

# Održavanje vjetroelektrana

---

**Grahovac, Domagoj**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:668255>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-03**



*Repository / Repozitorij:*

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

Odjel za tehničke studije



**Domagoj Grahovac**

# **ODRŽAVANJE VJETROELEKTRANA**

Završni rad

Pula, rujan 2020. godine

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli  
Odjel za tehničke studije

**Domagoj Grahovac**

## **ODRŽAVANJE VJETROELEKTRANA**

Završni rad

**JMBAG:** 0303076356, redoviti student

**Studijski smjer:** Preddiplomski stručni studij proizvodno strojarstvo

**Predmet:** Održavanje industrijskih postrojenja

**Znanstveno područje:** Tehničke znanosti

**Znanstveno polje:** Strojarstvo

**Znanstvena grana:** Proizvodno strojarstvo

**Mentor:** dr. sc. Jakov Batelić, v.pred.

Pula, rujan 2020. godine



Odjel za tehničke studije

Dr.sc.Jakov Batelić

(Ime i prezime nastavnika)

Održavanje industrijskih postrojenja  
(Predmet)

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

ODJEL ZA TEHNIČKE STUDIJE

ZADATAK TEME ZAVRŠNOGA RADA

Pristupniku Domagoj Grahovac

MBS: 41-PS

Studentu stručnog studija Odjela za tehničke studije, izdaje se zadatak za završni rad  
– tema završnog rada pod nazivom:

Održavanje vjetroelektrana

**Sadržaj zadatka:** Opisati način funkcioniranja vjetroelektrana, razvoj kroz povijest te njihova podjela i specifičnosti. Navesti tipove održavanja te opisati njihove razlike u procesu. Analizirati probleme s komponentama i njihova rješenja. Razmotriti cijenu u proizvodnom procesu te koliko ona ima razliku u padu ili porastu kod popravaka i izgradnje.

Rad obraditi sukladno odredbama Pravilnika o završnom radu Sveučilišta u Puli.

(Ime i prezime studenta): Domagoj Grahovac

(matični br.) : 41-PS

(JMBAG): 0303076356

**Redovni, proizvodno strojarstvo**

(status, smjer)

Datum:

Potpis nastavnika \_\_\_\_\_



## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani, Domagoj Grahovac kandidat za prvostupnika strojarstva ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

---

U Puli, rujan 2020.godine



## IZJAVA

### o korištenju autorskog djela

Ja, DOMAGOJ GRAHOVAC dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj završni rad pod nazivom „Održavanje vjetroelektrana“ koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, rujan 2020.godine.

Potpis

---

## **SAŽETAK**

Održavanje je neizostavan dio svakog tehničkog sustava jer o njemu ovise performanse cijelog postrojenja. Vjetroelektrane kao i svi ostavi sustavi zahtijevaju neku vrstu održavanja, a kod samih vjetroelektrana održavanje se može podijeliti na korektivno, preventivno i prediktivno. U radu se na način promatranja sustava pojašnjava način funkcioniranja vjetroelektrana, njihove specifičnosti te podjela na vrste. Za vjetar se može reći da je obnovljiv, lako dostupan i bogat izvor energije, te se pomoću vjetroelektrane pretvara u korisni oblik energije koju nazivamo električnom energijom. Prvi dio teorijski prikazuje povijest nastanka vjetroelektrana i njihovih agregata, njihove mogućnosti i sami potencijal iskorištavanja vjetra kao energetskog izvora. U drugom dijelu obrađen je princip rada vjetroatregata, nabrojani su dijelovi i objašnjeno je kako se dijele te različite izvedbe vjetroatregata. Vjetroatregatom se smatra rotirajući stroj kojim se kinetička energija pretvara u mehaničku, a glavnu ulogu u pretvorbi energije ima električni generator. Zatim su navedeni prednosti i nedostaci vjetroelektrana, cijena u proizvodnom procesu te koliko ona ima razliku u padu ili porastu kod popravaka i izgradnje. Na samom kraju rada je izrečena teza o izgradnjama vjetroelektrana te njihov utjecaj na okoliš i živi svijet koji na njemu obitava.

**Ključne riječi:** održavanje, raspoloživost, promatranje stanja sustava, ekološko obnovljivi izvor energije i vjetroatregat

## **SUMMARY**

Maintenance is an indispensable part of any technical system because the performance of the entire plant depends on it. Wind farms, like all storage systems, require some kind of maintenance, and with wind farms maintenance can be divided into corrective, preventive and predictive. The way wind turbines work, their specifics include types, wind can be said to be a renewable, easily accessible and rich source of energy, and with the help of wind power it is converted into a useful form of energy called electricity. The first part theoretically shows the history of wind farms and their aggregates. their possibilities and the potential of using wind as an energy source. The second part deals with the principle of operation of wind turbines, lists the parts and explains how different versions of wind turbines are divided. The wind turbine is a rotating machine that converts kinetic energy into mechanical, main ul ogu in energy conversion has an electric generator. Then there are the advantages and disadvantages of a wind farm, the price in the production process which has a difference in decline or increase in repairs and construction. At the very end of the paper, a thesis was stated about the construction of wind farms that have an impact on the environment and the living world that inhabits it.

Keywords: maintenance, availability, system condition monitoring, environmentally renewable energy source and wind turbine



## Sadržaj:

|   |    |
|---|----|
| <b>1. UVOD</b> .....  | 9  |
| <b>2. POVIJEST VJETROELEKTRANA</b> .....  | 11 |
| 2.1. Postupak pretvorbe kinetičke energije vjetra u električnu energiju .....                           | 12 |
| 2.2. Vjetroelektrane u Hrvatskoj.....   | 14 |
| <b>3. VJETROAGREGAT</b> .....   | 19 |
| 3.1. Osnovni dijelovi vjetroagregata .....  | 19 |
| 3.2. Princip rada vjetroagregata.....   | 21 |
| 3.3. Podjela vjetroagregata.....  | 22 |
| 3.3.1. Prema osi vrtnje.....  | 22 |
| 3.3.2. Prema snazi.....   | 25 |
| <b>4. ODRŽAVANJE VJETROELEKTRANA</b> .....  | 26 |
| 4.1. Korektivno održavanje.....   | 27 |
| 4.2. Preventivno održavanje.....  | 28 |
| 4.2.1. Prediktivno održavanje .....   | 29 |
| 4.3. Informacijski sustav .....   | 33 |
| 4.4. Organiziranje održavanja postrojenja vjetroelektrana.....  | 35 |
| 4.5. Popravak vjetroelektrana .....   | 36 |
| <b>5. POLOŽAJI VJETROELEKTRANA</b> .....  | 37 |
| 5.1. Prednosti i nedostaci vjetroelektrana .....  | 38 |
| <b>6. TROŠAK, CIJENA, VRIJEDNOST ENERGIJE VJETRA TE INVESTICIJA<br/>IZGRADNJE VJETROELEKTRANA</b> ..... | 41 |
| 6.1. Problemi s komponentama i rješenja .....   | 44 |
| <b>ZAKLJUČAK</b> .....  | 46 |
| <b>LITERATURA</b> .....   | 47 |
| <b>POPIS SLIKA I TABLICA</b> .....  | 50 |

## 1. UVOD

Vjetroelektrane se smatraju obnovljivim izvorom energije pogonjen kinetičkom energijom vjetra. električnom energijom smatra se oblik energije sunca, jer sunce neravnomjerno zagrijava razne dijelove zemlje i to dovodi do različitih tlakova zraka što rezultira vjetrom koji teži izjednačavanju tlakova zraka. Vjetar nastaje zbog težnje za izjednačavanjem tlakova zraka. Od svih izvora energije, uporaba energije vjetra danas ima jednu od najvećih stopa rasta.

Tema ovog završnog rada je "Održavanje vjetroelektrana" u kojem je glavni cilj objasniti način funkcioniranja vjetroelektrana.

Dodatni ciljevi rada su :

- istražiti razvoj vjetroelektrana kroz povijest,
- protumačiti podjelu vjetroelektrana,
- navesti tipove održavanja te
- objasniti troškove izgradnje i održavanja.

Iz navedenog nameće se glavna hipoteza: „**Održavanje vjetroelektrana vrlo je bitan čimbenik svakog tehničkog sustava, jer o njemu zavise karakteristike kompletnog postrojenja**“.

Složenost teme uz glavnu hipotezu zahtijeva izvođenje i sljedeća pomoćna hipoteza: **H2: "Vjetroelektrane su prihvatljiv oblik obnovljivih izvora energije - ekološki su primjerene, jer ne emitiraju štetne plinove i zauzimaju značajno manje površine od drugih pogona istog kapaciteta"**

Tijekom izrade završnog rada korištene su razne metode kao što su metoda promatranja, istraživanja, analize, povijesna metoda te metoda dokazivanja.

Rad se sastoji od 7 glavnih cjelina.

Drugo poglavlje govori o povijesnom razvoju vjetroelektrana te kroz postupke i formule objašnjava postupak pretvorbe kinetičke energije vjetra u električnu energiju. Isto tako se spominje svih dvadeset vjetroelektrana koje postoje na području Hrvatske.

Treće poglavlje posvećeno je održavanju vjetroelektrana u kojem su prikazani tipovi održavanja te njihove podskupine. Isto tako je spomenuto organiziranje održavanja postrojenja vjetroelektrana koje je potrebno uskladiti s određenim propisima, zakonima i sl.

Četvrto poglavlje govori o lokaciji vjetroelektrana, pa tako postoje kopnene, priobalne, plutajuće, visinske i morske vjetroelektrane.

Peto poglavlje teorijski objašnjava princip rada vjetroatregata, od kojih dijelova se sastoje, te kako se dijele.

Šesto poglavlje opisuje fiksne i varijabilne troškove koji se javljaju prilikom izgradnje i rada vjetroelektrana te su ukratko navedeni problemi i rješenja vjetroelektrane.

U zaključnom djelu istaknuti su rezultati istraživanja koji se povezuju sa postavljenim ciljevima rada.

## 2. POVIJEST VJETROELEKTRANA

Vjetroelektrane već kroz dugo vremensko razdoblje povijesti čovječanstva imaju važnu ulogu. Spominju se još u antičko doba kroz transformaciju kinetičke energije u mehaničku energiju čime se energija vjetra, uz energiju vode, smatra najstarijim oblikom energije koji čovjek koristi. Zapisi o vjetroelektranama spominju se 3000 godina prije Krista na rijeci Nil u Egiptu gdje se primjena vjetra koristila za pokretanje brodova. Energijom vjetra, jedrenjaci su pridonijeli razvoju trgovine jer su se na taj način pronalazili novi prometni putevi, otkrivali novi "proizvodi" te ono najvažnije, otkrivali su se novi kontinenti.

