

# Vjetroelektrane

---

Štefulj, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences / Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:186:049554>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-18**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Humanities and Social Sciences - FHSSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**FILOZOFSKI FAKULTET U RIJECI**

**Odsjek za politehniku**

**Ana Štefulj**

**VJETROELEKTRANE**

**(završni rad)**

**Rijeka, 2015. godine**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**

**FILOZOFSKI FAKULTET U RIJECI**

Studijski program : sveučilišni preddiplomski studij politehnike

Ana Štefulj

mat. broj : 0009058397

# **VJETROELEKTRANE**

- završni rad -

**Mentor : mr. sc. Gordan Đurović**

**Rijeka, 2015. godine**

**FILOZOFSKI FAKULTET U RIJECI**  
**Odsjek za Politehniku**

U Rijeci, 15. travnja 2015. godine

# ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Ana Štefulj**

Studij: **Sveučilišni preddiplomski studij politehnike**

Naslov završnog rada: **Vjetroelektrane i njihova primjena**

Kratak opis zadatka: Definirati vjetar kao izvor energije, dati povijesni prikaz razvoja vjetroelektrana te na atlasu vjetra Republike Hrvatske opisati mogućnosti iskorištavanja snage vjetra u proizvodnji električne energije u pojedinim regijama. Prikazati i opisati osnovne dijelove vjetroelektrana i osnovne formule vezane uz iskorištavanje snage vjetra pomoću vjetroelektrana (izlazna snaga, aeodinamika i zračna cijev, koeficijent snage i Betzovo ograničenje).

Na primjeru klasičnog kućanstva prikazati shemu energetskog sustava te napraviti izračun o parametrima vjetroelektrane potrebnim za dobivanje zadovoljavajućeg iznosa snage za normalno funkcioniranje kućanstva.

Zadatak uručen pristupniku: **15.travnja 2015. godine**

Ovjera prihvaćanja završnog rada od strane mentora: \_\_\_\_\_

Završni rad predan: \_\_\_\_\_

Datum obrane završnog rada: \_\_\_\_\_

Članovi ispitnog povjerenstva: 1. predsjednik - \_\_\_\_\_

2. mentor - \_\_\_\_\_

3. član - \_\_\_\_\_

Konačna ocjena: \_\_\_\_\_

Mentor

\_\_\_\_\_

mr. sc. Gordan Đurović

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam završni rad izradila samostalno, isključivo znanjem stečenim na Odsjeku za politehniku Filozofskoga fakulteta u Rijeci, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora mr.sc. Gordana Đurovića.

U Rijeci, 22. srpnja 2015.

## SAŽETAK

U radu je opisan način funkcioniranja vjetroelektrana, njihova podjela te njihove specifičnosti. U prvom dijelu rada izložen je kratak teorijski uvod te mogućnosti i potencijali iskorištavanja vjetra kao izvora energije. Vjetar je bogat, obnovljiv i lako dostupan izvor energije. Energiju vjetra pretvaramo pomoću vjetroelektrana u korisni oblik energije – električnu energiju. Električnom energijom iz vjetra, vjetroelektrane opskrbljuju elektro-energetsku mrežu, a pojedinačni vjetroagregati napajaju izolirana mjesta.

U drugom dijelu rada je naveden princip rada vjetroagregata, njegovih dijelova te različite izvedbe vjetroagregata. Vjetroagregat je rotirajući stroj koji pretvara kinetičku energiju vjetra u mehaničku, a zatim preko električnih generatora u električnu energiju. Također navedene su i nove tehnologije koje su se pokazale kao dobro rješenje kod pribavljanja električne energije pomoću obnovljivih izvora energije. Na primjeru samostalnog energetskog sustava je napravljen izračun o parametrima vjetroelektrane koji su potrebni da bi se dobio zadovoljavajući iznos snage za funkcioniranje klasičnog kućanstva.

# SADRŽAJ

UVOD.....	7
1. VJETAR KAO IZVOR ENERGIJE.....	8
1.1. Povijest korištenja energije vjetra .....	9
1.2. Potencijalna mogućnost korištenja vjetra u Hrvatskoj .....	13
1.3. ENWIND-program korištenja energije vjetra .....	14
2. VJETROELEKTRANE.....	17
2.1. Vjetroelektrane u Hrvatskoj .....	17
2.2. Osnovni dijelovi vjetroagregata .....	20
2.2.1. Pretvorba energije u vjetroagregatu.....	21
2.3. Podjela vjetroturbina .....	22
2.3.1. Nove tehnologije .....	25
3. SUSTAV ZA POHRANU ELEKTRIČNE ENERGIJE.....	30
3.1. Načini skladištenja električne energije .....	30
4. SAMOSTALNI ENERGETSKI SUSTAV .....	32
4.1. Projektiranje hibridnog sustava .....	33
4.2. Primjer hibridnog sustava-vikendica na otoku .....	34
5.ZAKLJUČAK.....	36
LITERATURA.....	37

# 1. UVOD

Vjetar je bogat, obnovljiv, lako dostupan i čist izvor energije. Od svih izvora energije, uporaba energije vjetra danas ima jednu od najvećih stopa rasta. Čovječanstvo stoljećima koristi snagu vjetra pomoću vjetrenjača koje su se koristile za ispumpavanje vode ili za mrvljenje žita. Moderni ekvivalent vjetrenjačama-zračne turbine-koriste snagu vjetra za proizvodnju električne energije. Proizvodnja struje iz energije vjetra povećava svoje kapacitete za oko 20 % godišnje. Vjetroelektrane su jedan od oblika obnovljivih izvora energije pokretane snagom vjetra koje označavaju niz blisko smještenih vjetroturbina. Većina tematike o vjetroelektranama u današnje vrijeme se vrti oko razvoja i izgradnje vjetroelektrana - ishođenje dozvola, proračuna potencijala vjetra na osnovu kojeg se određuju točne lokacije pojedinih vjetroagregata. Dijelovi od kojih je vjetroelektrana sastavljena su nosive konstrukcije u obliku stupa, vjetroturbina, generator električne struje, automatska regulacija broja okretaja te napon generatora. Također, moguć je i priključak vjetroelektrana na sustav akumuliranja energije ili na regionalnu električnu mrežu.

Općenito postoje dva tipa vjetroelektrana – sa okomitim i vodoravnim rotorom. Vjetroturbine sa okomitim rotorom se rjeđe koriste zbog manje iskoristivosti. Ne moraju biti usmjerene prema vjetru, pa zbog toga ne trebaju dodatni uređaji, kao što su uređaji za praćenje vjetra i okretanje vjetroturbine. Za rad vjetroturbine potreban je slabiji vjetar. Prema mjestu postavljanja vjetroelektrana, dijele se na kopnene i one na morskoj pučini. Kopnene vjetroelektrane su najčešći oblik vjetroelektrana koje se grade na čvrstom tlu, dok se one na morskoj pučini postavljaju u dubljem moru na plutajuću strukturu. Složenije su i zahtijevaju velike troškove ulaganja, ali imaju isplativost primjene zbog mogućnosti pristupanja snažnijim vjetrovima. Osnovni dijelovi vjetroagregata su lopatice, rotor, prijenosnik snage, kočnica, generator, oprema za zakretanje, stup, kućište.

Hibridni sustav je pravi izbor za sigurno napajanje objekta električnom energijom. Dijelovi od kojih se hibridni sustav sastoji su fotonaponski sustav, vjetroagregat, generator ili postojeća električna mreža i baterijski sustav. Pomoću modela hibridnog sustava omogućava se neovisnost opskrbe električnom energijom. Veći dio energije se dobiva iz obnovljivih izvora (vjetar, Sunčeva energija) dok generator ima ulogu podrške u slučaju dužeg perioda izostanka obnovljivih izvora. Također može služiti i za pokrivanje vršnih opterećenja.
















## 2. VJETAR KAO IZVOR ENERGIJE

Proces nastanka vjetra je složen proces. Ekvator prima više Sunčeve energije nego što primaju polovi, a pored toga, more se sporije zagrijava i sporije hladi od kopna. Takva vrsta zagrijavanja sa površine Zemlje tjera globalni atmosferski sustav prijenosa topline prema stratosferi čije je ponašanje slično virtualnom stropu. Veći dio energije takvog strujanja vjetra nalazi se na visinama gdje brzina vjetra prelazi 160 km/h. Uz pomoć trenja, dio energije prelazi u Zemljinu površinu i difuznu toplinu kroz atmosferu.

Nastajanje lokalnih vjetrova dolazi zbog putujućih cirkulacijskih sustava i globalne raspodjele tlaka. To znači da topografska i geografska obilježja kao što su more, jezera, drveće, planine, kotline i zgrade imaju veliki utjecaj na lokalne vjetrove. Smjer i jačina su dvije jednostavne komponente kojima se vjetar najčešće opisuje. Označavamo ga stranom svijeta sa koje dolazi, a za određivanje smjera koristi se vjetrulja. Jačinu vjetra određujemo anemometrom ili pomoću Beaufortove ljestvice, oznakama od 0 do 12, gdje 0 označava brzinu vjetra od 0-14 km/h, a 12 označava orkanski vjetar brzine 154,8 km/h.

### Beaufort Scale

Beaufort number	Wind Speed (mph)	Seaman's term		Effects on Land
0	Under 1	Calm		Calm; smoke rises vertically.
1	1-3	Light Air		Smoke drift indicates wind direction; vanes do not move.
2	4-7	Light Breeze		Wind felt on face; leaves rustle; vanes begin to move.
3	8-12	Gentle Breeze		Leaves, small twigs in constant motion; light flags extended.
4	13-18	Moderate Breeze		Dust, leaves and loose paper raised up; small branches move.
5	19-24	Fresh Breeze		Small trees begin to sway.
6	25-31	Strong Breeze		Large branches of trees in motion; whistling heard in wires.
7	32-38	Moderate Gale		Whole trees in motion; resistance felt in walking against the wind.
8	39-46	Fresh Gale		Twigs and small branches broken off trees.
9	47-54	Strong Gale		Slight structural damage occurs; slate blown from roofs.
10	55-63	Whole Gale		Seldom experienced on land; trees broken; structural damage occurs.
11	64-72	Storm		Very rarely experienced on land; usually with widespread damage.
12	73 or higher	Hurricane Force		Violence and destruction.

Slika 1.1. Beaufortova ljestvica.

Brzina vjetra se može opisati sa 3 veličine. Prva je srednja brzina vjetra koja se može javljati u 10-minutnim prosjecima, ali može biti i satni, 6-satni, dnevni, mjesečni i sezonski prosjek. Fluktuirajuća komponenta brzine vjetra određuje horizontalni intezitet turbulencije, pa se na taj način određuje konstantna promjenjivost brzine vjetra. Formula za određivanje trenutačne brzine vjetra:

$$V_{\text{trenutačno}} = V_{\text{srednje}} + V_{\text{fluktuirajuće}} \quad (1-1)$$

Zbog pojave trenja u dodiru sa površinskim slojem Zemlje, brzina vjetra je jednaka nuli uz površinu, a oko 2 km iznad tla ubrzano raste s visinom do granice atmosfere. Sezonske pojave određuju srednju vrijednost brzine vjetra, a može doći i do oscilacije trenutačne vrijednosti. To toga dolazi zbog termičkih efekata uslijed pomaka zračnih masa i zbog interakcije vjetra sa površinom tla.

Energija koju vjetar sadrži, a koja se može upotrijebiti na korisne načine ovisi o kubu srednje brzine vjetra, ali isto tako i o gustoći zraka koja ovisi o nadmorskoj temperaturi i visini.

