiv vrlo visok porast ukupno instalirane snage vjetroelektrana, koji je u 2006. iznosio ukupno 72 GW, a treba naglasiti i da je Europska unija najveće i najdinamičnije tržište energije vjetra s udjelom od 66,8 % ukupne svjetske instalirane snage, te s prosječnim godišnjim porastom od 1997. od oko 35%, od čega se u Njemačkoj nalazi daleko najveći dio instaliranih vjetroelektrana u EU, a potom slijede Španjolska i Danska (u kojoj udio proizvedene električne energije iz vjetroelektrana prelazi 20%). To potvrđuje i slika 18. gdje je prikazana ukupno instalirana snaga vjetroelektrana u EU 2006. (podaci: EUrObserver ER 2007.)



Slika 27. Ukupno instalirana snaga vjetroelektrana u svijetu od 1993. – 2006.



Slika 28. Ukupno instalirana snaga vjetroelektrana u EU 2006

## 9.2 Stanje iskorištenja energije vjetra u Hrvatskoj

U Hrvatskoj je izdvojeno 29 lokacija koje su pogodne za izgradnju vjetroelektrana. Od toga 19 je na otocima i poluotoku Pelješcu, a 10 u priobalju. Ukupna potencijalna godišnja proizvodnja el. energije putem VE na ovim lokacijama procjenjuje se u rasponu od 0,375 do 0,80 TWh godišnje.

Osim tih lokacija potencijal na morskoj površini procijenjen je u rasponu od 350 do 500 GWh na godinu. Sve odabrane lokacije na jadranskom priobalju i otocima imaju srednju godišnju brzinu vjetra veću od minimalnih 5,5 m/s (lokacije koje imaju srednju godišnju brzinu vjetra manju od 5,5 m/s temeljem suvremenih svjetskih iskustava nisu prikladne i gospodarski opravdane za korištenje vjetra).

### **Vjetropark Ravne, otok Pag**

Na Ravnama iznad Paga od kraja 2004. godine izgrađen je sustav od sedam vjetroelektrana, duljina odabrane lokacije je približno 2 km. Na visini od 20 m iznad tla izmjerena je srednja godišnja brzina vjetra od 6,4 m/s. Temeljem prikupljenih podataka, donja granica očekivane godišnje proizvodnje el. energije iznosila bi približno 12,36 GWh. Jaki i česti udari bure izmjereni na ovoj lokaciji, često zabilježeni i veći od 40 m/s, dijelom su uvjetovali i izbor tipa vjetro-turbine.

Proizvođač prve vjetroelektrane je njemačka tvrtka Nordex. Instalirano je 7 x 850 kW vjetro-turbina, čija je ukupna snaga 5,95 MW. Promjer rotora je 50 metara, površina rotora 1964 m<sup>2</sup>, a visina stupova 50 metara. Vrh krila u duljini 3,7 metara je moguće zakrenuti do 85° u odnosu na glavno krilo i služi kao aerodinamička kočnica.

Generator smješten u trup turbine je dvonamotni 4/6 polni vodom hlađen kavezni asinkroni motor. Za vrijeme slabijeg vjetra radi kao 6-polni 200 kW, a kod većih brzina vjetra kao 4-polni 800 kW generator. Priključen je na distribucijsku mrežu preko tiristorske jedinice.

Ukupna investicija iznosi približno 48 milijuna kuna, od toga 2,3 milijuna kuna otpada na troškove priključka te na konstrukciju i prilagodbu mjesta priključka. Otkupna cijena proizvedene energije je 90 % prosječne prodajne cijene el. energije, odnosno donja granica otkupa je 0,0485 eura/kWh.

Prema proračunima, očekivana godišnja proizvodnja električne energije je između 13,5 i 15 GWh. Vrijeme trajanja ugovora je 15 godina. Osnovni elementi i uvjeti privređivanja vjetroelektrane definirani su Ugovorom o kupoprodaji električne energije, potpisanim u jesen 2001. te revidiranim u proljeće 2004. godine između Hrvatske elektroprivrede i tvrtke Adria Wind Power.



*Slika 29. VE Pag*

### **Vjetropark Trtar-Krtolin, kod Šibenika**

Na brdima Trtar i Krtolin u zaleđu Šibenika od lipnja 2006. pušteno je u pogon 14 vjetroturbina koje će proizvoditi 32.000 MWh električne energije, što će zadovoljiti potrebe 10.000 domaćinstava. Osnivači i vlasnici su njemačke tvrtke WPD International GmbH i Enersys Gesellschaft für regenerative Energien mbH, a otkup električne energije osiguran je ugovorom s Hrvatskom elektroprivredom.