Značaj jedrenjaka pa tako i pretvorba kinetičke energije u mehaničku energiju je umanjena pronalaskom novih tehnologija, kao što su motor s unutarnjim izgaranjem ili nuklearne energije. Energija vjetra se kasnije počela koristiti u svrhe vršenja mehaničkog rada u mlinovima te kako bi se pokretale vodene pume.

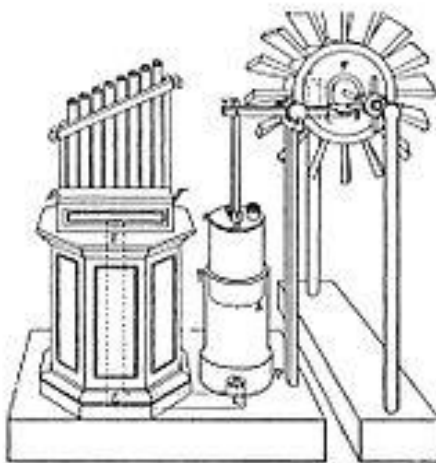
Prvi poznati slučaj bila je Heronova vjetrenjača kojom su se pokretale orgulje ju 1. stoljeću, gdje se energija vjetra koristila za pokretanje stroja putem rotora (slika 1). Prvi primjeri nalik na današnje vjetrenjače bile su u upotrebi u između Afganistana i Irana, u vremenu 7. i 9. stoljeća. Te vjetrenjače su imale pravokutne lopatice s jedrima te su imale vertikalnu os vrtnje, a njihova uloga bila je pumpanje vode te mljevenje. Njihova upotreba se rasprostranila na Bliski istok i Aziju.

Početakom 1180-ih godina vjetrenjače s horizontalnom osi vrtnje ušle su u primjenu u na sjeverozapadnom djelu Europe i koristile su se za mljevenje. U isto vrijeme vjetrenjače su koristile u Kini i na Siciliji za pumpanje morske vode kako bi se dobivala sol.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Vjetroelektrane.com, Povijest, <https://www.vjetroelektrane.com/povijest?showall=1> (pristupljeno 11. kolovoza 2020.)

Slika 1. Heronova vjetrenjača koja je pokretala orgulje



Izvor: Wikipedia, Heron, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Heron>(pristupljeno 10.kolovoza 2020.)

## 2.1. Postupak pretvorbe kinetičke energije vjetra u električnu energiju

Kinetičkom energijom se smatra ona energija koju tijelo ima dok je u stanju gibanja. Energija vjetra se koristi u svrhu pretvaranja u električnu energiju koja je korisni oblik za svakodnevni život. Korisnim oblikom energije, vezan za ovaj rad, smatra se korištenje:

- mlinova na pogon vjetra,
- vjetroagregata za proizvodnju električne energije,
- za proizvodnju mehaničke snage i slično.

Vjetroagregati danas imaju veliku pažnju te zbog svojih mogućnosti imaju veliki interes, a dokaz tome je sve veći broj priključenih agregata na elektroenergetsku mrežu.

Primarne preobrazbe energije vjetra kojima se vjetroagregati koriste za proizvodnju električne energije kreću od fizikalnih osnova vjetra.

Lopaticama rotora vjetroagregata kinetička energija vjetra pretvara se u kinetičku energiju vrtnje, a specifična snaga pri tome je određena formulom:

$$P_{v_j} = \frac{\rho \cdot v^3}{2}$$

gdje  $P_{vj}$  predstavlja specifičnu snagu vjetra, koja varira ovisno o gustoći zraka  $\rho$  i kubu brzine vjetra  $v^3$ .

Općem slučaju brzina vjetra nije konstantna pa se može reći da je prosječna specifična snaga jednaka:  $P_{vj} = \frac{1}{2T} \cdot \int \rho \cdot v^3(t) dt$ ,

a kinetička energija vjetra dobiva se množenjem vremena i snage:

$$E_{kvj} = \int_0^t P_{vj}(t) dt$$

gdje je  $E_{kvj}$  kinetička energija vjetra.

Doduše, u obzir treba uzeti i neiskoristiv dio vjetra kod ukupne kinetičke energije, jer vjetar mora nastaviti strujanje kako bi se omogućio dolazak vjetru iza sebe. To je tzv. Betzov zakon, a matematički se prikazuje stupnjem aerodinamičke pretvorbe koji je jednak omjeru snage na vratilu vjetroagregata i raspoložive snage u samostalnoj struji vjetra:

$$c_p = \frac{P_t}{P_{vj}} = \frac{P_t}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3}$$

gdje je  $c_p$  nivo aerodinamičke pretvorbe ( $\approx 0,45$  za suvremene vjetroturbine, na pojedinim turbinama ide sve do 0,50), a  $P_t$  je transformirana snaga.

Betzovom granicom smatra se najveći mogući stupanj aerodinamičke pretvorbe, te ona iznosi 0,593, a nijedan trenutno dostupan suvremeni vjetroagregat ne može imati učinkovitost veću od.

$$P_{t,max} = 0,593 \cdot \frac{\rho \cdot v^3}{2}$$

Dokazano je kako se manje od polovice kinetičke energije vjetra može iskoristi kao korisna električna energija, a razlog tome je gubitak pri pretvorbi energije za dobivanje električne energije.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Vjetroelektrane.com, Leo Jerkić, Moderni vjetroagregati i pretvorba energije, <https://www.vjetroelektrane.com/moderni-vjetroagregati-i-pretvorba-energije?showall=1> (pristupljeno 12. kolovoza 2020.)

## 2.2. Vjetroelektrane u Hrvatskoj

U Hrvatskoj vjetroelektrane svoj razvoj su započele još 1988. godine kad je tvrtka Končar kreirao i postavio na brodogradilištu Uljanik u Puli svoj prvi vjetroatregat.<sup>3</sup>

Končar je također kreirao moderni prototip vjetroatregata kojeg je postavio na Pometenom brdu kod Splita te se time probio u tržišnoj utakmici s ostalim poznatim proizvođačima. Na temelju promatrajućih karakteristika vjetra na prostorima Hrvatske, Hrvatska ima pogodnih područja koja imaju stabilan vjetropotencijal za izgradnju vjetroelektrana.

Brzina, smjer i učestalost vjetra u Hrvatskoj poželjne su karakteristike za iskorištavanje energije vjetra, a prema navedenim karakteristikama može se reći da se povoljnijim područjima smatraju područja Jadrana od ostatka kontinentalnog dijela Hrvatske.

Razlog tome su prve vjetroelektrane izgrađene pri Jadranu. Hrvatska broji 20 vjetroelektrana koje su u normalnom radu i koje proizvode električnu energiju za elektroenergetski sustav Hrvatske. Instalirana snaga svih vjetroelektrana je 570 MW.

U tih 20 vjetroelektrana je 254 vjetroatregata koji godišnje proizvedu oko 1 475 GWh električne struje. Tablica broj 1 prikazuje popis svih vjetroelektrana te daje podatke o instaliranoj snazi svake od njih.

---

<sup>3</sup> Vjetroelektrane.com, Povijest <https://www.vjetroelektrane.com/povijest?showall=1> (pristupljeno 12.kolovoza 2020.)

Tablica 1. Prikaz vjetroelektrana u Hrvatskoj po godišnjoj potrošnji

| Vjetroelektrana     | Instalirana snaga (MW) | Županija               | Godišnja proizvodnja (GWh) | Vjetroagregati i modeli                      | Puštena u rad |
|---------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|--|---------------|
| VE Lukovac          | 48                     | Splitsko-dalmatinska   | 110                        | 16 x vjetroagregata - 3MW                    | 2017.         |
| VE Poštak           | 44,2                   | Zadarska               | 100                        | 13 x SWT 108 3,4 MW                          | 2017.         |
| VE Danilo           | 43,7                   | Šibensko-kninska       | 100                        | 19 x Enercon E-82-2,3 MW                     | 2014.         |
| VE Vrataruša        | 42                     | Ličko-senjska          | 125                        | 14 x Vestas V90-3 MW                         | 2010.         |
| VE Zelengrad        | 42                     | Zadarska               | 110                        | 14x Vestas V 90- 3 MW                        | 2014.         |
| VE Ogorje           | 42                     | Splitsko-dalmatinska   | 100                        | 14xVestas112-3 MW                            | 2015.         |
| VE Kamensko-Voštane | 40                     | Splitsko-dalmatinska   | 114                        | 14 x Siemens SWT-3.0.101-3 MW                | 2013.         |
| VE Bruška           | 36,8                   | Zadarska               | 122                        | 16x Siemens SWT-93-2,3 MW                    | 2011.         |
| VE Ponikve          | 36,8                   | Dubrovačko-neretvanska | 122                        | 16 x Enercon E-70-2,3 MW                     | 2012.         |
| VE Rudine           | 34,2                   | Dubrovačko-neretvanska | 85                         | 12x General Electric- 2,85MW                 | 2015.         |
| VE Katuni           | 34,2                   | Splitsko-dalmatinska   | 95                         | 12x General Electric- 2,85MW                 | 2016.         |
| VE Jelenik          | 30                     | Splitsko-dalmatinska   | 81                         | 20 x Acciona Windpower- 1,5 MW               | 2013.         |
| VE Glunča           | 20,7                   | Šibensko-kninska       | 53                         | 9x Enercon E-82-2,3 MW                       | 2016.         |
| VE Pometeno brdo 1  | 20                     | Splitsko-dalmatinska   | 50                         | 20 x Končar KO-VA 57/1-1-1MW                 | 2015.         |
| VE Trtar-Krtolin    | 11,2                   | Šibensko-kninska       | 28                         | 14x Enercon E848-0.8 MW                      | 2007.         |
| VE Crno brdo        | 10,5                   | Šibensko-kninska       | 27                         | 7x Leitwind LTW77- 1.5 MW                    | 2011.         |
| VE Orlice           | 9,6                    | Šibensko-kninska       | 25                         | 11 x Encron (3x E-48-0.8 MW+ 8x E-44-0.9 MW) | 2009.         |
| VE Velika Popina    | 9,2                    | Zadarska               | 26                         | 4x Siemens SWT 93-,3 MW                      | 2011.         |
| VE Zadar 4          | 9.2                    | Zadarska               | 9,2                        | 4x Siemens SWT 93-,3 MW                      | 2013.         |
| VE Ravne 1          | 5,95                   | Zadarska               | 15                         | 7x Vestas V52-0,85 MW                        | 2004.         |
| UKUPNO              | 569,55                 |                        |                            | 254  | Kolovoz 2018. |

Izvor: Wikipedia, Vjetroelektrane, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroelektrana> (pristupljeno 10.kolovoza, 2020.)



### **Vjetroelektrana Ravne 1, Pag**

Vjetroelektrana Ravne se nalazi na otoku Pagu na brdu Ravne, a nastala je 2004. godine kao prvi moderni projekt korištenja energije vjetra u proizvodnji električne energije. Obuhvaća 7 vjetroatregata, snage 5,95 MW.