Energija vjetra je u međuovisnosti specifične snage vjetra u određenom vremenskom intervalu:

$$E_{k,vj} = \int_0^t P_{vj}(t) dt \quad (1-2)$$

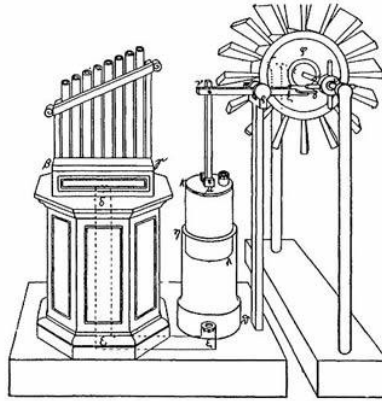
gdje  $E_{k,vj}$  predstavlja kinetičku energiju vjetra,  $P_{vj}$  označava snagu vjetra, a  $t$  je vremenski interval. Nadmorska visina i temperatura zraka utječu na gustoću zraka, pa se gustoća zraka za određeno područje i vremenski period određuje kao:

$$\rho = \rho_0 \times \frac{288p_b}{760T} \quad (1-3)$$

gdje  $\rho_0$  predstavlja gustoću zraka pri standardnim uvjetima,  $p_b$  barometarski tlak, a  $T$  označuje temperaturu zraka. Teoretski i praktično nije moguće iskoristiti svu snagu vjetra, ali se predviđa da se u komercijalne svrhe može iskoristiti oko 72 TW energije vjetra. Zbog ograničene iskoristivosti vjetra samo se jedan dio slobodne struje vjetra može pretvoriti u energiju za korištenje. U slobodnoj struji vjetar nastavlja sa svojim strujanjem kako bi omogućio dolazak novom vjetru iza sebe. S obzirom na činjenicu da uz pomoć pretvorbe samo 1% energije Sunca nastaje energija vjetra, tehnički potencijal vjetra uz pomoć današnje tehnologije je vrlo velik te nadmašuje potrebu čovječanstva za električnom energijom. Također je jedan od izdašnjih izvora održive i obnovljive energije.[6]

## 1.1. Povijest korištenja energije vjetra

Energija vjetra se počela koristiti u doba kada su ljudi po prvi puta postavljali jedra na brodove. Time su dobili mogućnost dalekih putovanja kojima su mogli prenositi robu i dobra u velikim količinama na udaljena i neistražena područja. Nakon toga, energija vjetra se počela iskorištavati za pokretanje vodenih pumpi i u mlinovima za obavljanje mehaničkog rada.



Slika 1.2. „Vjetreni rotor“ Herona Aleksandrijskog.

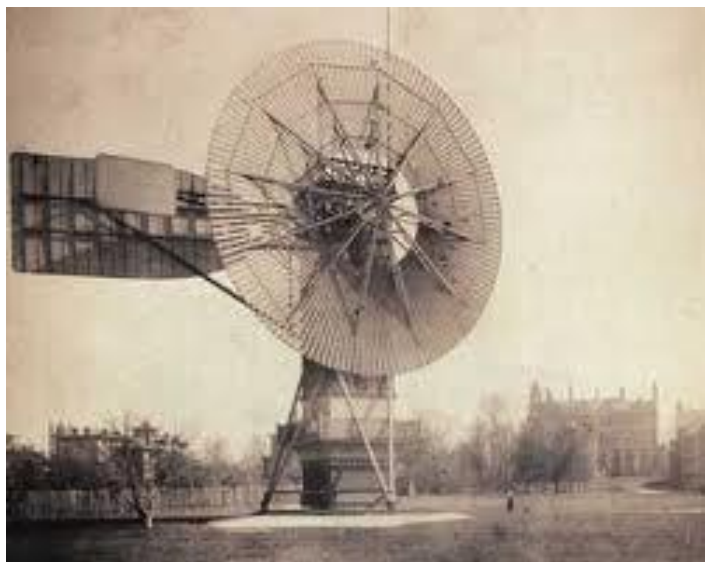
Jedrenjaci koji postoje oko 5500 godina prvi su primjer korištenja energije vjetra. Sve do danas nije se mijenjao princip njihovog rada, a to je korištenje izvora energije koji je svugdje dostupan. U povijesti čovječanstva jedrenjaci su bili najvažniji oblik vodenog transporta.

U 1.stoljeću, grčki inženjer Heron Aleksandrijski izumio je „vjetreni rotor“ koji je prvi poznat slučaj kada se koristila energija vjetra koja je pokretala stroj pomoću rotora. U 9.stoljeću u pokrajini između Afganistana i Irana koristile su se prve vjetrenjače sa vertikalnom osi i pravokutnim lopaticama sa jedrima. Koristile su se za pumpanje vode i za mljevenje, a njihova upotreba se raširila sve do srednje Azije i Bliskog istoka.

Početak 1180.-ih godina u sjeverozapadnoj Europi pojavile su se vjetrenjače sa horizontalnom osi vrtnje. Najprije su se koristile za mljevenje, a zatim su se počele upotrebljavati i za pumpanje morske vode. Tako se dobivala sol u Kini na Siciliji. Do 1900.godine Danska je imala oko 2500 instaliranih vjetrenjača (vodene pumpe i mlinovi) koje su obavljale mehanički rad. Po procjenama su imale ukupnu snagu od 30 MW. Krajem 19. i početkom 20.stoljeća, SAD je imao oko 6 milijuna malih vjetrenjača koje su bile instalirane na farmama kako bi se pokretale pumpe za navodnjavanje.

Prvi vjetroagregat koji je proizvodio električnu energiju izrađen je u Škotskoj 1887.godine. Vjetroagregat prof. Jamesa Blytha bio je visok 10 metara i sastojao se od platnenih jedara. Svrha mu je bila punjenje akumulatora koji su davali energiju kako bi se osvijetlila njegova koliba. Njegova koliba je postala prva kuća na svijetu koja se napajala pomoću električne energije dobivene iz energije vjetra.

Te iste godine dizajniran je i konstruiran veći i bolji vjetroagregat od strane inženjerske tvrtke Charlesa F.Brusha u Clevelandu. Vjetroagregat je postavljen kod njegove kuće, a radio je do 1900.godine. Promjer rotora vjetroagregata iznosio je 17 metara, a postavljen je na stup visok 18 metara. Sastojao se od 144 lopatice, broj okretaja mu je bio relativno mali, a unatoč veličini, proizvodio je maksimalnu snagu od 12 kW. Generator je bio u mogućnosti pokretati do 100 žarulja, puniti akumulatorske baterije te pokretati neke od strojeva u laboratoriju. 1900.godine proradila je centralna elektrana za proizvodnju električne energije, a 8 godina kasnije Brushev vjetroagregat je prestao sa radom i napušten je.



Slika 1.3. Vjetroagregat Charlesa Brusha.

S početkom 20.stoljeća pa do 1970.-ih u prvom planu bili su drugi izvori energije – nafta i ugljen. Niska cijena i njihova dostupnost zaustavila je razvoj vjetroagregata te ograničila i usporila razvoj industrije vjetra. Upotreba vjetroagregata je uvelike bila rasprostranjena, pa su tako i u Danskoj do 1908.godine bila postavljena 72 vjetroagregata snage od 5 kW do 25 kW, sa promjerom lopatica od 23 m i visinom stupa od 24 m. Tvrtka Jacobs Wind osnovana u SAD-u 1927.godine, počela se baviti proizvodnjom vjetroagregata za korištenje na farmama. Vjetroagregati su se koristili na farmama kojima je bila udaljena elektroenergetska mreža za osvjjetljenje i punjenje akumulatora. U slijedećih 30 godina proizvodnja vjetroagregata je stalno rasla i dosegla brojku od 30 000. Vjetroagregati su bili rasprostranjeni čak i u zabačenim dijelovima Afrike i na Antarktici.

Darius je 1931. godine izumio vjetroagregat sa vertikalnom osi vrtnje koji se bitno razlikovao od vjetroagregata sa horizontalnom osi vrtnje. Njegov vjetroagregat je omogućavao korištenje vjetra iz svih smjerova. Nije potreban sustav za zakretanje, a umjesto na vrh tornja vjetroagregata, generator i mjenjačka kutija mogu se postaviti na nivo zemlje.

U Balaklavi (SSSR), na elektroenergetsku mrežu priključuje se vjetroagregat WIMW-3D. On je prethodnik modernih velikih vjetroagregata sa horizontalnom osi, a radio je od 1931. do 1942. godine. Visina stupa bila mu je 30 metara, a promjer rotora sa tri lopatice je također bio 30 metara. Stup je bio čelični rešetkasti, a snaga vjetroagregata je bila 100 kW. Godišnji faktor opterećenja iznosio je 32%, što je usporedivo sa brojkama današnjih vjetroagregata.

Vjetroagregat Smith-Putnam je prvi vjetroagregat snage preko 1 MW. Spojen je na mrežu 1941. godine na planini Grandpa's Knop u Castletonu (SAD). Snaga mu je bila 1,25 MW i imao je 1100 radnih sati. Prestao je sa radom zbog pukuća lopatice. Do pukuća je došlo zbog nedovoljnog ojačanja na slaboj točki zbog nedostatka materijala. Zbog ovakve tragedije su se tek nakon 40 godina počeli postavljati novi vjetroagregati sličnih dimenzija i snaga.[8]



Slika 1.4. Smith-Putnam vjetroagregat, 1941. godina.

1970.-ih godina ponovo je krenulo korištenje energije vjetra i upotreba vjetroagregata. Od 1973. do 1986. godine, tržište vjetroagregata se počelo uvelike razvijati. Pojedinačni vjetroagregati koji su se većinom koristili na farmama imali su snagu 1 do 25 kW, a velike vjetroelektrane imale su snagu 50 do 600 kW. Kalifornija je bila sve do ranih 1990.-ih centar velike većine instalirane snage vjetroagregata sa proizvodnjom preko 3TWh električne energije godišnje i instaliranih 17 000 vjetroagregata ukupne snage 700 MW. Tako proizvedena električna energija bila je dostatna za napajanje grada od 3 000 000 stanovnika.

U zadnjih 10 godina primjećen je sve veći rast vjetroelektrana i razvoj vjetroagregata. Dimenzije vjetroagregata su narasle više od dva puta, a snaga pojedinačnih vjetroagregata se povećala za 10 puta. Energija vjetra postaje sve više upotrebljavana i može se reći da postaje jedan od uobičajenih izvora energije. U skorijoj budućnosti energija vjetra bi mogla zamijeniti klasične izvore enerije koji se trenutno koriste. Svake godine se bilježi rast instaliranih snaga u vjetroelektranama, a broj zaposlenih u toj industriji raste munjevitom brzinom.



Slika 1.5. Moderni vjetroagregat.

## 1.2. Potencijalna mogućnost korištenja vjetra u Hrvatskoj

Prilikom izbora lokacije za gradnju vjetroelektrane najvažniji kriterij je potencijal vjetra lokacije. Ovaj kriterij je važan zbog činjenice da snaga vjetra ovisi o trećoj potenciji brzine – pogreška od 10% u brzini povlači pogrešku od oko 30% u raspoloživoj snazi. Za stvarne turbine, eksponent ovisnosti proizvedene energije kreće se između 2 i 2,5 te i dalje snažno utječe na ekonomičnost projekta izgradnje vjetroelektrane.

Lokalni čimbenici, poput oblika terena ili hrapavosti zemljine površine, u velikoj mjeri utječu na strujanje u prizemnom sloju. S povećanjem vertikalne udaljenosti od zemlje prostorna varijabilnost zraka znatno je manja. U tom području ostaju samo ciklone i anticiklone prostornih dimenzija nekoliko tisuća kilometara i više, pa se može općenito smatrati da je opis strujanja na gornjoj granici atmosferskog graničnog sloja reprezentativan na širem, regionalnom području na kojem se prostorno malo mijenja. Zbog toga je već u preliminarnoj fazi projekta razvoja vjetroelektrane potrebno procijeniti moguće lokalne utjecaje na strujanje atmosferskog zraka.

Drugi važan kriterij je mogućnost priključka vjetroelektrane na električnu infrastrukturu. Kao i vjetropotencijal, na većini potencijalnih lokacija je nepoznat, te se bez sustavnih analiza ne može ocijeniti njihov učinak na projekt. Također, postoji i cijeli niz prostornih, okolišnih i drugih kriterija

za gradnju vjetroelektrana, koji su propisani zakonima ili su diktirani tehničkom i ekonomskom logikom projekta. Sve kriterije je potrebno ispuniti ukoliko se želi razviti projekt vjetroelektrane.