Vjetroelektrana je sklopila ugovor o sponzorstvu s Gradom Šibenikom i 0,5 posto godišnjeg prihoda od proizvodnje električne energije izdvajat će kao potporu projektima u Šibeniku. Financiranje gradnje Vjetroelektrane Trtar-Krtolin strukturirano je prema modelu projektnog financiranja, jer se projekt kreditira novčanim tokom koji sam generira.

Rok otplate kredita je 14 godina, a s HEP-om je sklopljen ugovor o kupoprodaji električne energije na rok od 15 godina.

Osim ovih vjetroelektrana, u planu su i novi projekti, odnosno izgradnja još dvije vjetroelektrane na Pagu, Novalja 1 i 2, nazivne snage 17,00 MW, jedne u Dubrovačkom primorju, Rudina, nazivne snage 52,5 MW, dvije vjetroelektrane na Visu i jedne kod Obrovca, a procjenjuje se da u Hrvatskoj ima stotnjak lokacija za vjetroelektrane ukupne snage oko 600 MW. Na obroncima Čićarije rovinjska Valalta i njemački Wallenbron Projektentwicklung planiraju gradnju 34 vjetroturbogeneratora snage 80 MW, vrijednu 80 milijuna eura. U planu je i gradnja vjetroelektrana kod Senja i Gračaca. U različitim fazama pripreme, od mjerenja vjetro potencijala do u cijelosti pripremljenih projekata, danas je više od 50 vjetroelektrana u Hrvatskoj.



*Slika 30. VE Trtar – Krtolin u izgradnji*

## 10. Utjecaj vjetroelektrana na okoliš

Vjetroelektrane ne zahtijevaju potrošnju goriva za kontinuiran rad, nemaju nikakvu emisiju direktno vezanu uz proizvodnju struje. Vjetroelektrane ne proizvode ugljični dioksid, sumporov dioksid, živu, čestice, i mnoge druge vrste zagađenja zraka, kao što stvaraju fosilna goriva. Vjetroelektrane troše resurse samo u proizvodnji i izgradnji. Tijekom proizvodnje vjetroelektrane, čelik, beton, aluminij te drugi materijali, moraju se proizvesti i transportirati koristeći procese koji zahtijevaju mnogo energije. Pri tim procesima koriste fosilne izvore energije. Proizvođač vjetroelektrana *Vestas*, tvrdi da se početna emisija ugljičnog dioksida isplati u roku od otprilike devet mjeseci rada vjetroelektrana u blizini obale.

Studija iz 2006. zaključila je da je emisija ugljikovog dioksida CO<sub>2</sub> od vjetrovne energije između 14 do 33 tona po GWh proizvedene energije. Većina emisije CO<sub>2</sub> dolazi od proizvodnje betona za temelje vjetroturbine.<sup>[33]</sup> Studija Irske nacionalne mreže govori da "Proizvodnja električne energije iz vjetra smanjuje potrošnju fosilnih goriva te time smanjuje emisiju CO<sub>2</sub>", uočili su smanjenje u emisiji CO<sub>2</sub> u razini od 0,33 do 0,59 tona CO<sub>2</sub> po MWh.<sup>[34]</sup> Studija UKERC-a o intermitentnosti također zaključuje da vjetrovna energija može zamijeniti proizvodnju baziranu na fosilnim gorivima, smanjujući i potrošnju goriva i emisiju ugljičnog dioksida.

Ispitivanja pokazuju da vjetroelektrane imaju sve veću podršku među ljudima. Tako 71% pučanstva u Europskoj Uniji iskazuje svoju potporu za gradnju vjetroelektrana (izvor: ewea.org). Postotak potpore vjetroelektranama je još veći kod dijela pučanstva koje u blizini svog životnog prostora ima izgrađene vjetroelektrane. Vjetroelektrane su također odraz razvoja i brige neke zemlje za svoj okoliš, zrak, zdravlje i hranu, te kao takve stvaraju pozitivnu sliku o regiji u kojoj se nalaze.





*Slika 31. Stoka ignorira vjetrovne turbine*

Prilikom rada vjetroenergetskih postrojenja ne dolazi ni do kakvih emisija ispušnih plinova ili krutih čestica, niti postoje drugi oblici zagađivanja okoliša koji karakteriziraju konvencionalne energetske objekte i nuklearne elektrane. Instaliranjem vjetroelektrana umjesto termoelektrana na fosilna goriva, sprječava se emisija ugljikovog dioksida CO<sub>2</sub>.