### **Vjetroelektrana Trtar-Krtolin, Šibenik**

Drugom najstarijom vjetroelektranom u Hrvatskoj smatra se Vjetroelektrana Trtar-Krtolin, koja je nastala 2006.godine, te se nalazi u blizini Šibenika uz autocestu kod izlaza Šibenik - Split. Sastoji se od 14 vjetroatregata snage 11,2 MW<sup>4</sup>

### **Vjetroelektrana Vrataruša, Senj**

Vjetroelektrana Vrataruša nalazi se na obroncima Velebita blizu Senja, nedaleko Vratnika. Broji 14 vjetroatregata snage 42 MW. Izgrađena je 2009.godine, a zapravo punu snagu ima od siječnja 2011.godine. Prva je vjetroelektrana u Hrvatskoj priključena na prijenosnu mrežu i predstavlja najveću hrvatsku vjetroelektranu.

### **Vjetroelektrana Velika Popina, Gračac**

Vjetroelektrana Velika Popina sa svojim radom je započela 2011. godine, a nalazi se na području općine Gračac. Sastoji se od 4 vjetroatregata snage 9,2 MW.

### **Vjetroelektrana Bruška, Benkovac**

U blizini mjesta Bruška, sjeveroistočno od Benkovca na 600 metara nadmorske visine nalazi se vjetroelektrana Bruška sa 16 vjetroatregata. Vodi se kao dvije vjetroelektrane - VE ZD2 i VE ZD3. Priznata za povlaštenog proizvođača električne energije je od veljače 2012.godine.

### **Vjetroelektrana Jelinak, Trogir**

Vjetroelektrana se nalazi na predjelu Blizna-Bristivica u trogirskom zaleđu, te se sastoji se od 20 vjetroatregata. U pogonu je od početka ožujka 2012.godine.<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> loc. cit

<sup>5</sup> loc. cit

### **Vjetroelektrana Zelengrad, Obrovac**

Vjetroelektrana koja se nalazi na području grada Obrovca. Projekt je dovršen 2014.godine, a službeno je puštena u pogon u lipnju 2015.godine. Sastoji se od 14 vjetroagregata.

### **Vjetroelektrana Katuni, Omiš**

Nalazi se u selu Katuni, u blizini grada Omiša. U pogonu je od travnja 2017.godine. te je riječ o projektu vrijednom 40 milijuna eura. Sastoji se od 12 vjetroagregata.

### **Vjetroelektrana Rudine, Dubrovnik**

Nalazi se u blizini Slanog, sjeverozapadno od grada Dubrovnika. Izgradnja vjetroelektrane Rudine započeta je u kolovozu 2014.godine, a građevinski dio radova završen potkraj 2015.godine. Ulaganje je ukupno bilo oko 53 milijuna eura. Puštena je u pogon u travnju 2016.godine.<sup>6</sup>

### **Vjetroelektrana Ponikve, Ston**

Nalazi se na poluotoku Pelješcu, u mjestu Ponikve, u blizini mjesta Ston. Prva je vjetroelektrana sagrađena u Dubrovačko-neretvanskoj županiji. Započeta je s radom u svibnju 2013.godine. Sastoji se od 16 vjetroagregata. Cjelokupno ulaganje iznosilo je 46 milijuna eura.

### **Vjetroelektrana Pometeno brdo, Dugopolje**

Nalazi se kraj Konjskog, u blizini Dugopolja. Projekt je na kojem su po prvi puta korišteni vjetroagregati koji su proizvedeni i dizajnirani u Republici Hrvatskoj, odnosno vjetroagregati tvrtke Končar. U izgradnji vjetroelektrane sudjelovale su uglavnom hrvatske tvrtke, odnosno 14 tvrtki Končara i 15 kooperanata iz Hrvatske. Sastoji se od 16 vjetroagregata. Troškovi ulaganja iznosili su 28 milijuna eura.

### **Vjetroelektrana Kamensko-Voštane, Trilj**

Nalazi se na području Grada Trilja u Splitsko-dalmatinskoj županiji. U pogonu je od kolovoza 2013.godine.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> loc.cit

<sup>7</sup> loc. cit

### **Vjetroelektrana Poštak, Gračac**

Nalazi se na području općine Gračac. U blizini se nalazi vjetroelektrana Velika Popina. Puštena je u rad u listopadu 2017.godine. Sastoji od 13 vjetroatregata.

### **Vjetroelektrana Ogorje, Split**

Vjetroelektrana koja se nalazi 25 kilometara sjeveroistočno od grada Splita. Puštena je u rad krajem 2015.godine. Sastoji se od 14 vjetroatregata. Cjelokupno ulaganje vrijedno je više od 72 milijuna eura.

### **Vjetroelektrana Orlice, Šibenik**

Nalazi se u blizini grada Šibenika. Puštena je u rad od ljeta 2009.godine, kada je i dovršena njena izgradnja. Sastoji se od 11 vjetroatregata.

### **Vjetroelektrana Lukovac, Cista Provo**

Nalazi se u općini Cista Provo, na nadmorskoj visini od 520 do 770 metara. Izrađena je u razdoblju od siječnja do srpnja 2017.godine. Sastoji se od 16 vjetroatregata.

### **Vjetroelektrana Glunča, Šibenik**

Vjetroelektrana sagrađena u blizini mjesta Boraja, pokraj Šibenika. Puštena u pogon 2016.godine. Sastoji se od 9 vjetroatregata.

### **Vjetroelektrana Crno brdo, Šibenik**

Nalazi se u blizini grada Šibenika. Također su u blizini dvije postojeće vjetroelektrane Trtar-Krtolin i Orlice. Puštena u rad tokom ljeta 2011.godine. Sastoji se od 7 vjetroatregata.

### **Vjetroelektrana Zadar 4, Benkovac**

Nalazi se uz cestu Benkovac - Karin Donji, na sjeveroistočnoj strani u kršu Bukovice. Investicija izgradnje vrijedna 360 milijuna kuna.

### **Vjetroelektrana Danilo, Šibenik**

Nalazi se u blizini sela Danilo u Šibensko-kninskoj županiji. Izgrađena je 15 kilometara od obale Jadranskog mora i grada Šibenika. Puštena je u pogon u lipnju 2014.godine. Sastoji se od 19 vjetroatregata.

### 3. VJETROAGREGAT

Vjetroagregat predstavlja rotirajući stroj koji ima ulogu pretvaranja kinetičke energije u mehaničku, a generirajući električnu energiju iz energije vjetra, električni generator je zadužen da se ta pretvorba provede.

Ključni dijelovi vjetroagregata su rotor, lopatice, generator, prijenosnik snage, stup, kućište, kočnica i oprema za zakretanje.

#### 3.1. Osnovni dijelovi vjetroagregata

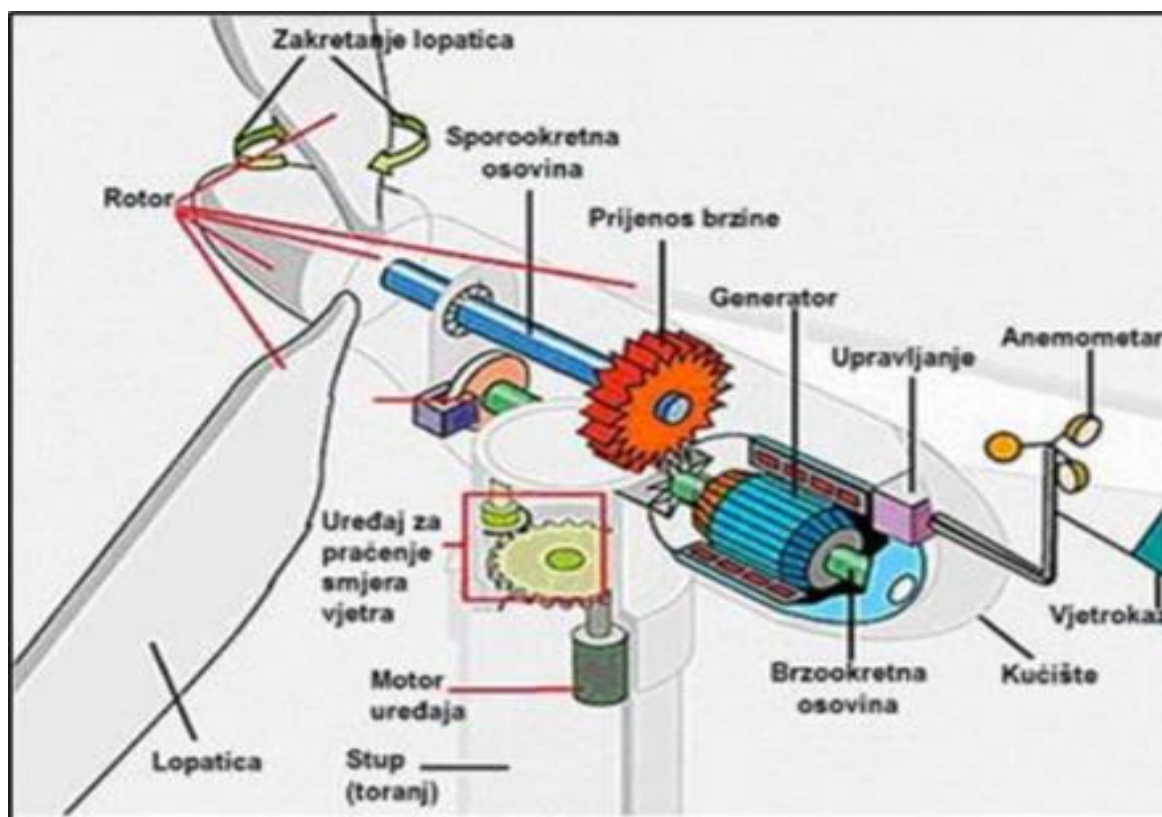
- **Rotor** koji ovisno o kontroli snage može raditi na dva načina. Glavni dijelovi su rotor i lopatica te postoji poseban motor za rotiranje. Zahvaljujući aerodinamičkom efektu može se vršiti kontrola snage vjetroturbine. S promjenom brzine vjetra dolazi do poremećaja trokuta brzina, tj. raste ili se gubi uzgon, što bi značilo da se na aeroprofilu mijenja napadni kut struje zraka. Ovakvim slučajem omogućena je veća pretvorba energije vjetra u električnu energiju, zbog lopatica koje imaju unaprijed namješten kut za područje brzina.<sup>8</sup>
- **Lopatice** pokreće aerodinamički uzgon koji rezultira visokim stupnjem pretvorbe energije vjetra u mehanički rad. Same lopatice su koje su oblikovane poput krila aviona, a koriste se 3 lopatice jer se to smatra najpraktičnijim i najisplativiji načinom iskorištavanja vjetra. S obzirom na izvedbu, lopatice se dijele na lopatice sa zakretnim vrhovima ili na lopatice sa krilcima. Način rada lopatica sa krilcima je takav, 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, stvaraju moment kočenja u slučaju otkazivanja primarnog sustava za kočenje. Na taj način se ograničava brzina vrtnje rasterećenog kola.
- **Generatori** rade sa snagama koje često variraju pa iz tog razloga oni imaju posebnu konstrukciju te pojedini (oni jačih snaga) generatore izmjeničnih napona. Generatori se hlade zrakom.
- **Kućište** ima dvije funkcije:
  - a) štiti generator od utjecaja okoliša,
  - b) isto tako zaštićuje okoliš od buke koju sustav proizvodi.