U fazi odabira lokacija potrebno je prikupiti terenske podatke o potencijalnim lokacijama u smislu izloženosti djelovanja vjetra, stvarnog stanja topografskih elementata, površinskoj hrapavosti, postojanju pristupnog puta, blizini infrastrukture itd., kombinirati ih s raspoloživim topografskim i klimatološkim podlogama, te ih preklopiti s tematskim kartama zaštite okoliša i namjene prostora. Energija vjetra ima mnoge ekološke prednosti. Jedna od najznačajnijih je izbjegavanje emisije štetnih plinova.

Većina negativnih utjecaja se može izbjeći pravilnim pozicioniranjem vjetroagregata, no neki utjecaji su neizbježni, poput vizualnog utjecaja elektrane ili zauzimanje potrebnog prostora za njezino neometano funkcioniranje. Da bi vjetroelektrane imale financijsku opravdanost, potrebno ih je locirati na područja izdašna vjetrom, a to su vrhovi i sljemena brda, visoravni, morska pučina i sl., otvorena na sve smjerove vjetra.[7]

### **1.3. ENWIND – program korištenja energije vjetra**

Program ENWIND pokrenut je s ciljem da se u prvoj fazi realizacije procijeni potencijal energije vjetra u Hrvatskoj, da se opiše status korištenja vjetra i stanje vjetrotehnologije u razvijenim zemljama, da se ukaže na administrativno-organizacijske zapreke te predlože izmjene i dopune zakonodavnog okvira i uvođenje potrebnih mjera državne politike za uspostavu povoljnije klime i afirmiranog okruženja koji bi potaknuli korištenje energije vjetra u Hrvatskoj. Razrada programa organizirana je kroz interaktivan odnos suradničkih timova sastavljenih od stručnjaka Državnog hidrometeorološkog zavoda iz Zagreba, Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje iz Splita, Fakulteta elektrotehnike i računarstva iz Zagreba, Županije splitsko-dalmatinske, Brodosplita d.o.o., Hrvatske elektroprivrede te stručnjaka iz Instituta „Hrvoje Požar“.[2]

Hrvatska je, pored Albanije, jedina zemlja na Mediteranu koja ne koristi vjetar u energetske svrhe, ali su ipak postojale aktivnosti na tom području. U Hrvatskoj se 1978. godine počelo sustavno istraživati korištenje energije vjetra. Do 1989. godine utvrdila se prikladnost pojedinih područja na kojima bi se energija vjetra pretvarala u električnu energiju. U Istri je paralelno sa tom aktivnošću, instalirana 1988. godine vjetroelektrana snage 22 kW.

U sklopu ENWIND programa izrađene su meteorološke podloge za procjenu tehničkog potencijala energije vjetra, na području jadranskih otoka i priobalja, kao glavnih vjetronosnih područja u Hrvatskoj. U prvom koraku analize eliminirana su područja nacionalnih parkova i zaštićenih područja, područja koja su predviđena za druge infrastrukture, graditeljske i turističke sadržaje te područja specijalne namjene. Daljnjim postupkom eliminacije izdvojeno je 29 makrolokacija u području jadranskog priobalja i otoka koji su pogodni za korištenje energije vjetra. Simulacijom rada vjetroturbina nazivnih snaga 250 kW, 500 kW i 750 kW, koje su selektriane iz baze podataka o komercijalnim vjetroturbinama, dobivena je moguća ukupna godišnja proizvodnja električne energije na izdvojenim područjima. Tablica 1. i tablica 2. prikazuju rezultate simulacije, tj. moguću godišnju proizvodnju električne energije na otocima i u priobalju.

Tablica 1. *Moguća godišnja proizvodnja električne energije na lokacijama jadranskih otoka [2]*

Otoci		VTG od 250 kW		VTG od 500 kW		VTG OD 750 kW	
	Površina na km <sup>2</sup>	Ukupna instalirana snaga, MW	Ukupna proizvodnja MWh/god	Ukupna instalirana snaga, MW	Ukupna proizvodnja MWh/god	Ukupna instalirana snaga, MW	Ukupna proizvodnja MWh/god
PAG	16,6	32,3	48 988	43,5	79 673	60,8	104 975
VIS	6,2	4,3	9 405	6,5	17 175	8,3	20 643
KORČUL	45,4	24,8	50 535	33,5	82 126	48,0	111 375
A	10,9	4,8	9 685	6,5	16 153	9,8	23 129
LASTOV	89,9	39,8	82 584	55,5	138 590	75,8	179 212
O	2,3	3,5	6 947	5,0	12 028	6,8	15 437
PELJEŠA							
C							
MLJET							
<b>Ukupno</b>	<b>92,2</b>	<b>109,3</b>	<b>208 143</b>	<b>150,5</b>	<b>345 744</b>	<b>209,3</b>	<b>454 771</b>

Tablica 2. *Moguća godišnja proizvodnja električne energije na lokacijama jadranskog priobalja [2]*

Priobalje	Površina na km <sup>2</sup>	VTG od 250 kW		VTG od 500 kW		VTG od 750 kW	
		Ukupna instalirana snaga, MW	Ukupna proizvodnja MWh/god	Ukupna instalirana snaga, MW	Ukupna proizvodnja MWh/god	Ukupna instalirana snaga, MW	Ukupna proizvodnja MWh/god
SREDNJA	109,4	43,5	85 864	58,5	136 695	82,5	179 765
DALMACIJA	133,1	42,0	81 895	57,5	123 125	80,3	157 742
JUŽNA							
DALMACIJA							
<b>Ukupno</b>	<b>242,5</b>	<b>85,5</b>	<b>167 759</b>	<b>116,0</b>	<b>259 820</b>	<b>162,8</b>	<b>337 507</b>

Provedena je i analiza moguće upotrebe energije vjetra za jadranske otoke u sustavu proizvodnje pitke vode. Razmatrana je opskrba pitkom vodom stanovništva manjih otoka, opskrba pitkom i sanitarnom vodom turističkih objekata te opskrba vodom za intenzivno bavljenje poljoprivredom. Na temelju analiza o ukupnim potrebama za vodom na otocima, osobito za turizam i poljoprivredu, procijenjena je potreba za približno 20 MW elektrana na vjetar.



Tablica 3. *Moguća godišnja proizvodnja električne energije u offshore vjetroelektranama u ovisnosti o broju instaliranih VTG jedinica [2]*

Morska pučina	VTG od 750 kW	VTG od 1000 kW
Mogući broj postavljenih VTG	Ukupna proizvodnja GWh/god	Ukupna proizvodnja GWh/god
10	16,8	25,0
20	33,6	50,0
50	83,9	125,0
100	167,9	250,4

Osnovni preduvjet za što realniju procjenu tehničkog potencijala vjetra je pouzdanost meteoroloških podloga, koje ovise o točnosti i brojnosti ulaznih podataka i o značajkama primijenjenog modela za procjenu vjetropotencijala.

Potencijal korištenja energije vjetra može se promatrati i kroz tehničke, društvene te ekonomsko-financijske mogućnosti. Iskustva razvijenih zemalja upućuju na zaključak da se povratni efekti mogu očekivati i u zapošljavanju i razvitku industrijskog sektora, te u dostatnom smanjenju opterećenja okoliša. Proizvodnja električne energije iz energije vjetra je proizvodnja pri kojoj nema štetnih emisija plinova kao ni globalnog zagrijavanja. Ispravnim smještajem vjetroelektrane moguće je reducirati negativne utjecaje za okoliš kao što su buka i šumovi te rizici za ptičje vrste i elektromagnetske smetnje.

## 2. VJETROELEKTRANE

Za vjetroelektrane se može reći da su one niz vjetrogeneratora istog tipa smještenih jedan pored drugog. Izloženi su istom vjetru i zajedničkim rasklopnim uređajem su priključeni na električnu mrežu.

Rotirajući stroj kojeg nazivamo vjetroturbina je stroj koji stvara mehaničku energiju, i to pomoću kinetičke energije vjetra. Nakon toga se dobiva električna energija posredstvom električnih generatora. Pri tom procesu rotor vjetroturbine i električnog generatora se nalaze na istom vratilu.

Za razliku od elektrana na fosilna goriva koje kemijski i biološki zagađuju okoliš, vjetroelektrane na troše nikakvu vrstu goriva. Zbog toga su itekako poželjan oblik obnovljivih izvora energije. Također, u područjima koja su izložena jakim vjetrovima, vjetroelektrane mogu imati pozitivan učinak na smanjenje snage vjetra. Ekološki su prihvatljivije jer ne emitiraju štetne plinove i zauzimaju znatno manje površine od drugih postrojenja istog kapaciteta. Prednost vjetroenergetskih postrojenja je ta što je smanjena ovisnost o uvozu fosilnih goriva, a mogu se postaviti na nepristupačnijim mjestima (neobrađive površine, morska pučina). Vjetroelektrane se mogu smjestiti i na poljoprivrednim zemljištima, s time da je prostor između stupova i dalje slobodan za korištenje i obradu.

### 2.1. Vjetroelektrane u Hrvatskoj

S obzirom na karakteristike vjetra, može se reći da u Hrvatskoj ima više nego dovoljno područja čiji vjetropotencijal zadovoljava uvjete za izgradnju elektrana. Analiziranjem potencijala energije vjetra izdvojilo se 19 lokacija na jadranskim otocima i poluotoku Pelješcu, te 10 lokacija u priobalju Jadrana. To znači da na prostoru Hrvatske ima 29 makrolokacija koje su povoljne za izgradnju vjetroelektrana. Ukupna godišnja proizvodnja električne energije na tim lokacijama iz jedinica nazivne snage 250 kW može iznositi 376 GWh, iz jedinica 500 kW može iznositi 606 GWh, a iz jedinica od 750 kW ukupno 792 GWh. Ovome treba pridodati i potencijal iznad morske površine jadrana. Za 100 instaliranih vjetroturbina nazivne snage 750 kW moguća godišnja proizvodnja električne energije iznosi 168 GWh, a za 100 jedinica od 1000 kW ukupno 250 GWh. Na temelju dostupnih podataka je procijenjeno da je u sustav vodoopskrbe moguć doprinos energije vjetra oko 20 MW, uz pretpostavku da su turizam i poljoprivreda osnovne djelatnosti na otocima.[3]

Područje Jadrana se pokazalo kao povnije za iskorištavanje energije vjetra od kontinentalne Hrvatske zbog povoljnijih karakteristika vjetra. U Hrvatskoj su se vjetroelektrane počele razvijati 1988. godine. Trenutno ih je 12 koje su u pogonu i koje služe za isporuku električne energije u elektroenergetski sustav Hrvatske. Ukupna snaga svih instaliranih vjetroelektrana je 280 MW. Oko 810 GWh električne energije godišnje dobiva se od 148 vjetroagregata koji su u pogonu.

Tablica br.4: Popis trenutnih vjetroelektrana u Hrvatskoj[9]

Vjetroelektrana	Instalirana snaga (MW)	Županija	Godišnja proizvodnja (GWh)	Vjetroagregati i modeli	Puštena u rad
VE Pometeno Brdo 1	6	Splitsko-dalmatinska	15	6 × Končar KO-VA 57/1 – 1 MW	2012.
VE Ravne 1	6	Zadarska županija	15	7 × Vestas V52 – 0,85 MW	2004.
VE Velika Popina	9,2	Zadarska županija	26	4 × Siemens SWT 93 – 2,3 MW	2011.
VE Orlice	9,6	Šibensko-kninska županija	25	11 × Enercon (3 x E-48 – 0,8 MW + 8 x E-44 – 0,9 MW)	2009.
VE Crno Brdo	10	Šibensko-kninska županija	27	7 × Leitwind LTW77 – 1,5 MW	2011.
VE Trtar-Krtolin	11,2	Šibensko-kninska županija	28	14 × Enercon E-48 - 0,8 MW	2006.
VE Jelinak	30	Splitsko-dalmatinska županija	81	20 × Acciona Windpower – 1,5 MW	2013.
VE Bruška	36,8	Zadarska županija	122	16 × Siemens SWT-93 - 2,3 MW	2012.
VE Ponikve	36,8	Dubrovačko-neretvanska županija	122	16 × Enercon E-70 - 2,3 MW	2013.
VE Kamensko-Voštane	40	Splitsko-dalmatinska županija	114	14 × Siemens SWT-3.0-101 – 3 MW	2013.
VE Vrataruša	42	Ličko-senjska županija	125	14 × Vestas V90 - 3 MW	2011.
VE Danilo	43,7	Šibensko-kninska županija	100	19 × Enercon E-82 – 2,3 MW	2014.
<b>Ukupno</b>	280,5		810	148	lipanj, 2014.