Poznato je da su ugljikov dioksid CO<sub>2</sub> i sumporov dioksid SO<sub>2</sub> jedni od najvećih zagađivača našeg planeta koji stvaraju ozonske rupe, stakleničke plinove, kisele kiše, zagađuju vodu, povećavaju globalno zatopljenje i drugo. Ispod stupova vjetroelektrane mogu se obavljati poljodjelski, stočarski i slični radovi kao i ispod visokonaponske mreže.

Prednost vjetroelektrana je i u tome što se mogu smjestiti podjednako na neobrađivim površinama, morskoj pučini ili poljoprivrednom zemljištu, a posebnost što se prostor između stupova generatora i dalje može koristiti.

Jedan od najvećeg problema je buka koju stvaraju vjetroelektrane prilikom vrtnje propelera i pogonskog mehanizma generatora koji je smješten u gondoli. Danas buka, sa sve savršениjim tehnološkim rješenjima zvučne izolacije je smanjena kao problem. Neki smatraju da visina stupova stvara ružan ugođaj i tako narušava izgled postojećeg okoliša gdje je smještena sama vjetroelektrana.

U mnogim zemljama vjetroelektrane su turistička atrakcija, te se prema stupnju uredenosti i čistoće mogu mjeriti s nacionalnim parkovima. Samo jednu vjetroelektranu u Škotskoj (Vjetroelektrana Scroby Sands) godišnje posjeti preko 35 000 turista, a 90% ispitanih turista koji su posjetili tu škotsku vjetroelektranu izjavilo je kako su bili veoma zadovoljni izletom.

Opasnost za ptice često je glavna zamjerka protiv gradnje vjetroelektrana. Međutim, studije procjenjuju da su vjetroelektrane odgovorne za 0,3 do 0,4 pogibelji ptica po gigawat-satu (GWh) struje, dok su elektrane na fosilna goriva odgovorne za oko 5,2 pogibelji po GWh.

Treba biti svjestan da apsolutno čista energija, bilo da se ona dobiva od sunca, vjetra ili vode ne postoji. Vjetroelektrane nisu potpuno bezazlen izvor energije. Pobornici ove teze naglasiti će da visina stupova narušava izgled okoliša, kako vjetroelektrane destruktivno djeluju na tlo, podzemne vode, mogu naštetiti sustavu pitke vode, te biljnom i životinjskom svijetu.

U zapadnoj Europi se danas na gradnju vjetroparkova gleda poprilično restriktivno i zahtjeva se pažljivo biranje lokacija za izgradnju, a upravo radi zaštite ptičjeg svijeta, staništa i ugroženih vrsta EU je donijela dvije direktive, Direktivu o pticama i Direktivu o staništima, koje obvezuju svaku članicu EU da zaštiti svoja vrijedna područja i to prema kriterijima iz tih direktiva.

Vjetroelektrane treba graditi tamo gdje ne obitavaju ugrožene biljne i životinjske vrste budući da postoje primjeri loše postavljenih VE koje ugrožavaju malu populaciju surih orlova. Pogodne su lokacije koje nisu na migracijskim putovima pticama, šišmišima ili nekim drugim vrstama. Gradnja vjetroelektrane u načelu je pozitivna i poželjna, no ne treba zaboraviti da je vjetroelektrana elektroenergetski objekt, a ne dio prirode.

## 11.Prednosti i nedostaci vjetroelektrana

### Prednosti

- ne troše gorivo, tj. energija vjetra je u uvjetno rečeno "besplatna";
- vjetroelektrane su poželjan oblik obnovljivog izvora energije nasuprot elektranama na fosilna goriva, jer kemijski i biološki ne zagađuju okoliš;
- vjetroelektrana može imati umjeren pozitivan utjecaj na smanjenje snage vjetra u područjima koja su inače izložena suviše jakim vjetrovima;
- borba protiv globalnog zatopljenja (Protokol iz Kyota);
- vjetroelektrane su energetska postrojenja bez štetnih emisija (staklenički plinovi);
- smanjuje se nacionalna ovisnost o uvozu fosilnih goriva;