---

<sup>8</sup> L. Jerkić, Moderni vjetroagregati i pretvorba energije, 2010

- **Stupom** se najčešće smatra cijev, a nerijetko je rešetkasti. U unutrašnjosti stupa nalaze se stube koje vode do agregata, a kod većih izvedbi ugrađuje se dizalo. Transformator, kontrolna i mjerna jedinica nalaze se u podnožju stupa.
- **Prijenosnik snage** u većini slučajeva multiplikatora može biti različitih izvedbi. Prilikom analiziranja načina na koji se prenosi vrtnja s vjetroturbinskog kola na električni generator, važnu ulogu zauzimaju materijali izrade elemenata sklopa, vrsta prijenosa i prijenosni omjer. Dijelovi poput vjetroturbine i generatora spojeni su pomoću spojke koja u sebi mora imati mjenjačku kutiju s prijenosnikom. Uloga prijenosnika je da on prilagodi niže brzine vrtnje rotora višim brzinama rotora električnog generatora. Na taj se način elisa zaokreće oko svoje duže osi i samim time omogućava smanjenje mehaničke snage što ovisi o karakteristikama vjetroturbine te vjetrenjače. Ukoliko vjetroturbina nema spomenuti regulacijski sustav zakretanja, tad konstrukcijska lopatica ima važnu ulogu zbog aerodinamičkog efekta. Prilikom prevelikih brzina vjetra, vjetroturbina se na spomenuti način od povišenja snage.
- **Oprema za zakretanje** ili zakretnik služi za zakretanje turbinskog ili generatorskog sustava. Nalazi se ispod kućišta vjetroturbine, na samom vrhu stupa. Zakretanje zapravo vrši motor koji u sebi ima kočnicu koja sprječava zakretanje kućišta od naleta vjetra. Zakretanje kućišta kontrolira sustav koji je izvan funkcije kad su poremećaji smjera vjetra manji, u prosjeku se jednom u deset minuta dogodi se zakretanje.
- **Kočioni sustav** ima veoma važnu ulogu prilikom rada vjetrenjače, a njegova primarna uloga je rasteretiti prijenosnika snage, tj. zaustaviti rotor kad generator ispadne iz mreže zbog naleta vjetra gdje dolazi do prevelikog dinamičkog opterećenja. Druga uloga jest održati projektnu brzinu vrtnje konstantnom i osigurati sustav čije je djelovanje dinamički uravnoteženo. I to tako regulira broj okretaja. Disk kočnica je najčešća izvedba kočionog sustava, a smještena je na sporookretnom vratilu kola prije prijenosnika ili na brzookretnom vratilu generatora. Djelovanje im može biti elektromagnetsko ili hidrauličko. Aktiviraju se signalom generatora, zbog ispada iz mreže, dakle prekid strujnog kruga ili signalom uređaja kojim se mjeri brzina vrtnje generatora. Ovakav tip kočenja se ostvaruje odabirom odgovarajućeg kuta lopatice s obzirom na vjetar. Postoji i radna disk kočnica koja laganim kočenjem regulira broj okretaja rotora kao ispomoć aerodinamičkom kočenju. Slika broj 2 slikovito prikazuje gore navedene dijelove.

Slika 2. Dijelovi vjetroagregata



Izvor: I. Turbić, *Priključenje vjetroelektrane na prijenosnu elektroenergetsku mrežu*, [file:///D:/Preuzimanje/983061.Diplomski-Vurbi%20\(5\).pdf](file:///D:/Preuzimanje/983061.Diplomski-Vurbi%20(5).pdf) (pristupljeno 18.kolovoza 2020.)

### 3.2. Princip rada vjetroagregata

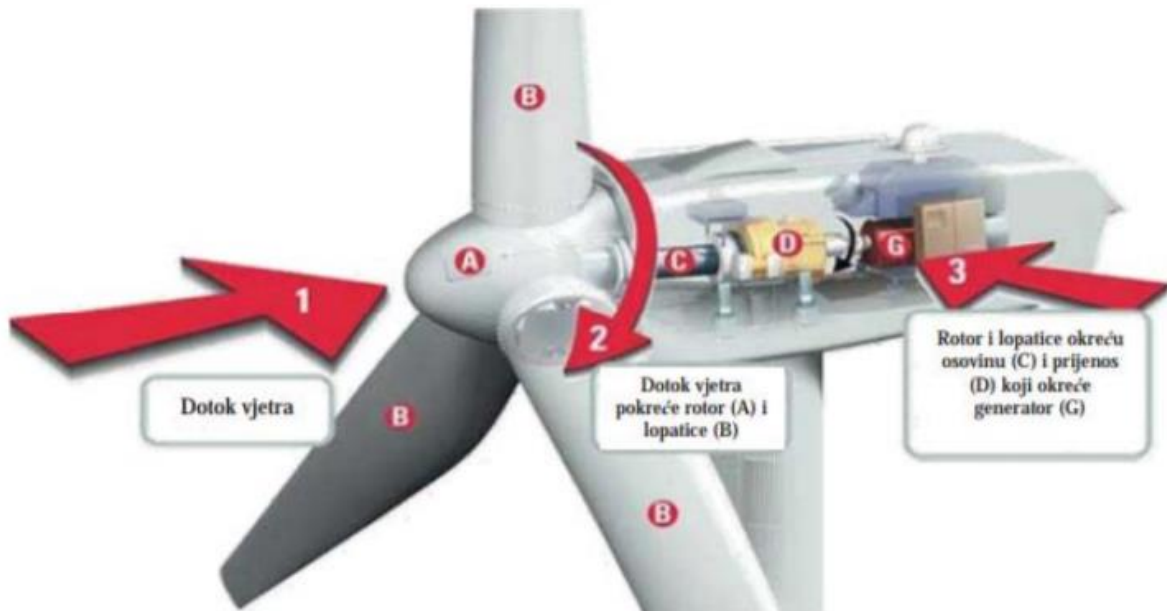
Kinetička energija vjetra prenosi se na lopatice rotora turbine koja pogoni sporookretno vratilo koje preko prijenosnika pogoni brzookretno vratilo i prenosi mehaničku energiju vratilu električnog generatora koji na svojim stezaljkama daje električnu energiju.<sup>9</sup> Kod nekih izvedbi vjetroagregata (ovisno o konfiguracijskom tipu) prijenosnik može izostati te je na taj način vratilo rotora turbine izravno spojeno s vratilom generatora. Na slici 8 prikazan je osnovni princip rada vjetroagregata.

Energija vjetra pretvara se u mehaničku energiju vrtnje uporabom rotora vjetroagregata i pokretanjem lopatica. Zatim se mehanička energija okretima rotora putem pogonske osovine prenosi na električni generator. Uz pomoć električnog generatora mehanička energija vrtnje se pretvara u električnu energiju. Proizvodnja

<sup>9</sup> Renewable energy word, Wind power, <https://www.renewableenergyworld.com/2014/11/21/history-of-wind-turbines/#gref>. (pristupljeno 19.kolovoza 2020)

električne energije iz vjetra izrazito je zahtjevna i problematična, jer je vjetar u ovome pogledu kao „gorivo“, teško ga je predvidjeti i kontrolirati.

Slika 3. Osnovni princip rada vjetroagregata



Izvor: L. Tomašković, *Utjecaj vjetroelektrana na okoliš*,

<https://zir.nsk.hr/islandora/object/vuka%3A123/datastream/PDF/view> (pristupljeno 22.kolovoza 2020.)

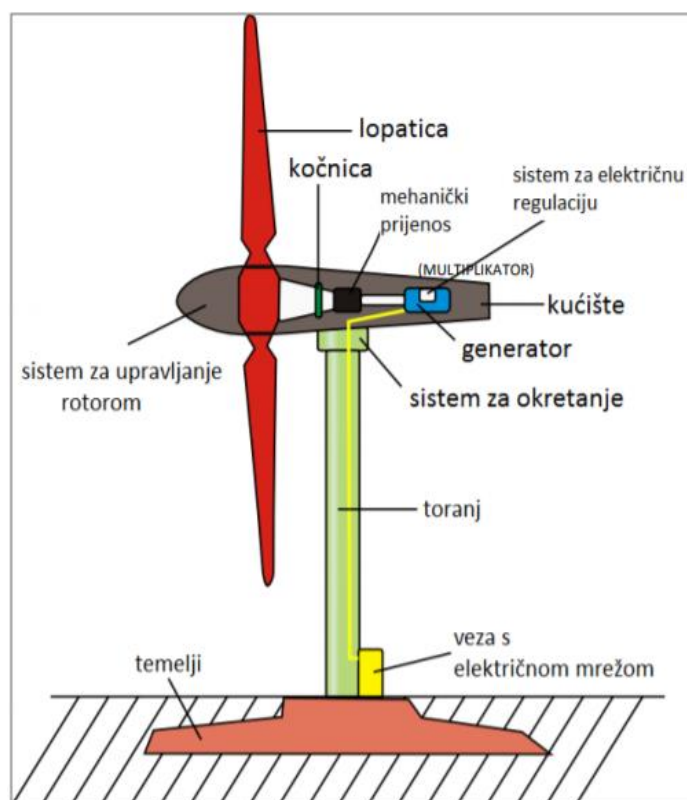
### 3.3. Podjela vjetroagregata

#### 3.3.1. Prema osi vrtnje

##### a) Vjetroagregat s vodoravnom osi vrtnje (VOV)

Zapravo, veliki broj vjetroagregata se nalazi upravo u ovom obliku. Karakteristika ovog oblika jest da se os vrtnje kreće paralelno sa smjerom vjetra, te j paralelna na tlo. Glavni dijelovi su: rotor, vratilo, električni generator, stup i gondola, a najčešće se sastoji od tri lopatice (slika br.4). Tipovi ovih vjetroagregata okrenuti su u vjetar da bi se umanjile turbulencije koje nastaju iza turbine. Veličina ovih vjetroagregata seže i preko sto metara, a lopatice znaju biti duže od pedeset metara.