Vjetroelektrana Ravne 1 sa svojim radom je počela u kolovozu 2004. godine. Podignuta je na otoku Pagu na brdu Ravne i u Hrvatskoj je poznata kao prvi komercijalni projekt iskorištavanja energije vjetra za dobivanje električne energije. Sastoji se od sustava od sedam vjetroagregata ukupne snage 5,95 MW koje je izgradila tvrtka „Adria Power“. Snaga jednog vjetroagregata iznosi 850 kW. Vjetroagregat se sastoji od stupa turbine čija je visina 49 metara i rotora čiji je promjer 52 metra. Srednja godišnja brzina vjetra iznosi oko 6,4 m/s.

U lipnju 2006. godine u pogon je puštena vjetroelektrana Trtar-Krtolin čija je lokacija u blizini Šibenika. Sastavljena je od 14 Enercon E-48 vjetroagregata. Svaki vjetroagregat ima pojedinačnu nazivnu snagu od 800 kW. Promjer lopatica vjetroagregata je 48 metara, a visina stupa 50 metara. Ukupna instalirana snaga joj je 11,2 MW.

Vjetroelektrana Orlice je sa radom počela u prosincu 2009. godine. Sastavljena je od 2 Enerconova E-48 vjetroagregata čija je nazivna snaga 800 kW i 8 Enerconovih E-44 vjetroagregata pojedinačne nazivne snage 900 kW. Sastoji se od ukupno 11 vjetroagregata koji zajedno daju 9,6 MW instalirane snage. Vjetroagregati imaju promjer lopatica 44 i 48 metara, a visina osi iznosi 50 metara. Vjetroelektrana godišnje uspije proizvesti oko 25 GWh električne energije.

Vjetroelektrana Crno Brdo se nalazi u blizini vjetroelektrane Trtar-Krtolin i vjetroelektrane Orlice. Puštena je u pogon i priključena na distributivnu mrežu HEP-OPS-a tijekom ljeta 2011. godine. Sastoji se od 7 vjetroagregata Leitwind LTW-77 čija je pojedinačna snaga 1,5 MW. Ograničena joj je priključna snaga na distributivnoj mreži, pa je izlazna snaga cijele vjetroelektrane 10 MW ukupno. Promjer lopatica iznosi 77 m, a visina stupa 80 m. Godišnje proizvodi 27 GWh energije.

Vjetroelektrana Vrataruša izgrađena je 2009. godine na obroncima Velebia u blizini Senja. U punom pogonu je od 2011. godine kada su dobivene sve dozvole za rad. Priključena je na prijenosnu mrežu na 110 kV pa je s time jedna od prvih takvih u Hrvatskoj. Ukupna instalirana snaga joj je 42 MW. Sastoji se od ukupno 14 Vestasovih V90 vjetroagregata čiji je promjer lopatica 90 m, a visina osi 80 m. Pojedinačna snaga vjetroagregata iznosi 3 MW.

Na području općine Gračac se nalazi vjetroelektrana Velika Popina koja je sa radom započela u siječnju 2011. godine. Sastoji se od ukupno 4 Siemensova SWT93 vjetroagregata, čija je pojedinačna snaga 2,3 MW. Ukupna snaga vjetroelektrane je 9,2 MW, a godišnje može proizvesti 26 000 MWh električne energije.

Vjetroelektrana Bruška nalazi se u blizini Benkovca, na oko 600 metara nadmorske visine. Vodi se kao dvije vjetroelektrane – VE ZD2 i VE ZD3. Pojedinačna snaga vjetroelektrane je 18,4 MW, a ukupna snaga obje vjetroelektrane iznosi 36,8 MW. Priključena je na prijenosnu mrežu HEP-OPS-a, a 14. veljače 2012. je dobila status povlaštenog proizvođača električne energije. Sastavljena je od 16 vjetroagregata Siemens SWT-93. Pojedinačna snaga vjetroagregata je 2,3 MW, a ukupna snaga vjetroelektrana je 36,8 MW. Promjer lopatica iznosi 93 m. Na svakom krilu su posebno ugrađena krilca pa je zbog toga razina buke svedena na minimum. Godišnje proizvodi 122 GWh, čime se strujom može opskrbiti 40 tisuća kućanstava.

Vjetroelektrana Pometeno Brdo se nalazi u blizini Dugopolja, kraj Konjskog i to je ujedno i prva vjetroelektrana na kojoj su korišteni vjetroagregati hrvatske tvrtke Končar. Ima postavljenih 16 vjetroagregata snage 17,5 MW, od kojih je 15 Končarovih KO-VA 57/1 vjetroagregata snage 1 MW i jednog K 80 vjetroagregata snage 2,5 MW. Promjer rotora KO-VA 57/1 vjetroagregata iznosi 57 m, a radi na brzinama vjetra od 2,5 m/s. Promjer rotora K 80 iznosi 92 m. Uključuje se pri brzini vjetra od 2,5 m/s, a nazivnu snagu ostvaruje na brzinama od 12,5 m/s. Vjetroelektrana godišnje proizvodi 30,083GWh električne energije.

Prva vjetroelektrana u Dubrovačko-neretvanskoj županiji sagrađena je na poluotoku Pelješcu. Vjetroelektrana Ponikve u pogon je puštena 17. svibnja 2013. godine. Ima postavljenih 16 Enerconovih vjetroagregata pojedinačne snage 2,3 MW. Ukupna instalirana snaga vjetroelektrane iznosi 36,8 MW. Na visini osi od 64 metra nalazi se 9 vjetroagregata, a 7 njih na visini od 85 metara. Promjer rotora iznosi 70 metara. Vjetroelektrana može godišnje opskrbiti 26 000 kućanstava sa električnom energijom.

U blizini Trogira nalazi se vjetroelektrana Jelinak čija je gradnja završila krajem studenog 2012. godine. Sastoji se od 20 vjetroagregata tehnologija Acciona Windpower, čija je pojedinačna snaga 1,5 MW. Instalirana snaga vjetroelektrane je 30 MW, a planirana godišnja proizvodnja

električne energije je 81 milijun KWh. Sa time bi se pokrivala potreba za oko 30 000 kućanstava, Vjetroelektrana je priključena na elektroenergetsku mrežu HEP OPS-a, nakon što je investitor svojim vlastitim sredstvima izgradio trafostanicu s priključcima 110 kV.

Vjetroelektrana Kamensko-Voštane nalazi se u Splitsko-dalmatinskoj županiji, na području grada Trilja. Sa radom je započela 15. srpnja 2013. godine. Instalirana snaga vjetroelektrane je 20MW sa pripadajućom trafostanicom Voštane 20/110 kV i sa priključnim dalekovodom 2x110 kV.

Vjetroelektrana Danilo nalazi se u Šibensko-kninskoj županiji kraj sela Danilo, a u pogon je puštena 17. lipnja 2014. godine. Sastoji se od 19 vjetroagregata ENERCON E-82, čija je pojedinačna snaga 2,3 MW. Ukupna instalirana snaga vjetroelektrane je 43,7 MW. Trebala bi proizvoditi oko 100 GWh električne energije godišnje, što je dovoljno za opskrbu 22 000 kućanstva.[9]

## 2.2. Osnovni dijelovi vjetroagregata

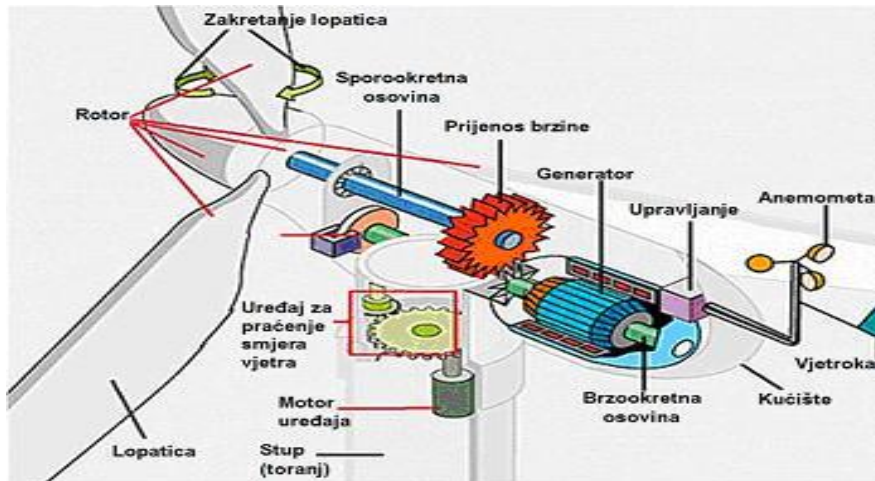
**Rotor** se sastoji od glavčine i lopatica. Ovisno o regulaciji snage, rotor može biti izveden na dva načina. Regulacija napadnog kuta tijekom rada vrši se zakretanjem lopatica. Lopatice se zakreću tako da se profil namjesti u optimalni položaj. Regulacija takve vrste je složena i skupa, a rotor se izvode za primjenu za lopatice čija je dužina od 25 do 30 metara. Isto tako, pomoću aerodinamičkog efekta može se vršiti regulacija snage vjetroturbine. S promjenom brzine vjetra dolazi do poremećaja trokuta brzina, tj. raste ili se gubi uzgon. To znači da se na aeroprofilu mijenja napadni kut struje zraka. U ovom slučaju omogućena je veća pretvorba energije vjetra u električnu energiju zbog lopatica koje imaju unaprijed namješten kut za područje brzina.

Aerodinamički uzgon pokreće **lopatice** rotora. Lopatice imaju visok stupanj pretvorbe energije vjetra u mehanički rad. Zbog najpraktičnije i najisplativije konfiguracije koriste se tri lopatice. S obzirom na izvedbu, lopatice se dijele na lopatice sa zakretnim vrhovima ili na lopatice sa krilcima. Način rada lopatica sa krilcima je taj da se krilca odvajaju od površine, pa se time smanjuju aerodinamičke značajke profila. Izvedbe lopatica sa vrhovima i krilcima su također i sekundarni sustavi za kočenje. Oni stvaraju moment kočenja u slučaju otkazivanja primarnog sustava za kočenje. Na taj način se ograničava brzina vrtnje rasterećenog kola.

**Generatori** za vjetroagregate imaju posebnu konstrukciju jer rade sa varijabilnim snagama. Svi jači vjetroagregati koriste generatore izmjeničnog napona. Generatori se hlade zrakom. U vjetroagregate se ugrađuju sinkroni ili asinkroni generatori. Sinkroni generatori se koriste kada je mreža slaba ili prijenosna, a asinkroni služe za jaku distribucijsku mrežu.

**Kučište** ima dvije funkcije. Štiti generator od utjecaja okoliša, a isto tako zaštićuje okoliš od buke koju sustav proizvodi.