## Nedostatci

- povremenost pogona, zavisno o meteorološkim karakteristikama područja primjene. Nije riješeno učinkovito akumuliranje većih količina energije za razdoblje bez vjetra, pa bi se stoga vjetroelektrane trebale vezati na elektroenergetski sustav regije i s njim razmjenjivati energiju. Prikladnim se čini kombinacija hidroelektrana i vjetroelektrana, koja u razdoblju jačeg vjetra štedi hidro-akumulaciju, a u razdoblju bez vjetra energiju daje hidroelektrana. Kod sitnih vjetroelektrana akumulaciju mogu osiguravati jedino akumulatori, koji ne mogu zadovoljiti potrebe u područjima s manje vjetrovitih dana, ali mogu štediti klasičnu energiju u vjetrovitom razdoblju;
- jake promjene u snazi vjetra relativno su teže tehnički savladive. Tehnička rješenja moraju spriječiti oštećenje vjetrenjače pri olujnoj snazi i izvlačiti maksimalnu snagu pri slabom vjetru, što poskupljuje ta rješenja;
- za usklađivanje broja okretaja vjetroturbine s brojem okretaja ugrađenog generatora potreban je multiplikator s automatskom regulacijom brzina generatora, što također poskupljuje tehničku izvedbu;
- troškovi održavanja znaju činiti značajnu stavku u cijeni dobivene energije vjetra, budući da je u slučaju velikih vjetroelektrana broj uređaja relativno velik, tj. snaga po jednom uređaju je daleko manja nego kod klasičnih elektrana na fosilna goriva;
- prisutno je izvjesno "estetsko zagađenje" u slučaju velikih vjetroelektrana, što međutim nema većeg značaja ako se takva vjetroelektrana ugradi na nenapučenim prostorima.

## 12.Zaključak:

S obzirom da se u današnje vrijeme sve više teži upotrebom obnovljivih izvora energije nema sumnje da će razvoj vjetroelektrana rasti. Porast broja vjetroelektrana ne odnosi se samo na svijet i Europu nego i na Hrvatsku. Ulaskom Hrvatske u članstvo EU dolazi i do postavljanja pojedinih ciljeva u segmentu obnovljivih izvora energije. Postavljen je rok da članice unije do 2030. emisiju stakleničkih plinova u EU moraju smanjiti za 40 posto u odnosu na količinu iz 1990., što je puno ambicioznije od sadašnjih ciljeva. To je sadržaj prijedloga nove energetske politike EU za razdoblje od 2020. do 2030., koji je predstavljen u Bruxellesu. Prema karakteristikama vjetra Hrvatska ima vrlo zadovoljavajući vjetropotencijal za izgradnju vjetroelektrana. Iz mjerenja pojedinih karakteristika vjetra da se zaključiti da su za iskorištenje energije vjetra povoljna područja Jadrana od kontinentalnog dijela Hrvatske. Za projekte vjetroelektrana najviše interesa pokazalo se na području Zadarske, Šibensko-kninske, Splitsko-dalmatinske i Dubrovačko-neretvanske županije pa se u tim dijelovima Hrvatske očekuje i porast broja vjetroelektrana. Trenutno postoji 12 vjetroelektrana koje su u normalnom radu i isporučuju električnu energiju u energetski sustav.

### 13.Literatura:

- Energija vjetra – prezentacija, <http://www.etfos.hr>, Elektrotehnički fakultet, Osijek  
Knežević S., Izlaganje - Tehnologije vjetroelektrana, <http://www.hep.hr>, HEP – obnovljivi izvori energije d.o.o.
- Vjetroelektrane u Hrvatskoj,« 2013.  
[http://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroelektrane\\_u\\_Hrvatskoj](http://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroelektrane_u_Hrvatskoj). [17. Veljače 2013.].
- Obnovljivi izvori energije- dr.sc. Ljubomir Majdandžić, dipl.ing
- Dizdarević N., Majstorović M., Bajs D., Majstorović G., Mrežna pravila za vjetroelektrane, Energetski institut Hrvoje Požar
- Pilić – Rabadan Lj., Vodne turbine i pumpe, vjetroturbine, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, 2000.
- Vjetroelektrane [www.vjetroelektrane.com](http://www.vjetroelektrane.com)
- Ministarstvo gospodarstva „Energija u Hrvatskoj 2011.g – Godišnji energetske pregled“
- E. Jerkić, »Vjetroelektrane.com,«  
<http://www.vjetroelektrane.com/aktualno/1047-vjetroelektrane-u-hrvatskoj-u-2013>. [20. Veljače 2013.].
- Profaca, »Poslovni dnevnik,« <http://www.poslovni.hr/hrvatska/acciona-energia-otvorila-prvu-hrvatsku-vjetroelektranu-228481>. [20. Veljače 2013.].