Slika 4. Osnovni dijelovi vjetroagregata (presjek)



Izvor: Grupa autora, *Mali vjetroagregati i fotonaponski moduli za autonomne aplikacije na otocima Primorsko-goranske županije*, 2019., [https://zavod.pgz.hr/documents/mali\\_vjetroagregati\\_i\\_fotonaponski\\_moduli\\_na\\_otocima\\_u\\_pgz.pdf](https://zavod.pgz.hr/documents/mali_vjetroagregati_i_fotonaponski_moduli_na_otocima_u_pgz.pdf) (pristupljeno 25. kolovoza 2020.)

Tablica 2 prikazuje prednosti i nedostatke ovog oblika vjetroagregata.

Tablica 2. Prednosti i nedostaci vjetroagregata s vodoravnom osi vrtnje

| PREDNOSTI VOV  | NEDOSTACI VOV  |
|--|--|
| Visoka učinkovitost u proizvodnji električne energije                          | Skupi troškovi izrade                                |
| Postavljanje vjetroelektrana na visoke tornjeve- pristup većim brzinama vjetra | Sklonost turbulencijama na malim nadmorskim visinama |
| Stabilnost   | Prijevoz turbina je kompliciran                      |
| Mogućće zakretanje lopatica što pruža maksimalnu iskoristivost vjetra          | Skupo postavljanje                                   |
| Mogućća fiksacija lopatica u oluji   | Turbulencije štete konstrukciji                      |

Izvor: *Samostalan doprinos radu*



Iz tablice je vidljivo da vjetroagregati sa vodoravnom osi vrtnje namijenjeni su visinama gdje ima i jačeg vjetra. Najistaknutijim nedostatkom se može izdvojiti skupoća ovog tipa vjetroagregata, te visoki troškovi održavanja. Kao još jedan nedostatak može se izdvojiti "vjetro-parkovi" koji zahtijevaju dosta velik dio zemljišta za ugradnju.

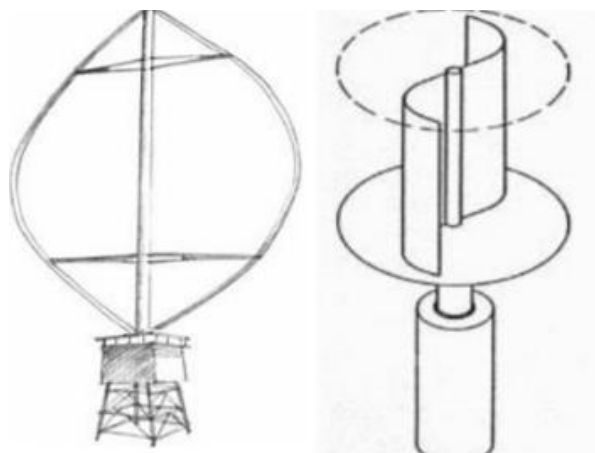
b) Vjetroagregat s okomitom osi vrtnje (OOV)

Os vrtnje kod vjetroagregata s okomitom osi vrtnje je, ao što i sam naziv kaže, okomita. Kod ovog oblika turbina je okrenuta rema vjetru što je velika prednost prilikom promjenjivih vjetrova. Postoje dva bazna tipa vjetroagregata:

- Darrieusova turbina i
- Savoniusova turbina.

Darrieusova turbina je specifična po tome što ima duge i tanke lopatice u obliku slova C , koje se spajaju pri vrhu i pri dnu okomite osi. Najčešće su izrađene s 2 ili 3 lopatice. Iskoristivost ovih lopatica veoma je dobra te proizvode značajna ciklička naprezanja koja prouzrokuju slabiju pouzdanosti. pri pokretanju zahtijevaju vanjski izvor struje, jer je njihov početni okretni moment veoma spori i slabi. Radi slabije stabilnosti moraju ih pridržavati metalni kabeli, što nije uvijek praktično, dobro i pouzdano te zauzimaju velike površine. Savoniusova turbina gledanjem odozgo je u obliku slova S. Okreće se poprilično sporo, ali stvara značajan okretni moment.

*Slika 5. Prikaz Darrieusovog i Savoniusovog rotora*



*Izvor: Z. Šimić, Pregled tržišta malih vjetrogeneratora,2017.*

<https://repositorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A1611/datastream/PDF/view>  
(pristupljeno 25. kolovoza 2020.)

Tablica broj 3 prikazuje prednosti i nedostatke vjetroagregata s okomitom osi vrtnje.

Tablica 3. Prikaz prednosti i nedostataka vjetroagregata OOV

| PREDNOSTI OOV               | NEDOSTACI OOV  |
|-----------------------------|--|
| Lakše održavanje            | Iskoristivost u rangu 50% iskoristivosti turbina s vodoravnom osi vrtnje |
| Jeftinija izgradnja         | Potrebno ravno tlo zbog čega su mnoge lokacije nepovoljne                |
| Ne okreću se prema vjetru   | Potrebna vanjski izvor energije  |
| Nije potrebna velika visina | Opterećene su težinom konstrukcije                                       |

Izvor: Samostalan doprinos radu

Osim navedenih nedostataka u tablici, još se nedostatkom može istaknuti i problem kuta napada vjetra koji se mijenja kako se rotor okreće što dovodi do sinusne promjene. No prednost je ujednačavanje momenta tijekom rotacije te imaju manje opterećenje na ležajeve. Drugi problem stvara se zbog toga što je veći dio mase rotora smješten u periferiji, a ne u središtu kao što je to slučaj kod vjetroagregata s horizontalnom osi vrtnje što dovodi do vrlo velikog centrifugalnog stresa na cijeli mehanizam.

### 3.3.2. Prema snazi

Prema snazi vjetroagregate dijelimo u sljedeće kategorije:

- vjetroagregate malih snaga,
- vjetroagregate srednjih snaga i
- vjetroagregate velikih snaga.

Vjetroagregati manjih snaga su vjetroagregati kod kojih snaga ne prelazi 20 kW. To su najčešće agregati koju su namijenjeni za opskrbu potrošača u kućanstvima.

Vjetroagregatima srednjih snaga smatraju se vjetroagregati kod kojih je snaga od 20 kW do 200kW. Uglavnom su namijenjeni za proizvodnju i prodaju električne energije.

Vjetroagregatima velikih snaga smatraju se vjetroagregati čija snaga prelazi 200 kW. Uglavnom su namijenjeni za izgradnju vjetroelektrana te integraciju u elektroenergetski sustav, te se spajaju na prijenosnu mrežu.

## 4. ODRŽAVANJE VJETROELEKTRANA

Danas se govori o velikom broju vjetroelektrana koje imaju značajnu ulogu u proizvodnji energije. No, neovisno o velikom broju današnjih vjetroelektrana, problem se pronalazi u prevelikom broju kvarova zbog kojih se dolazi do neplaniranih prekida rada što u konačnici dovodi do velikih gubitaka u proizvodnji i financijama. Kako bi se izbjegli kvarovi, glavnu ulogu u tome ima održavanje.

Svrha održavanja jest zapravo pospješiti što veću raspoloživost sustava, a da se troškovi ne povećavaju. Provjera ili kontrola vjetroelektrane imaju veliki udio u ukupnim godišnjim troškovima vjetroelektrane koji su povezani sa osiguranjem, popravcima, rezervnim dijelovima, redovnim održavanjem i sl.

Prilikom održavanja razlikuju se planirano i neplanirano održavanje. Planirano održavanje uključuje usluge poput promjene filtera i zakretanja vijaka, dok neplanirano održavanje može uključivati kvarove na električnim komponentama i zamjene dijelova.

Održavanje vjetroelektrane može se podijeliti u dvije veće skupine:

- korektivno održavanje,
- preventivno održavanje.

Pod preventivno održavanje još se ubraja i prediktivno održavanje ili održavanje po stanju, a svaka od navedenih vrsta objašnjena je u sljedećim potpoglavljima.

*Slika 6. Prikaz održavanja vjetroelektrane*



*Izvor: Wind turbine maintenance, inspections & repairs, <https://www.nordicaccess.fi/en/wind-turbine-maintenance> (pristupljeno 12.kolovoza 2020.)*

#### 4.1. Korektivno održavanje

Korektivnim održavanjem ili strategijom kvara se podrazumijeva otklanjanje kvarova i oštećenja nakon što je on nastupio. To uključuje istrošene ili već otkazane dijelove pogona, a sustav vraća u stanje u kojem može obavljati zadanu funkciju. Ovaj tip održavanja se temelji na krilatici "Ne diraj, vidiš da radi". Ovim održavanjem se preventivno održavanje svodi na minimum te će sustav raditi sve dok se ne pojavi greška na nekoj od komponenti. Najgori ishod koji se prilikom oštećenja dogodi jest prestanak rada vjetroelektrane.

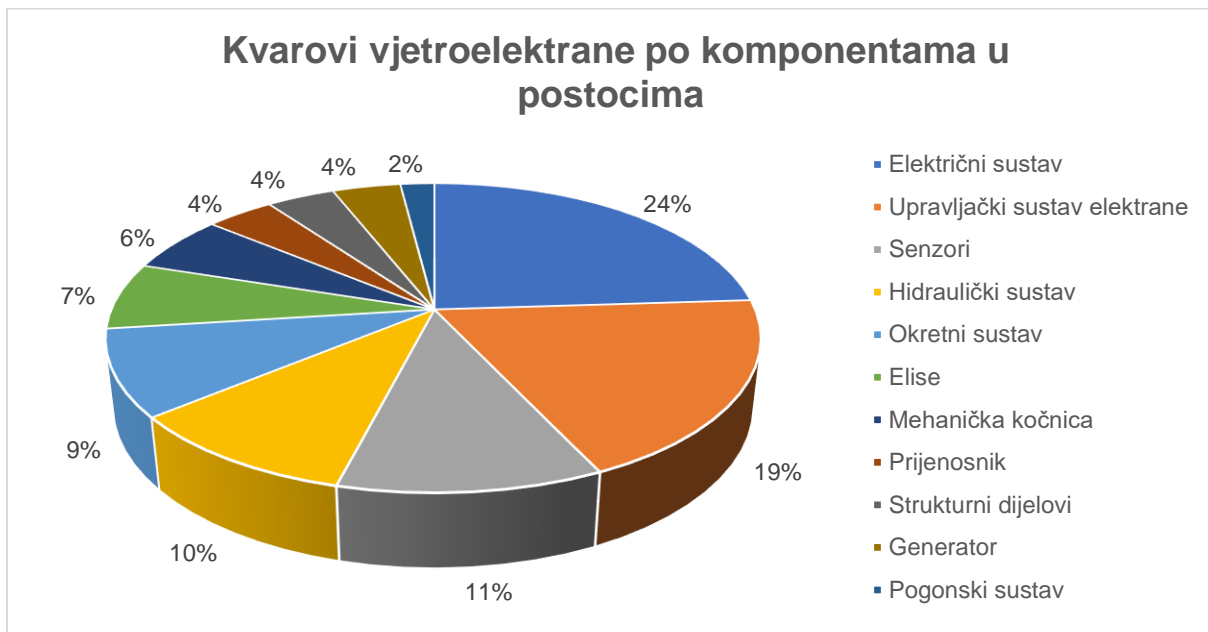
Prilikom kvara ili otkaza generatora, ležajeva i ostalih dijelova dolazi do velikih financijskih gubitaka zbog skupih dijelova te korištenja dizalice tijekom otklanjanja kvara. Sam popravak vjetroelektrane može donijeti velike gubitke u proizvodnji, a rizik tome je što otkaz relativno neobavezne i malene komponente mogu dovesti do velikih oštećenja vjetroelektrane.