**Stup** je najčešće cijevaste izvedbe, ali može biti i rešetkasti. U unutrašnjosti stupa najčešće se nalaze stube, a kod većih izvedbi ugrađuje se dizalo. Transformator koji povezuje vjetroagregat sa sredjenaponskom mrežom, kontrolna i mjerna jedinica nalaze se u podnožju. [11]



Slika 2.1. Dijelovi vjetroagregata

### 2.2.1. Pretvorba energije u vjetroagregatu

Pomoću lopatica rotora se kinetička energija vjetra pretvara u kinetičku energiju vrtnje vratila. Pri tome je specifična snaga vjetra jednaka:

$$P_{vj} = \frac{\rho \times v^3}{2} \quad (2-1)$$

gdje  $P_{vj}$  predstavlja specifičnu snagu vjetra koja je ovisna o gustoći zraka  $\rho$  i kubu brzine vjetra  $v^3$ . Brzina vjetra u općem slučaju nije konstantna, pa je stoga prosječna snaga jednaka:

$$P_{vj} = \frac{1}{2T} \times \int \rho \times v^3(t) dt \quad (2-2)$$

Na razini mora se uzima  $P_{vj}=0,6v^3$  za specifičnu snagu vjetra. Množenjem snage sa vremenom dobiva se kinetička energija vjetra:

$$E_{k,vj} = \int_0^t P_{vj}(t) dt \quad (2-3)$$

gdje je  $E_{k,vj}$  predstavlja kinetičku energiju vjetra. Kako vjetar mora strujati da bi se omogućio dolazak vjetru iza sebe, dio ukupne kinetičke energije postaje neiskoristivo. To je Betzov zakon koji predstavlja jednakost omjera snage na vratilu vjetroagregata i raspoložive snage u slobodnoj struji vjetra. Matematički se prikazuje stupnjem aerodinamičke pretvorbe:

$$c_p = \frac{P_t}{P_{vj}} = \frac{P_t}{\frac{1}{2} \times \rho \times v^3} \quad (2-4)$$

gdje  $c_p$  predstavlja stupanj aerodinamičke pretvorbe, a  $P_t$  označuje transformiranu snagu. Betzova granica iznosi 0,593 i ona je najveći mogući stupanj aerodinamičke pretvorbe. Svaki moderan vjetroagregat ima maksimalnu učinkovitost koja ne može biti veća od:

$$P_{t,max} = 0,593 \times \frac{\rho \times v^3}{2} \quad (2-5)$$

Radi dodatnih gubitaka kod pretvorbe energije vjetra u električnu energiju, proizlazi da je moguće nešto manje od polovice kinetičke energije vjetra iskoristiti kao korisnu električnu energiju.

## 2.3. Podjela vjetroturbina

Podjela vjetroturbina s obzirom na položaj osi rotora:

1. vjetroturbine sa horizontalnom osi rotora
2. vjetroturbine sa vertikalnom osi rotora

Najvažnije karakteristike modernog vjetroagregata su rotor sa tri lopatice i cijevna izvedba stupa. Vjetrogeneratori su usavršeni na tri načina: funkcionalno, tehnološki i aerodinamički. Obodna brzina im je velika, stupanj iskoristivosti visok, a pouzdanost je dobra. Dužina lopatica može biti od 20 do 50 i više metara.

Vjetroturbina sa horizontalnom osi rotora (HAWT-Horizontal Axis Wind Turbine) može imati dvije izvedbe lopatica rotora. Lopatice rotora mogu biti smještene sa zavjetrinske strane stupa ili sa privjetrinske strane stupa. Puno više nedostataka ima smještaj sa zavjetrinske strane stupa, kao što je uvijanje električnih kabela. Zbog toga se puno manje koristi i upotrebljava se za jedinice manjih snaga. Kod privjetrinske izvedbe, broj lopatica je najčešće neparan radi dobivanja veće stabilnosti konfiguracije. Sve više dolazi do razvoja privjetrinskih vjetroturbina sa dvije lopatice. Glavni razlozi su lakše postavljanje, jeftinija cijena i veća pouzdanost. Postavljanjem vjetroturbina na visoke tornjeve omogućava se pristup većim brzinama vjetra. Poboljšanje stabilnosti vjetroturbine se dobiva tako da se lopatice postavljaju sa strane, gledajući iz centra mase. Veću kontrolu daje mogućnost zakreta lopatica. Time je omogućeno namještanje optimalnog kuta, pa je vjetroturbina u mogućnosti iskorištenja maksimuma energije vjetra i učvršćenja lopatica u oluji. Time se minimizira potencijalna šteta. Većini ovakvih vjetroturbina je potrebno ugraditi sustav za zakretanje turbine, čime se dodatno poskupljuje izvedba. Tornjevi koji su visoki i dugačke lopatice rotora turbine nerijetko predstavljaju problem transporta na moru i kopnu. Od svih ukupnih troškova, transportni troškovi mogu iznositi i do 20% od ukupnih troškova opreme. Postavljanje HAWT turbina je problematično zbog vrlo skupih i visokih dizalica. Zbog turbulencija kojima su izložene, izvedbe koje gledaju od vjetra imaju kraći vijek trajanja.

Vjetroturbine sa vertikalnom osi rotora (VAWT – Vertical Axis Wind Turbine) imaju manju zastupljenost radi slabe iskoristivosti i preslabih brzina vjetra pri tlu. Njihova konstrukcija bez stupa je najpraktičnija i najprimjenjivija kod izvedbi malih vjetroturbina. Najvažnija njihova značajka je vertikalno postavljena os vrtnje. Najveća prednost je ta da je turbina učinkovita i bez direktnog puhanja vjetra, a to je najpogodnije na lokacijama gdje je smjer vjetra promjenjiv. Glavna značajka VAWT turbina je iskorištavanje energije iz različitih smjerova vjetra.

Vjetroturbine sa vertikalnom osi su pristupačnije za održavanje jer se postavljaju bliže tlu i nisu potrebni visoki tornjevi. Glavni nedostatak je manja brzina vjetra na manjim nadmorskim visinama, što ima za posljedicu manje raspoložive energije za pretvorbu. Isto tako, blizu tla i objekata često dolazi do turbulentnog stujanja zraka, pa dolazi do vibracija, bržeg trošenja ležajeva i u konačnici do kraćeg vijeka trajanja. Rješenje problema bi bilo postavljanje vjetroturbine na krov zgrade čime bi se značajno povećala brzina vjetra. Najisplativija primjena VAWT vjetroturbina bi se mogla pronaći u budućim pučinskim/plutajućim vjetroelektranama.

VAWT turbine se mogu podijeliti na:

1. Darrieusove turbine
2. Savoniusove turbine

Darrieusova turbina se izrađuje sa dvije ili tri lopatice i radi ponačelu flotacije. Lopatice su dugačke i tanke u obliku slova C. Spojene su pri vrhu i dnu vertikalne osi. Imaju dobru iskoristivost, ali zbog značajnih cikličkih naprezanja koje proizvode imaju slabiju pouzdanost. Zbog slaog početnog okretnog momenta potreban im je vanjski izvor struje koji im pomaže kod pokretanja. Stabilnost im je slabija pa se pridržavaju metalnim kabelima, što nije uvijek najpraktičnije rješenje. Novije izvedbe imaju vanjsku substrukтуру koja je pričvršćena na gornjrm ležaju.



Slika 2.2. Darrieusova turbina.

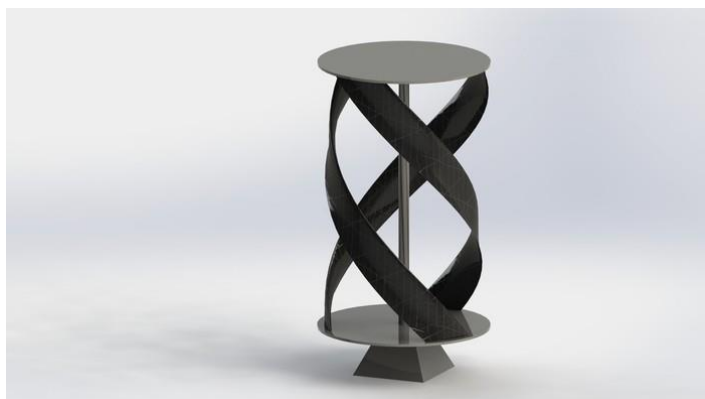
Savoniusov tip turbine je izumljen u Finskoj. Karakteristična je po obliku slova S. Energija vjetra se pomoću Savoniusove turbine pretvara u moment na rotirajućem trupu. Kretanje turbine je relativno sporo, ali može stvarati značajan okretni moment. Savoniusove turbine se koriste pretežito za kućanstva zbog nemogućnosti proizvodnje električne energije u većim količinama.



Slika 2.3. Savoniusova turbina.



Zbog nekih nedostataka Darrieusove turbine, dizajneri su došli do rješenja kako poboljšati i unaprijediti turbinu. Dizajnirana je spiralna Gorlov turbina koja koristi spiralne lopatice. Prednosti turbine su samopokretanje, nije potreban vanjski električni izvor, te su buka i vibracije svedene na minimum. Iskoristivost turbine je do 35%. [11]



Slika 2.4. Gorlov turbina.

Vjetroagregati se s obzirom na mjesto korištenja dijele na kopnene, priobalne i pučinske. Kopnenih vjetroagregata ima najviše, a i koriste se najduže. Najčešće su smješteni u brdovitim područjima, a od naselja su udaljeni 3 kilometara i više. Rdi iskorištavanja topografske akceleracije koju vjetar dobiva kada prelazi preko uzvisine, najčešće se smještaju na vrh brda ili padine zbog dodatne brzine vjetra koja je značajna pri proizvodnji električne energije. Kod postavljanja turbine treba paziti na točnost postavljanja jer i malo odstupanje može znatno utjecati na proizvodnju električne energije. Priobalni vjetroagregati se postavljaju na moru, najčešće u priobalnom području- Grade se na područjima gdje dubina vode iznosi oko 60 metara.

Instalacije morskih vjetroagregata su znatno skuplje od kopnenih zbog viših tornjeva koji se postavljaju. Prijenos proizvedene električne energije se do kopna prenosi putem podmorskih kabela. Visoka je cijena održavanja vjetroagregata zbog zaštite od korozije. Da bi se spriječila korozija, dodaju se dodatni premazi i katodna zaštita. Vjetroelektrane koje su smještene na moru mogu imati i preko 100 vjetroagregata. Na mjestima gdje nije moguće postaviti priobalnu vjetroelektranu, na plutajuću strukturu se u dubljem moru postavljaju plutajući ili pučinski vjetroagregati. Takva vrsta vjetroelektrana je složena i zahtijeva veća početna ulaganja. Međutim, pokazala se isplativost primjene plutajućih vjetroelektrana zbog mogućnosti pristupa snažnijim vjetrovima. Više plutajućih vjetroagregata se povezuje u vjetroelektranu zbog zajedničkog korištenja podvodnog kabela koji služi za prijenos električne energije.

Visinske vjetroelektrane su dizajnirane tako da su bez potpore tornja na različite načine podignute u visinu. One iskorištavaju energiju vjetra u višim slojevima atmosfere. Dije se na vjetroelektrane za iskorištavanje vjetra na nižim visinama i vjetroelektrane za iskorištavanje vjetra na višim visinama. Prednosti im je ta što mogu iskorištavati energiju vjetra na većim visinama od onih koje su montirane na tlu, mogu se montirati na bilo kojoj lokaciji u svijetu, te su ekološki prihvatljivije jer ne ispuštaju stakleničke plinove.

Tehnologija visinskih vjetroelektrana je i ekonomski isplativa, s obzirom da je procijenjeno da bi vjetroelektrane mogle proizvoditi električnu energiju po cijeni od 2 centa po KWh. Visinske vjetroelektrane imaju mogućnost podešavanja visine i pozicije područja rada. Time se dobiva veća iskoristivost energije vjetra. Sa instalacijom visinskih vjetroelektrana dolazi i opasnost ometanja zračnog prostora i zrakoplovnih nesreća, ali i opasnost od munja. Vjetroelektrane postaju gromobrani jer su napravljene od metala, pa ih treba smjestiti dalje od naseljenih područja. S

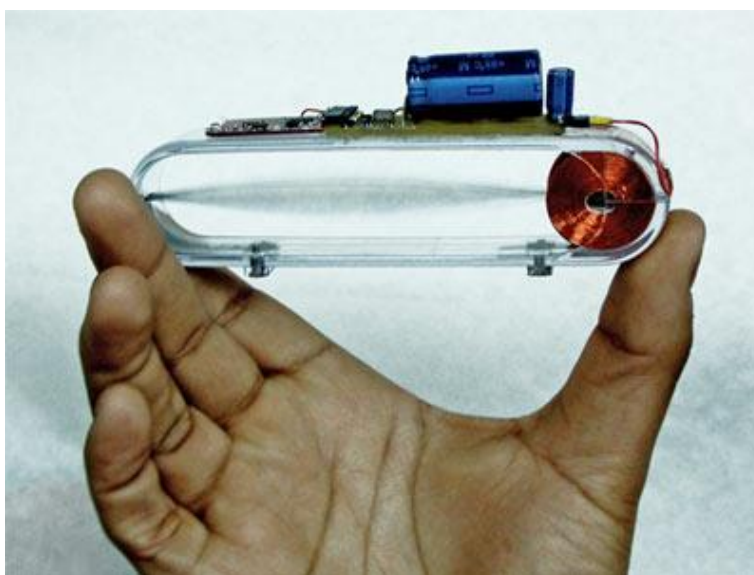
povećanjem visine povećavaju se i troškovi. Vodiči se produljuju, mijenja se temperatura zraka, intenzitet vremenskih nepravilnosti te izloženost turbulencijama.

### 2.3.1. Nove tehnologije

#### Windbelt-energija vjetra bez lopatica

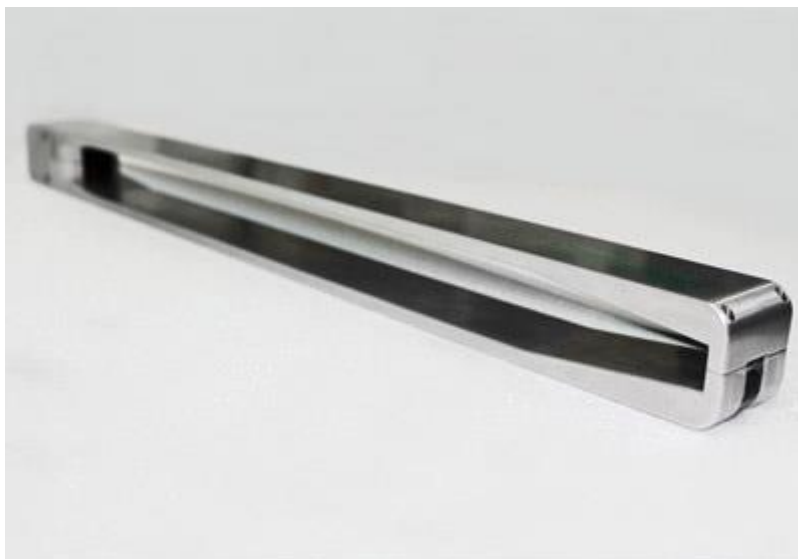
Prvi uređaj koji je počeo sa korištenjem energije vjetra na novi način je Humdingerov Windbelt. Umjesto korištenja lopatica, Windbelt pokreće aeroelastično treperenje. Mehanizam aeroelastičnog treperenja pretvara energiju u električnu pomoću drugačijih tehničkih i ekonomskih osnova, za razliku od uobičajenih vjetroagregata. Najvažniji dio Windbelta je opna. Ona pod pritiskom treperi te „hvata“ energiju iz vjetra. Pomoću nove vrste pobudnih generatora, energija opne koja treperi se pretvara u električnu energiju. Windbelt proizvodi vrlo malu buku koja je usporediva sa pozadinskom bukom koja je proizvedena iz drugih izvora.

Tri su osnovne izvedbe Windbelta: microBelt, Windcells i Windcell Panel. Uz pomoć microBelta može se riješiti napajanje milijuna bežičnih senzora koji koriste baterije. Samo jedna microBelt jedinica koja je veličine baterije se može usporediti sa proizvodnjom električne energije koju proizvode nekoliko desetaka do stotina AA baterija. Tokom 20 godina, microBelt može proizvesti 100 do 200 Wh električne energije.



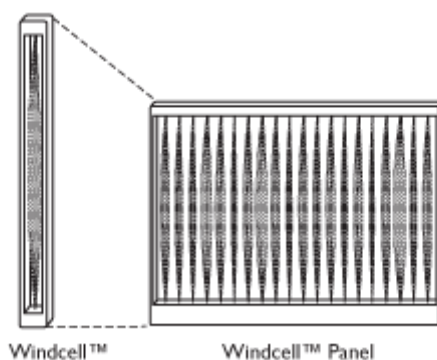
Slika 2.5. Primjer microBeltova izgleda uživo.

Windcells su uređaji srednje veličine, a ukupna dužina im je oko 1 metar. S obzirom na potrebu električne energije, mogu raditi sami ili u grupama. Njima se napajaju WiFi repetitori ili oceanske bove za navigaciju.



Slika 2.6. Windcell dužine 1 m.

Windcell Panels su najveći agregati, sastavljeni od 20 Windcellova u okviru 1x1 metar. Troškovi proizvodnje električne energije iznose 0,05 dolara po KWh pri brzinama vjetra od 6 m/s. Izgledaju slično solarnim panelima koji su vertikalno postavljeni. Mjesečno proizvode oko 7,2 KWh električne energije pri prosječnoj brzini vjetra od 6 m/s. Sredinom 2010. je dovršena prva eksperimentalna instalacija Windcell Panela, i to u industrijskom sektoru Hong Konga.



Slika 2.7. Windcell panel .

### **Posejdon – plutajuća elektrana**

Projekt Posejdon je razvio Floating Power Plant, danska kompanija koja ima patent na projekt. Floating Power Plant je uspio razviti jedinicu u pogonu kroz dizajniranje i modeliranje različitih modela. Demonstracijska hibridna elektrana koja koristi obnovljive izvore energije je teška 360 tona, 37 metara široka, 25 metara duga i 6 metara široka. Elektrana je postavljena u rujnu 2008.godine kraj obale Lolland u južnoj Danskoj, te je to prva elektrana takve vrste ikad napravljena. Elektrana ima plutajuće temelje koji služe kao platforma za dobivanje električne energije iz vjetra i valova.



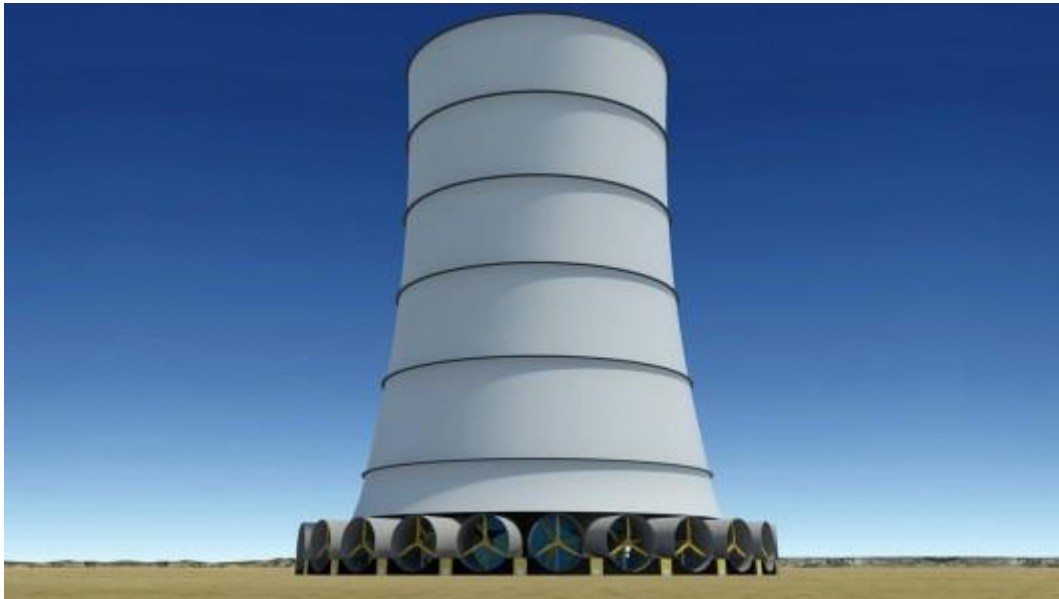
Slika 2.8. Vjetroelektrana „Posejdon“ u Danskoj.

Posejdon se koristi jedinstvenim konceptom korištenja energije valova. Takav koncept je vrlo efikasan jer ima jedinstveni oblik ventila koji može služiti za dizanje i spuštanje valova. Dizajniran je na način da bude pogodan za usidrenje na otvorenom moru u dubokim vodama. Posejdon mora imati čvrstu i stabilnu platformu zbog snage valova koja je glavni kriterij za njegovu veličinu. Za efikasan rad potrebni su mu visoki valovi i dobri uvjeti vjetra. U idealnim uvjetima platforma proizvodi i do 50 GWh električne energije. Posejdon je prva platforma koja na dubinama većim od 35 m efikasno koristi obnovljive izvore energije. Prednost je ta što se servisiranje može obaviti pomoću servisnog broda koji se spaja na platformu.

### **Solarni stup koji provod vjetar**

Projekt *Solar Wind Downdraft Tower* osmislila je tvrtka Solar Wind Energy Inc. u SAD-u. Tvrtka je osmislila novi dizajn vjetroagregata tako što je na dno cjevastog stupa postavila turbinu koja ima mogućnost proizvodnje vlastitog vjetra tijekom cijele godine.

Stup postavljen na sredini sustava stvara vjetar u smjeru prema dolje. To se odvija pomoću pumpi koje guraju vodu na vrh strukture visine oko 700 metara. Voda se distribuira kao magla preko otvora nakon dolaska vode na vrh gdje ona isparava. Apsorbirana je vrućim, suhim zrakom koji se hladi. Zrak postaje hladniji, gušći i teži od toplog zraka izvan stupa. Ohlađeni zrak se spušta kroz šuplji stup pri brzini od 80 km/h. Nakon toga dolazi do tunela gdje su smještene turbine koje su pokretane gibanjem zraka. Glavni nedostatak sustava je upotreba velikih količina vode, bez obzira što hvata i recirkulira višak vode tokom proizvodnog procesa.



Slika 2.9. Primjer solarnog stupa.

Ako se stup nalazi u toploj i suhoj zoni, ima mogućnost 24-satne proizvodnje električne energije. Tijekom zimskih mjeseci proizvodnja je znatno manja. Stupovi „mogu proizvoditi i dodatnu energiju uz pomoć vertikalnih „vjetrulja“. One mogu hvatati prevladavajuće vjetrove na lokaciji i usmjeravati ih u stup. Nakon što se izgrade, stupovi mogu raditi neprekidno bez da proizvode ugljični dioksid, troše gorivo ili stvaraju otpad.

Lokacija je presudan čimbenik u takvoj vrsti stvaranja električne energije. Istraživanja pokazuju da se na lokaciji Arizone može proizvoditi 1 250 MWh električne energije tokom sunčanih dana, te se može očekivati prosječna dnevna proizvodnja od 435 MWh. Korištenje stupa je isplativo u regijama gdje je suho i toplo tijekom cijele godine (SAD, dio Afrike, Australija, Bliski istok). [10]

## Energetski brodovi

Upotreba energetske brodove bi mogla poslužiti i za proizvodnju električne energije. Električna energija bi se proizvodila pomoću Flettner rotora. Brodovi bi bili u mogućnosti proizvoditi energiju iz vjetra, s time da bi se sva oprema nalazila na brodu. Ideja energetske brodove seže iz 1920. godine kada su i bili testirani prvi brodovi. Glavna zadaća je smanjenje potrošnje goriva uz pomoć rotora koji proizvode dodatni pogon iz vjetra. Istraživanje se dodatno razvija tako da se razvija sintetički plin, tj. električna energija se pretvara u plin. Pomoću kinetičke energije broda gibale bi se rotirajuće turbine. Turbine bi proizvodile električnu energiju koja bi služila za proizvodnju sintetičkog plina uz pomoć elektrolize. Nakon toga plin bi se mogao koristiti kao gorivo i kao proizvođač električne energije ako ima potrebe.