Ukoliko je vjetroelektrana smještena na pučini, održavanje istih je mnogo kompliciranije te je potrebno vrijeme ispada pri popravku povećava, jer nabavka i transport rezervnih dijelova može potrajati duže vrijeme. Ispod u prikazanom dijagramu je udio u postocima kvarova komponenti u ukupnim kvarovima vjetroelektrane.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> P.Tchakoua, R. Wamkeue, M. Ouhrouche, F. Slaoui-Hasnaoui, T. A. Tameghe, Gabriel Ekemb, Energies, Wind Turbine Condition Monitoring: State-of-the-Art Review, New Trends, and Future Challenges, 2014.

Slika 7. Kvarovi vjetroelektrane po komponentama u postocima



Izvor: Izv. prof. dr. sc. D. Topić, Stanislav Vezmar, Održavanje vjetroelektrana na temelju promatranja stanja sustava, 2015.,

[file:///D:/Preuzimanje/Odravanjevjetroelektranenatemeljupromatranjastanjasustava%20\(2\).pdf](file:///D:/Preuzimanje/Odravanjevjetroelektranenatemeljupromatranjastanjasustava%20(2).pdf) (pristupljeno 10. kolovoza 2020.)

Iz dijagrama se može iščitati kako se najveći kvar kod vjetroelektrana događa kod električnog (24%) i upravljačkog sustava te senzora (19%). Najmanja vjerojatnost za kvarom biti će kod generatora (4%) te pogonskog sustava (2%).

#### 4.2. Preventivno održavanje

Preventivno održavanje naziva se još servisno ili redovno te planirano koje se primjenjuje u skladu sa definiranim vremenskim rasporedom. Zasniva se na obavljanju niza zahvata po zacrtanom planu, prije nego li dođe do pojave oštećenja ili kvara. Temelji se na krilatici „Bolje spriječiti nego liječiti“. Podrazumijeva konstantnu brigu i servisiranje sustava. Time sustav ostaje u zadovoljavajućim radnim karakteristikama, upotrebljavajući sustavni nadzor, detekciju i ispravak potencijalnog kvara, prije nego li dođe do njega. Prioritet ovog tipa održavanja je uspostaviti i provoditi određenu razinu održavanja opreme, tako da sistemski odrađuje radove održavanja u odgovarajućem

vremenskom razdoblju.<sup>11</sup> Ovakav sistemski pristup zahtjeva inspekcije strojeva čak i kada strojevi ne pokazuju uzroke, simptome kvarova. Ovo održavanje je izrazito složeno, premda jednom kada postavimo senzore na prava mjesta, možemo sakupiti i analizirati stanje temeljem sakupljenih podataka o radnim parametrima, izraditi odgovarajući model održavanja i procijeniti budući nastanak kvarova. Doprinosi smanjenju vjerojatnosti pojave kvara, produžava interval rada stroja te povisuje pouzdanost uspostavljanjem preventivnih procedura. Vjetroelektrane ovog tipa održavanja bitno ovise o tome jesu li turbine stare ili nove. Za starije turbine redovno održavanje je planirano u intervalima od tri do šest mjeseci, dok je za novije turbine taj period nešto dulji, odnosno svakih pola godine do godinu dana. O održavanju brigu može voditi vlasnik, ali se najčešće potpisuje ugovor na 5 godina s proizvođačem u kojemu on preuzima potpuno održavanje.<sup>12</sup>

Redovno održavanje podrazumijeva:

- kontrolu curenja ulja na prijenosniku snage, uljnoj crpki, filtrima, crijevima,
- nadzor na prijenosniku snage,
- kontrolu nivoa ulja u prijenosniku snage,
- uzimanje uzoraka ulja iz prijenosnika snage,
- mijenjanje ulja,
- zamjenu filtera elemenata (zračni filtri, uljni filtri),
- testiranje stanja tlaka u prijenosniku snage,
- kontrolu hlađenja s proizvođačem u kojemu on preuzima potpuno održavanje.

#### *4.2.1. Prediktivno održavanje*

Prediktivno održavanje je održavanje po stanju koje se zbog svog značaja često definira kao posebna nova strategija održavanja. Definira se kao vrsta održavanja koja naglašava rano predviđanje neuspjeha. Dijagnostički je proces kojim određujemo stanje, “zdravlje” svakog dijela tehničkog sustava kojeg možemo mjeriti i čije ponašanje možemo kontrolirati određenim parametrima. Ovo održavanje se izvodi kada pojedini pokazatelji daju naznaku da će doći do kvara sustava, stroja ili uređaja

---

<sup>11</sup> Fiix, Preventative maintenance , <https://www.fiixsoftware.com/maintenance-strategies/preventative-maintenance/> (pristupljeno 20.kolovoza 2020.)

<sup>12</sup> Vladimir Potočnik i Vladimir Lay: Obnovljivi izvori energije i zaštita okoliša u Hrvatskoj, Zagreb, 2002

ili kada pokazatelji pokažu pad performansi uređaja. Prediktivno održavanje svakog proizvodnog postrojenja mora biti dorađeno do te mjere da pokriva 4 različita elementa sustava koja odgovaraju na pitanja tko, što, kako i koliko.

Tko koristi prediktivno održavanje? U prvom planu su korisnici strojeva te djelatnici održavanja. U slučaju kada je proizvođač stroja odgovoran za provođenje prediktivnog održavanja on će biti odgovoran i za upravljanje radovima prediktivnog održavanja. Strategija određivanja u kojem je točno trenutku potrebno održavanje određenog stroja, je ta da nema premalo ili previše održavanja. Tako se optimizira uporaba resursa održavanja, smanjuje se vrijeme zastoja proizvodnje i povećava učinkovitost. Tehnike ovakvog održavanja su: analiza vibracija, termografija i analiza ulja.

Dobar program može identificirati potrebne popravke prije nego što postanu skuplji ili dovedu do katastrofalnog kvara. Prediktivno održavanje pomaže nam odrediti koliko je još vremena preostalo do otkazivanja stroja i prestanka rada, tako da konkretnije možemo planirati zastoje, troškove održavanja i količinu proizvoda. Podrazumijeva praćenje degradacije dijelova kako bi se zamjenski dijelovi pripremili prije otkaza da ih se može na vrijeme zamijeniti. Radi veće učinkovitosti i smanjenih troškova, vlasniku omogućuje određivanje aktivnosti popravka. Tako nešto kod vjetroelektrana se može postići unaprijed postavljanjem opreme i zaliha te dogovaranjem popravaka i održavanja tijekom razdoblja slabog vjetera. Snimanjem podataka te daljinskim istraživanjem ono jedino može biti učinkovito. Digitalizacija uz jednodnevnu prisutnost omogućava neprekidno prikupljanje podataka te aktivira alarme koji unaprijed upozoravaju djelatnike postrojenja kada elektromotor prestaje s idealnim radom i ulazi u zonu smanjene pouzdanosti. Slijepo pouzdanje u tehnologiju bez provjeravanja, planiranja, analiziranja, može nas dovesti do pogrešnih pretpostavki.<sup>13</sup>

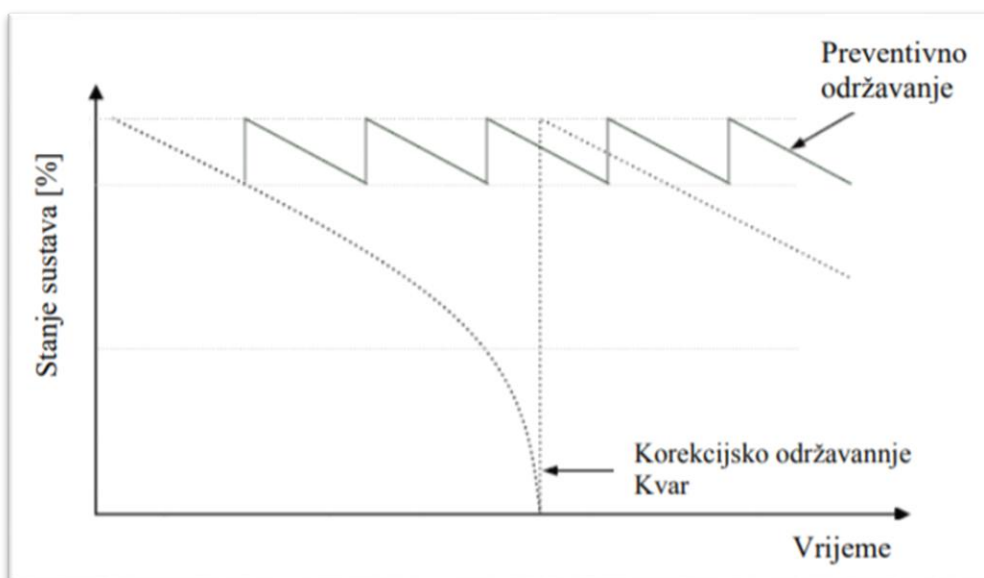
Prilikom održavanja vjetroelektrana pretežito se koristi korektivno i prediktivno održavanje. Preventivna forma koristi visokotehnološke tehnike praćenja stanja sustava te nisu toliko rasprostranjene.<sup>14</sup> Slika 8 prikazuje kako se provođenjem redovitog preventivnog održavanja sustav ostaje u odličnom stanju, dok se korekcijskim održavanjem stanje sustava s vremenom narušava dok ne dođe do kvara.

---

<sup>13</sup> Strojarska radionica, Katarina Knafelj, 3 pokazatelja pouzdanog rada strojeva, <https://strojarskaradionica.wordpress.com/tag/prediktivno-odrzavanje/>, 17.07.2020.

<sup>14</sup> Wind Turbine Maintenance & Condition Monitoring, S. Barber, P. Golbeck, WindRisk, Canada, [www.wwindea.org/technology/ch03/en/3\\_4\\_3.html](http://www.wwindea.org/technology/ch03/en/3_4_3.html) (pristupljeno 17.kolovoza 2020.)

Slika 8. Usporedba redovitog preventivnog i korektivnog održavanja



Izvor: Stanislav Vezmar, Danijel Topić, *Održavanje vjetroelektrane na temelju promatranja stanja sustava*, 2015.,

[file:///D:/Preuzimanje/Odravanjevjetroelektranenatemeljupromatranjastanjasustava%20\(5\).pdf](file:///D:/Preuzimanje/Odravanjevjetroelektranenatemeljupromatranjastanjasustava%20(5).pdf) (pristupljeno 17. kolovoza 2020.)

#### 4.2.1.1. Analiza vibracija

Analiza vibracija je najraširenija tehnologija za rotirajuće elemente praćene sustavom održavanja. Najučinkovitija je metoda za rano otkrivanje i predviđanje kvarova u mehaničkoj opremi. Senzori se odabiru tako da se uzima u obzir frekvencijski raspon i radni uvjeti. Senzore se može namjestiti tako da aktiviraju alarm ako dođe do naglog poremećaja ili isključe stroj iz rada. Koriste se senzori položaja, brzine, akcelerometri i senzori emisije spektralne energije. Senzori za mjerenje temperature i akcelerometar za mjerenje vibracija prikupljaju podatke koje nakon određenog vremena možemo analizirati i ustanoviti je li došlo do povećanja radne temperature, djeluje li na elektromotor povećano radno opterećenje te da je li stroj pravilno centriran i sl.

Ultrazvučno ispitivanje na sličan način kazuje postoji li povećana potreba za podmazivanjem ležajeva. Zabilježene vibracije prilikom prvog pokretanja elektromotora u rad mogu otkriti nepravilno centriranje koje će dovesti do preuranjenog otkazivanja ležajeva ili kvara radi debalansa. Analiza uzroka kvara nastalog kao



posljedica učestalog povećanja vibracija također može otkriti grešku u sklopu elektromotora nastalu tijekom proizvodnje samog stroja. Ova tehnologija je podložna anomalijama i krivim informacijama zbog utjecaja okolnih vjetroelektrana.

#### *4.2.1.2. Termografija*

Termografija pruža velike mogućnosti za dijagnostiku i aplikacije za praćenje u različitim opremama i strojevima. Toplinske kamere nude detaljne slike na kojima su jasno vidljivi kvarovi. Infracrvena termografija je poznata kao jedna od najraznolikijih i efektivnijih alata za održavanje praćenjem sustava u vjetroelektranama. Održavanje temeljeno na motrenju stanja je jedna od takvih metoda, temelji se na mjerenju radnih parametara strojeva pomoću naprednih tehnologija, npr. inspekcija strojeva termo kamerom kako bi se utvrdilo ima li toplinskih gubitaka ili propuštanja radnog medija. Proizvođač i vlasnik vjetroturbine pomoću infracrvene termografije mogu imati točan pogled na i u rotor, kako bi se uvjerali, da funkcioniraju i na duže staze. Takve kamere (Slika 9) uvjeravaju preciznim termografskim mjerama u realnom vremenu i to u posebno velikom temperaturnom području. Zahvaljujući raznovrsnih mjernih i analitičkih funkcija isporučuju pouzdane, brze i precizne rezultate i otkrivaju čak najmanje kvarove.

*Slika 9. Termovizijska kamera IC125LV*



Izvor: Trotec, termovizijska kamera IC125LV, <https://hr.trotec.com/proizvodi-i-usluge/mjerni-uredaji/temperatura/toplinske-kamere-ic-serije/ic125lv/> (pristupljeno 17.kolovoza 2020.)

#### 4.2.1.3. Analiza ulja

Ulje se pumpa kroz elemente u zatvorenom sustavu. Čestice od oštećenih zupčanika i ležajeva se zadržavaju u filtru. Količina krhotina i vrsta metala pokazuju stanje pojedine komponente sustava. Analiza ulja ima tri glavne svrhe: praćenje kvalitete ulja, čuvanje komponenti sustava te nadzor podmazivanja.

Analizu ulja moguće je provesti na dva načina: kada vjetroelektrana radi provodi se kontinuirano praćenje u realnom vremenu, a u vrijeme zastoja provodi se analiza uzorka ulja. Analiza ulja jedina je metoda za određivanje krhotina u prijenosniku. Ima dva ograničenja. Prvo ograničenje je visoka cijena praćenja za vrijeme rada, a drugo je nemogućnost praćenja kvarova izvan prijenosnika.

U procesu analize ulja, postoji šest koraka ispitivanja koja se općenito koriste:

1. Analiza viskoznosti,
2. Analiza oksidacija,
3. Analiza količine vode ili kiselina,
4. Analiza količine čestica,
5. Analiza trošenja elemenata i
6. Temperatura ulja.<sup>15</sup>

#### 4.3. Informacijski sustav

Uloga informacijskog sustava jest prikupljanje, pohranjivanje, obrađivanje, čuvanje te isporuka informacija koje su važne za određenu organizaciju i društvo. Kod tih informacija, veoma je važno da one budu dostupne i upotrebljive za svakoga tko ih želi koristiti. Službeni je dio komunikacijskog sustava svake poslovne jedinice, a obuhvaća skupinu ljudi i strojeva koji analiziraju i proučavaju određene informacije te imaju značajnu ulogu pri provođenju poslovnih ciljeva. Svaka organizacija posjeduje vlastiti informacijski sustav kojem je osnovna uloga razmjena podataka i informacija između pojedinih funkcija poduzeća.

Informacijski sustav se sastoji od tri komponente:

- unos i organizacija unosa podataka,

---

<sup>15</sup> Niko Majdandžić Strategije održavanja i informacijski sustavi održavanja, Slavonski Brod 1999.

- memoriranje i organizacija memoriranja te
- interpretacija podataka.

Kao primjer dobre prakse može se navesti Grupa Končar. Njihova strategija zasniva se na činjenici da proizvode najsloženije proizvode za krajnjeg kupca u području temeljnog poslovanja, elektroenergetici i transportu. U toj se kategoriji nalaze proizvodi poput visokonaponskih transformatorskih stanica, hidroelektrana, vjetroelektrana, fotonaponskih elektrana, tramvaja, elektromotornih i dizelsko-električnih vlakova i slično.

Kao jedan od najnovijih inovacija ove organizacije, znanstvenici i stručnjaci grupe Končar, razvili su RTGo digitalni sustav za održavanje koji je sposoban prikazati SCADA<sup>16</sup> informacije bilo gdje u realnom vremenu koristeći tehnologije proširene stvarnosti. RTGo (Real-Time Go) služi da bi se olakšala te ubrzala aktivnost održavanja organizacijskih postrojenja.

Ideja ovog sustava je mogućnost kretanja, opisivanja i dodjeljivanja radnih naloga te pregled svih trenutnih, ali i prošlih radnih aktivnosti.

Sastoji se od tri glavne komponente:

- servera,
- aplikacije za web preglednik te
- aplikacije za pametne telefone.

Sustav omogućuje upute procesa, sakupljanje dokaza o obavljenim zadacima održavanja te daje pristup automatizacijskim informacijama korištenjem tehnologije proširene stvarnosti s kojom je moguće prikazivati aktualne podatke bilo gdje u postrojenju.

RTGo sustav vrlo jednostavno rješava ovakav problem. On kao takav pruža mogućnost postavljanja informacija o automatizaciji i to sve uz pomoć KONČAR markera proširene stvarnosti. Marker se kreira te stavi na mjesto interesa, zatim kad radnik za održavanje uključi aplikaciju RTGo na pametnom telefonu i usmjeri kameru

---

<sup>16</sup> SCADA (eng. Supervisory Control And Data Acquisition) predstavlja računalni sustav za nadzor, mjerenje i upravljanje industrijskim sustavima.

na marker, aplikacija otkriva oznaku, dekodira identifikator podatka te preuzima trenutnu vrijednost procesnog podatka i prikazuje ju virtualno putem markera.

RTGo je primijenjen na vjetroelektrani Pometeno brdo s razlogom što ona i jest tvrtke Končar. S obzirom da vjetroagregati zahtijevaju svakodnevno održavanje, od redovitih provjera opreme na tlu do aktivnosti u turbini koja se nalazi na 60 metara visine, ako dođe do kvara u vjetroagregatu, razdoblje zastoja stvara velike financijske gubitke te zahtijeva obavljanje složenih i opasnih postupaka. Isto tako, s vremenom održavanje mora čekati, zbog određenog procesa uklanjanja kvarova u slučaju nužde, što povećava potrebu za digitalnim sustavom koji može pratiti aktivnosti održavanja. Radnik s RTGo sustavom trenutno samo usmjerava pametni telefon prema markeru smještenom na vrhu turbine i na zaslonu vidi sve potrebne informacije. Ovaj postupak je puno efikasniji, brži i sigurniji za radnika te je mogućnost ljudske greške otklonjena.

Klijenti RTGo-a na vjetroelektrani Pometeno brdo prikazali su veliko zadovoljstvo sustavom. Jedno od najveće prednosti izdvojili su laki pristup podacima i informacijama koje su dostupne bilo kada, bilo gdje, što je izrazito važno u procesu održavanja. Sve to je dobar pokazatelj i potvrda da je Končar razvojem RTGo sustava napravio izrazito dobar korak u budućnosti u području nadzora i upravljanja elektroenergetskih postrojenja.

#### **4.4. Organiziranje održavanja postrojenja vjetroelektrana**

Održavanje postrojenja i opreme treba se organizirati i provoditi u skladu s:

- Planom održavanja – interni dokument,
- odredbama Pravilnika o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV,
- zahtjevima glavnih i izvedbenih projekata na temelju kojih je izdana građevinska i uporabna dozvola za građevine te projekata izvedenog stanja,
- tehničkim propisima za građevine,
- posebnim propisima iz područja elektroenergetike, sigurnosti i zdravlja pri radu, zaštite od požara, zaštite okoliša i drugih područja,
- zahtjevima hrvatskih normi na čiju primjenu upućuju tehnički i posebni propisi,
- uputama za održavanje,
- internim aktima i dokumentima.

## 4.5. Popravak vjetroelektrana

Popravak vjetroelektrana često može biti težak iz nekoliko razloga. Većina vjetroelektrana nalazi se u udaljenim područjima, što otežava pristup mjestu. Jednom kada se radnici nađu na gradilištu, suočavaju se s popravcima na visinama od 22 metra do gotovo 121 metar. Za razliku od postrojenja na prirodni plin ili na ugljen, operatori mogu očekivati da će ponoviti ovaj postupak više puta zbog razmjerno malog kapaciteta vjetroelektrana.

Jedan od ključeva za sprečavanje skupih, dugotrajnih popravaka je planirano održavanje. Vjetroelektrane su vrlo skupi strojevi, a sustav podmazivanja je vrlo važan kako bi taj stroj dobro radio. Vrsta ulja koja se koristi za turbinu mjenjača i za sve ostale dijelove vjetroelektrana, obično određuje izvorni proizvođač opreme za jedinice. Jedna od glavnih razlika je izbor: sintetičko ili mineralno ulje.