Ovakva vrsta tehnologije može služiti i za proizvodnju sintetičkog plina iz prioblane energije vjetra čime se može smanjiti potreba za nadogradnjom mreže i dodatnim spremanjem energije. Time se dobiva konzistentnije iskorištavanje energije mora i vjetra na širokom području gdje bi brodovi ovakve vrste bili u mogućnosti iskorištavati prosječne brzine vjetra od 15 m/s.

Jedan od problema je pitanje gdje pohraniti proizvedenu energiju kada se ne koristi. Energija u plinovitom ili tekućem stanju se može u rezervoarima dopremiti na obalu te se može koristiti kao izvor električne energije. Energetski brodovi bi bili idealni za opskrbu na morskim platformama gdje se već i vadi prirodni plin. Time bi se dodatno povećao kapacitet broda, ali bi se i uštedilo na putu.

Energetski brod dugačak 100 metara koji ima snagu 5 MW, tokom 3 mjeseca bi bio u mogućnosti raditi sa 80 % kapaciteta. Štetan utjecaj na okoliš, floru i faunu bi bio gotovo nikakav, a emisija ugljičnog-dioksida bi bila smanjena na minimum.

### 3. SUSTAV ZA POHRANU ELEKTRIČNE ENERGIJE

Pohrana energije iz električne mreže odnosi se na postupke koji se koriste kod spremanja električne energije unutar elektroenergetskog sustava. U slučaju veće proizvodnje energije od potrošnje, energija se pohranjuje, a kada potrošnja nadmašuje proizvodnju, koriste se rezerve koje su se pohranile. Time je proizvodnja električne energije izbalansirana, tj. nije potrebno povećanje ni smanjenje proizvodnje. Kako bi skladištenje bilo korisno, mogu se koristiti vjetroturbine kao izvor energije. Vjetroturbine kao intermitentni izvori energije su nepredvidivi zbog vremenskih uvjeta. Zbog toga količina energije koja je proizvedena uvijek varira i uvijek je nepredvidiva.

U električnoj mreži gdje se energija pohranjuje, izvori ovise o energiji koja je pohranjena u gorivu (ugljen, nafta, plin). Zbog toga se prilagođavaju povećanju ili smanjenju proizvedene energije iz intermitentnih izvora. Operater skladištenjem energije može prilagoditi proizvodnju električne energije prema potrošnji. Tijekom vremena, proizvodnja i potrošnja mogu varirati. Skladištenjem se može povećati efikasnost i mogu se smanjiti troškovi proizvodnje, a isto tako i olakšati upotreba intermitentnih izvora.

#### 3.1. Načini skladištenja električne energije

Postoje mnogobrojna tehnološka rješenja kojima se produžava upotreba i koristi proizvodnje obnovljivih izvora energije. Za obnovljive izvore energije, pohrana električne energije ima veliku važnost jer nije potrebna dodatna pomoć od kapaciteta baziranih na fosilnim gorivima. Isto tako, nije potrebno smanjivati mjere u razdobljima kada je potrošnja niska. Za pohranu električne energije postoji široka paleta mehaničkih, elektro-kemijskih i fizičkih tehnologija i principa. Sukladno tome, postoji i vrlo velik spektar performansi za određena područja i za određene količine primjene. Ekonomska izvedba koja ovisi o lokalnim uvjetima je vrlo važan čimbenik u izgradnji dodatnih kapaciteta. Također ovisi i o mjerama i koracima koje je potrebno poduzeti kako bi se osposobio sustav za pohranu.

**Tehnologija pohrane u baterije** nalazi oslonac u elektro-kemijskim reakcijama kod pohrane energije. Energija je pohranjena u kemijskim vezama aktivnog materijala. Ona se vraća kroz niz reakcija oksidacije ili redukcije natrag u električnu energiju. Baterije koje se koriste su litij-ionske(Li-ion), natrij sumporne(NaS), nikal kadmij(NiCd), nikal metal hidrid(Ni-MEH) i olovno sulfatne(PB-kiselina). Za stabiliziranje mreže se koriste baterije koje su povezane sa velikim ispravljačima. Takve baterije su skupe, potrebno ih je stalno održavati, a vijek trajanja im je ograničen zbog stvaranja kristala u ćelijama tijekom punjenja i pražnjenja. Za spremanje energije i proizvodnje energije kod vjetroelektrana koriste se baterije sa vanadijem. Pohrana u baterijama ima višu korisnost od 90 % pa i više.

**Sustavi za pohranu električne energije mehaničkim putem u oblik kinetičke energije** koriste koncept zamašnjaka. Takva metoda se temelji na inerciji. Pomoću elektromotora se ubrzava teški rotirajući disk. Elektromotor može raditi kao generator tako da usporava disk i proizvodi struju. Kako bi se produžilo vrijeme čuvanja energije, trenje mora biti što manje. Veliki zamašnjaci imaju mogućnost spremanja velikih količina energija. Kako bi izdržali centrifugalne sile za njih su potrebni čvrsti materijali kao što su čelici ili kompoziti. Zamašnjake je najbolje koristiti kada se ujednačavaju opterećenja na željezničkim elektrosustavima i kod poboljšanja kvalitete energije u sustavima koji koriste obnovljivu energiju. Sustavi kojima je potrebna velika količina energije na kratke vremenske periode koriste zamašnjake.

**Vodik** se može koristiti za pohranu električne energije kroz proces reverzibilne elektrolize vode. Proizvodnja se odvija sa upotrebom električne energije ili topline, komprimira se ili ukapljuje.

Može se iskoristiti kao gorivo, a po potrebi se može pretvoriti u električnu energiju ili toplinu. Dva su načina proizvodnje vodika- reformacija zemnog plina i elektroliza vode na vodik i kisik. Kod reformacije zemnog plina dolazi do stvaranja ugljikovog dioksida. Kako bi se povećala efikasnost dobivanja vodika, može se koristiti elektroliza pod visokim tlakom i elektroliza na visokoj temperaturi. Efikasnost pohrane istosmjerne struje pomoću vodika kreće se oko 20-25%, što čini vodik neprikladnim, osim za specijalne primjene. Da bi se ta metoda isplatila, potrebno je spremljenu energiju prodavati po cijeni četiri puta većoj od nabavne.

**Reverzibilne hidroelektrane** se koriste kod ublažavanja opterećenja mreže. Rade na način da pumpaju vodu i rezervoar kada je mala potrošnja energije, uz pomoć viška energije iz nuklearnih elektrana ili termoelektrana. Kada je potrebno, voda se može koristiti za proizvodnju električne energije. Reverzibilne hidroelektrane su jeftin način pohranjivanja energije jer su u mogućnosti vraćati i do 75 % potrošene energije. Imaju veliku fleksibilnost jer se brzo uključuju, pa su korisne kod pokrivanja promjenjivosti potražnje električne energije. Za pumpanje vode se mogu koristiti i energija sunca i vjetra. Vjetroturbine ili solarne ćelije mogu direktno pogoniti pumpe, pa sa time povećavaju korisnost, ali takav sistem funkcionira samo uz dovoljnu količinu vjetra i dnevne svjetlosti.

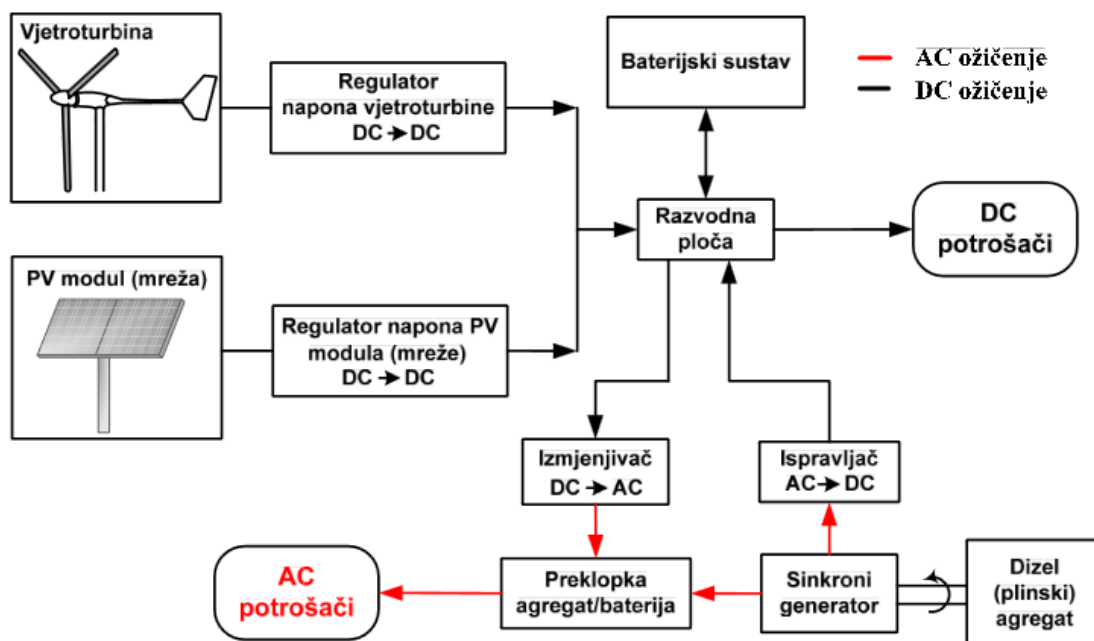
**Supravodljivo magnetsko skladištenje energije** skladišti energiju u magnetsko polje koje stvara istosmjerna struja. Kada se istosmjerna struja usmjeri u supravodljivu zavojnicu stvara se magnetsko polje. U polju je pohranjena energija, a kada se zatvoreni krug ponovo otvara, energija se iz njega oslobađa. Takva vrsta sustava je sastavljena od tri dijela: supravodljive zavojnice, sustav za pretvorbu i kriogenički ohlađen hladnjak. Kada zavojnicom teče struja tok ne nestaje, a magnetska energija se pohranjuje beskonačno dugo. Ispravljač pretvara električnu energiju iz izmjenične u istosmjernu i suprotno, a saka pretvoba ima gubitke od oko 2 do 3%. Ova metoda ima najmanje gubitke, a korisnost doseže i više od 95%.



## 4. SAMOSTALNI ENERGETSKI SUSTAV

Samostalni ili otočni sustavi su sustavi gdje se električna energija skladišti u baterije ili akumulatore. Time se osigurava potpuna energetska neovisnost. Takva vrsta sustava je najpogodnija na mjestima gdje nije moguća izgradnja električne mreže ili izgradnja iste nije ekonomična. Kod projektiranja samostalnih fotonaponskih sustava potrebno je napraviti temeljitu procjenu potrošnje i vršne snage potrošača. Također se određuje i režim korištenja i željena neovisnost kada nema sunca. Kako bi sustav bio efikasan kroz cijelu godinu potrebno ga je prilagoditi za zimske mjeseci koji su najnepogodniji period za dobivanje električne energije.

Oprema se usklađuje sa režimom korištenja u slučaju potrošnje sezonskog ili vikend karaktera. Kod planiranja otočnih sustava se osigurava dovoljna količina energije u svakom trenutku. Isto tako, popisuju se svi električni uređaji i izvršuje se procjena rada za svaki uređaj posebno. Iz tih podataka dobije se potrošnja na temelju koje se vrši izbor dijelova sustava te se vodi računa o maksimalnoj jednovremenoj potrošnji kućanstva. Samostalni energetska sustav gotovo je uvijek hibridnog karaktera, što znači da sadrži više od jednog tipa generatora električne energije.[12]



Slika 4.1. Blok shema hibridnog energetska sustava.

Hibridni sustav najpovoljniji za naše podneblje je sustav koji kombinira energiju sunca i vjetro, tj. kombinacija fotonaponskih modula i vjetrogeneratora. Osim navedenih obnovljivih izvora energije, hibridni sustav može imati i dizel ili plinski agregat za dobivanje električne energije. Takav dodatak sustavu ne smije biti primarni izvor energije, nego agregat mora biti u funkciji sigurnosnog napajanja ili kao povremena ispomoć kod loših vremenskih uvjeta.

Dijelovi hibridnog sustava fotonapona i vjetrogeneratora:

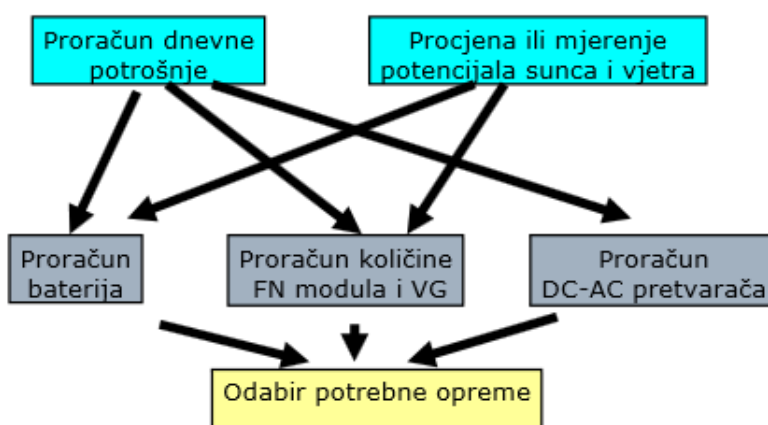
- fotonaponsko polje sa pripadajućim regulatorima
- jedan ili više vjetrogeneratora i njegovih regulatora
- baterijski blokovi za akumuliranje proizvedene energije
- izlazni DC/AC pretvarači koji omogućavaju korištenje klasičnih električnih trošila

Veća raspoloživost se dobiva kada se kombiniraju izvori. Izostankom jednog izvora ne gubi se napajanje. Većina energije za sunčanih dana dolazi iz fotonaponskog dijela sustava. U zimskim danima i periodima kada je oblačno, većina energije dolazi iz vjetroagregata.

#### 4.1. Projektiranje hibridnog sustava

Omjer jakosti fotonaponskog dijela sustava i dijela koji daje energiju iz vjetroagregata ovisi o položaju samog objekta i o načinu korištenja. Ako nema značajnijeg vjetropotencijala na lokaciji, fotonapon prevladava kod objekata koji se koriste samo u ljetnom periodu. Veća instalirana snaga je poželjnija kod objekata koji se oriste cijele godine, a koji su smješteni na lokaciji sa zadovoljavajućim vjetropotencijalom.

Baterijski blokovi hibridnog sustava se dimenzioniraju tako da se dobit iz oba izvora maksimizira, te je potrebna opskrba trošila kada dođe do izostanka obaju izvora. DC-AC pretvarač mora biti u stanju izdržati poteznu struju najjačeg trošila u sustavu. Istovremeno mora napajati trošila koja su često uključena. U obzir treba uzimati poteznu struju kod trošila koja imaju ugrađen električni motor. Također pažnja se obraća i na oblik napona i struje koji daje pretvarač. Za dobro projektiranje hibridnog sustava potrebno je poznavati smještaj objekta, potrebe za energijom na dnevnom nivou, vrste trošila u objektu, termini i načini korištenja objekta.[13]



Slika 4.2. Osnovni koraci projektiranja hibridnog sustava.

## 4.2. Primjer hibridnog sustava-vikendica na otoku

Da bi se napravili proračuni potrebno je znati koje opterećenje mora energetski sustav zadovoljiti. Odgovarajuće komponente sustava se odabiru ovisno o raspoloživim obnovljivim izvorima energije i o opterećenju. Prikupljaju se podaci o opterećenju sustava za barem jedan dnevni profil i podaci o raspoloživim obnovljivim izvorima energije. Podaci o opterećenju se prikupljaju na način da se kreira tablica opterećenja iz nazivnih podataka potrošača stambenog objekta, što je vidljivo u tablici br. 5.

Tablica br.5: Prikaz ukupnog dnevnog opterećenja

TROŠILO	SNAGA (W)	KOMADA	VRIJEME RADA (h)	FAKTOR GUBITKA	UTROŠENA ENERGIJA (Wh)
Pumpa za vodu	900	1	2	1.4	2520
Hladnjak	60	1	24	1.4	2016
Televizor	65	1	5	1.4	455
Glačalo	1700	1	0.5	1.4	1190
Računalo	90	1	6	1.4	756
Grijalo vode	2000	1	3	1.4	8400
Sušilo za kosu	1800	1	1	1.4	2520
Kuhalo za vodu	2200	1	0.25	1.4	770
Usisač prašine	2300	1	0.75		2415
Perilica rublja	2000	1	4	1.4	11200
Rasvjeta	100	8	1.5	1.4	1120
<b>Ukupno (Wh/dan)</b>					<b>33362</b>

### Proračun:

primjer 1: KORISTI SE JEDNA VJETROTURBINA

primjer 2: KORISTE SE DVIJE VJETROTURBINE

problematika: veličina vjetroturbine za primjer 1 i primjer 2

**FORMULA:**  $P = \frac{1}{2}(c_p \times \rho \times A \times v^3)$

\*mjerna jedinica  $[W = m^2 \times \frac{kg}{s^3}]$

$c_p$ = koeficijent snage = 4,45

$$\rho = \text{gustoća zraka} = 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

A = površina koju pokriva elisa

$$v = \text{brzina vjetra na 10 m} = (3,7)^3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 50,653 \frac{\text{m}^3}{\text{s}^3}$$

P = ukupna snaga (uzeto iz tablice br.5) = 33362 W

- **izračun za jednu vjetroturbinu:**

$$33362 \text{ W} = \frac{1}{2} \left( 4,45 \times 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times A \times 50,653 \frac{\text{m}^3}{\text{s}^3} \right)$$

$$33362 \text{ W} = \frac{1}{2} \left( 276,12 \frac{\text{kg}}{\text{s}^3} \times A \right)$$

$$33362 \text{ W} = 138,06 \frac{\text{kg}}{\text{s}^3} \times A$$

$$\underline{A = 241,65 \text{ m}^2}$$

- **izračun za dvije vjetroturbine:**

Potrebno je pokriti 60% potrebne energije.

Za ovaj slučaj se uzima manja snaga jer svaka vjetroturbina mora moći pokrivati samo 60% potrebne energije:

$$33362 \times 0,60 = 20017,2 \text{ W}$$

$$20017,2 \text{ W} = \frac{1}{2} \left( 4,45 \times 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times A \times 50,653 \frac{\text{m}^3}{\text{s}^3} \right)$$

$$20017,2 \text{ W} = \frac{1}{2} \left( 276,12 \frac{\text{kg}}{\text{s}^3} \times A \right)$$

$$20017,2 \text{ W} = 138,06 \frac{\text{kg}}{\text{s}^3} \times A$$

$$\underline{A = 145 \text{ m}^2}$$

## 5. ZAKLJUČAK

Vjetar je jedan od prirodnih izvora energije koji će uvijek biti raspoloživ. Energija vjetra posljednjih godina zauzima sve veće mjesto u proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora te izgleda kao najperspektivniji izvor energije budućnosti. Korištenjem energije vjetra smanjuje se potreba uvoza struje iz stranih zemalja čime se pojačava lokalna ekonomija. Proizvodnja struje iz energije vjetra nema štetnog utjecaja na okoliš.

Tehnologija iskorištavanja energije vjetra je sve više dostupna i u neprekidnom je napretku. Zbog sigurnosti i neštetnosti obnovljivih izvora energije, javnost ima pozitivno mišljenje o ovakvoj vrsti upotrebe energije. Vjetroelektrane pobuđuju zanimanje ne samo malih privatnih investitora, već i svih velikih elektroenergetskih kompanija. Zaslužne su za većinu novoinstalirane snage za proizvodnju električne energije u energetskom sektoru i za otvaranje stotina tisuća novih radnih mjesta diljem svijeta. Vjetroagregati su postali specijalizirani za skoro sve klimatske uvjete i za sve vrste terena, pa ih se može pronaći u tropskim područjima te i u arktičkim uvjetima. Narasli su do skoro nezamislivih dimenzija. Na najvećim svjetskim vjetroagregatima kombinirana visina stupa i lopatice doseže visine i iznad 200 m. Pojedinačna snaga najvećih vjetroagregata prelazi 6 MW. U zadnjih 10 godina standardne dimenzije vjetroagregata su se udvostručile, a snaga se povećala i do tri puta.

Sa sve većim razvojem dimenzija, razvijaju se i nove tehnologije i spoznaje o učinku vjetroelektrana na elektroenergetsku mrežu. Sve se više razvijaju i vjetroagregati koji su u mogućnosti pružati potporu mreži, a s time imaju i pozitivan utjecaj na stabilnost sustava. Također, u razvoju su i napredni prognostički modeli vjetra kojima je točnost i do nekoliko dana unaprijed. Komponente vjetroturbina su ponovo iskoristive te se lako sastavljaju i rastavljaju.

Vjetroturbine su strukture koje su privremene i svojom pojavom ne mijenjaju ni ne uništavaju ništa. Vijek trajanja im je 20 godina, a može proizvesti 30 do 82 puta više energije nego što je potrebno za njezinu izradu, dostavu, korištenje i rastavljanje. Mjerenja infrazvuka na vjetroelektranama su pokazala da zvuk ima duboku frekvenciju koje ljudsko uho ne može osjetiti. Provodile su se i različite znanstvene studije radi utjecaja vjetroelektrana na ptice i divljač. Ustanovilo se da se divljač vrlo brzo privikava na turbine. Problem zalijetanja ptica u rotore se pokazao puno manjim od očekivanog jer ptice percipiraju pokretne predmete i reagiraju izmicanjem.

## LITERATURA

- [1] V. Potočnik, V. Lay, *Obnovljivi izvori energije i zaštita okoliša u Hrvatskoj*, Zagreb, 2002.
- [2] Energetski institut „Hrvoje Požar“, *Nacionalni energetski programi: uvodna knjiga*, Zagreb, 1998.
- [3] Goran Granić... [et. al.], Energetski institut „Hrvoje Požar“, *Strategija energetskog razvitka Republike Hrvatske*, 1998.
- [4] Hrvatska gospodarska komora, *Obnovljivi izvori energije u Republici Hrvatskoj (energija vjetra, malih vodotoka i geotermalnih voda)*/ (M. Šćulac Domac, F. Vančina ur.), Zagreb, 2006.
- [5] «Analiza prostornih mogućnosti za korištenje energije vjetra u Primorsko-goranskoj županiji» 2009. <http://www.zavod.pgz.hr/Home.aspx?PageID=82> [3. srpnja 2014.]
- [6] I. Zelenko, «Što je vjetar i kako nastaje», <http://www.vjetroelektrane.com/sto-je-vjetar?showall=1>
- [7] Z. Šimić, «Korištenje energije vjetra za proizvodnju električne energije», 2010., <http://oie.mingo.hr/UserDocsImages/Vjetar%20prezentacija.pdf> []
- [8] «Povijest korištenja energije vjetra» <https://sites.google.com/site/energijavjetrapag/povijest-korištenja-energije-vjetra>, []
- [9] «Vjetroelektrane u Hrvatskoj» [http://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroelektrane\\_u\\_Hrvatskoj](http://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroelektrane_u_Hrvatskoj) []
- [10] L. Jerkić, «Nove tehnologije» 2014. <http://www.obnovljivi.com/nove-tehnologije/2894-novi-solarni-stup-koji-provodi-vjetar-bi-mogao-revolucionizirati-tehnologiju-energije-vjetra> []
- [11] L. Jerkić, «Moderni vjetroagregati i pretvorba energije» 2010., <http://www.vjetroelektrane.com/moderni-vjetroagregati-i-pretvorba-energije> <http://www.vjetroelektrane.com/moderni-vjetroagregati-i-pretvorba-energije> []
- [12] «Mogućnosti pohrane električne energije» <http://www.croenergo.eu/mogucnosti-pohrane-energije-396.aspx>
- [13] A. Kovačević, «Primjena malih autonomnih energetskih sustava obnovljivih izvora energije», 2010., <http://www.eoling.net/Portals/0/docs/download/Hibridni%20sustavi%20-%20EU%20forum%20o%20obnovljivim%20izvorima%20energije,%20Zadar%202010.pdf>
- [14] Atlas vjetra Hrvatske, <http://mars.dhz.hr/web/index.htm>