Mjenjač nije jedini dio turbine koji zahtijeva podmazivanje. Generator također zahtijeva podmazivanje, a na lopaticama postoje mjesta podmazivanja. Studije pokazuju da novi set lopatica može koštati ekvivalent od 20-25% izvorne cijene vjetroatagregata, dok će manje popravka lopatica koštati samo 10% zamjenske lopatice. Među rješenjima za manje popravke lopatica su punila, veziva i trake. Ipak, niti jedan od njih neće pružiti opsežan, dugoročan popravak i zaštitu.<sup>17</sup>

Ležaj glavnog vratila također zahtijeva masnoću za podmazivanje kao i pogonske sklopove i pogone zamaha i nagiba. Turbine također koriste hidraulički sustav koji služi za osiguravanje kočnog mehanizma za jedinicu. Može se koristiti za hidraulično upravljanje nagibom na lopaticama. Budući da se tehnologija turbina nastavlja razvijati i tvrtke proizvode veće vjetroturbine, tvrtke koje se bave mazanjem također trebaju proizvoditi maziva kako bi išli u korak s industrijom. Podmazivanje turbina dio je procesa održavanja opreme na vjetroelektranama.

---

<sup>17</sup> Belzona, Održavanje obnovljivih izvora energije, 2018. <http://belzona.hr/odrzavanje-obnovljivih-izvora-energije/> (pristupljeno 16. kolovoza 2020.)

## 5. POLOŽAJI VJETROELEKTRANA

Vjetropotencijal je najvažniji čimbenik za izbor položaja vjetroelektrane. To su zapravo karakteristike vjetra na pojedinoj lokaciji. Najvažnija karakteristika je srednja godišnja brzina vjetra na određenoj visini iznad tla. Naime, vjetrogenerator se pokreće kada brzina vjetra poraste iznad otprilike 3 m/s. Pri toj brzini proizvodnja električne energije je vrlo mala. Porastom brzine, količina električne energije se povećava do maksimalne, koja se postiže na brzini vjetra od oko 12 m/s. Daljnjim porastom brzine vjetra količina proizvedene energije se više ne povećava. Kada brzina poraste preko 25 do 30 m/s, vjetroatregat se isključuje, jer ne može podnijeti mehanička opterećenja koja uzrokuju tako velike brzine vjetra. Iz opisanog načina rada vjetrogeneratora možemo zaključiti da je za idealnu proizvodnju električne energije potrebna brzina vjetra od oko 12 m/s. Za određenu lokaciju bitno je poznavati i smjerove iz kojih puše vjetar (ruža vjetrova), da bi se odredio optimalan raspored vjetroatregata kako bi maksimalno iskoristili vjetar iz svih smjerova. Iako je vjetropotencijal najvažniji čimbenik za izbor položaja vjetroelektrane, postoji i niz drugih čimbenika koji se moraju zadovoljiti, kao što su određivanje područja koja su nepogodna za izgradnju (npr. zaštićena područja NP, PP i tome slično) te vrednovanje makro i mikro lokacije na temelju odabranih kriterija (npr. brzina vjetra, smjer, udaljenost itd.)

S obzirom na položaj vjetroelektrana, možemo govoriti o četiri tipa :

1. **Kopnene vjetroelektrane** - područje udaljeno minimalno 3 kilometra od mora.
2. **Priobalne vjetroelektrane** - na kopnu unutar 3 kilometra od mora ili na moru unutar 10 kilometara od kopna.
3. **Plutajuće vjetroelektrane** - u dubljem moru, gdje nije moguće postaviti priobalnu vjetroelektranu. Složene su i zahtijevaju veće početne troškove.
4. **Morske vjetroelektrane** - udaljene 10 ili više kilometara od mora.
5. **Visinske vjetroelektrane** - najmanje istraženi tip vjetroelektrana. Vjetroatregati na različite načine moraju biti što više postavljeni u visinu.<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Majdandžić Lj., Obnovljivi izvori energije, Graphis, Zagreb, 2008.

## 5.1. Prednosti i nedostaci vjetroelektrana

U ovom potpoglavlju biti će tabelarno navedene prednosti i nedostaci vjetroelektrana. Vjetroelektrane se smatraju obnovljivim izvorom energije koji nema štetnih emisija i daje veliku mogućnost upotrebe te se smatra potpuno ekološki prihvatljivim. Samostalnom proizvodnjom ekološki generirane energije smanjuje se deficit države. Brzina vjetra na određenoj visini, hrapavost podloge, brzohodnost, najviše utječu na karakteristike samih vjetroelektrana.

Tablica 4. Prednosti vjetroelektrana

|   |   |
|---|---|
| <b>Ne troše gorivo</b>                        | Vjetroelektrane ne koriste energiju vjetra kako bi generirale struju- ona je "besplatna"                      |
| <b>Smanjuje se ovisnost</b>                   | Nacionalna (ne)ovisnost; što više ekološki generirane energije država ima, manja je potreba za uvozom goriva. |
| <b>Bez štetnih emisija</b>                    | Prilikom rada vjetroagregata, ne dolazi do emisije nikakvih štetnih plinova u atmosferu                       |
| <b>Kemijski i biološki ne zagađuju okoliš</b> | Prilikom rada vjetroagregata ne dolazi do stvaranja bilokakve tvari koja bi mogla zagađiti okoliš.            |

Izvor: Samostalan doprinos radu

Osim tablicom navedenih prednosti, još se mogu navesti i diverzifikacija proizvodnje te sigurnost opskrbe, domaća proizvodnja što potiče razvitak gospodarstva i razvoj domaće industrije zbog čega raste broj radnih mjesta i samim time porast životnog standarda te tehnološki razvitak koji je neizostavan u suvremenom svijetu.

Osim navedenih prednosti, vjetroelektrane imaju i svoju negativnu stranu. Zauzimaju velike površine, učinkovitost je znatno manja od učinkovitosti klasičnih elektrana te samom njihovom izgradnjom i pokrenutim postupkom stvaraju se velike štete. Neki od nedostataka prikazani su tablicom broj 5.

Tablica 5. Nedostaci vjetroelektrana

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| <b>Vizualno zagađenje</b>             | Estetsko zagađenje velikim vjetroelektranama u napučenim mjestima   |
| <b>Povremenost proizvodnje pogona</b> | Pogon je jako povremen što znači da ovisi o vremenskim uvjetima kao što su brzina vjetra, padaline i sl.  |
| <b>Održavanje</b>                     | Održavanje vjetroelektrana je skupo jer dijelovi od kojih je vjetroelektrana izgrađena imaju visoku cijenu, a i sama zamjena podrazumijeva skupi pothvat jer uključuje popravak na visini (dizalica). |
| <b>Skupa tehnička izrada</b>          | Visoka cijena agregata (iznimno kvalitetan materijal, ukomponiran u naprednu tehnologiju) Transport i postava vjetroelektrana zahtjeva skupu opremu.  |
| <b>Buka</b>                           | Stanovnici naselja u blizini bune se pa čak i prosvjeduju protiv izgradnje ili rada vjetroelektrana- narušavanje svakodnevnog mira  |
| <b>Stradavanje životinja</b>          | Mogućnost stradavanja ptica i šišmiša zbog sudara s elipsama.   |

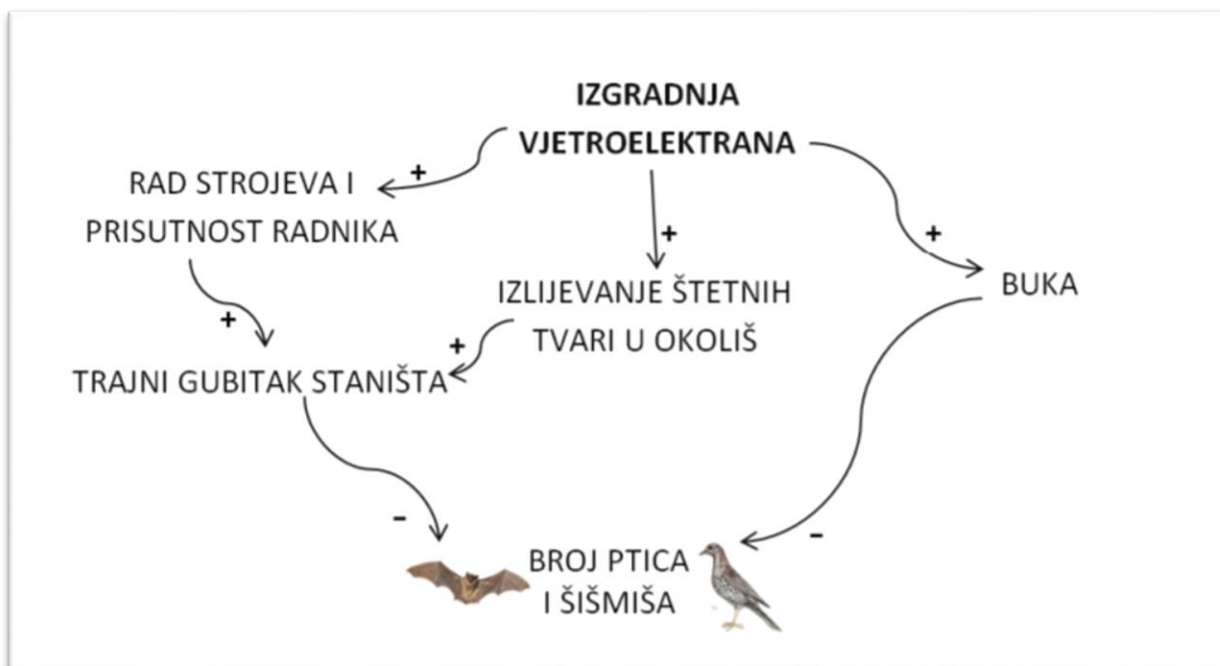
Izvor: Samostalan doprinos radu

Najveći nedostatak vjetroelektrana je zapravo već spomenuta povremenost pogona, jer on uvelike ovisi o vremenskim prilikama, stoga je veoma važno prilikom realiziranja projekta dobro proučiti mikrolokaciju na koju će se vjetroelektrane izgraditi. Osim vremena, nedostatkom se mogu izdvojiti i troškovi izgradnje, ali i održavanja vjetroelektrana.

Izgradnjom dolazi do uklanjanja vegetacije, uništavanja flore i faune (Slika br.10) i trajnog gubitka pojedinih tipova površinskog pokrova koji se nalaze u koridoru prometnica ili unutar područja planiranih mjesta. Pojedini tipovi površinskog pokrova imaju i značajnu ekološku i strukturnu ulogu, pa se njihov gubitak može odraziti i na strukturne i vizualne značajke krajobraza. Nove prometnice imaju bitno drugačije tehničke zahtjeve od postojećih puteva i staza, a samim time unose promjenu u postojeću strukturu puteva. Kako bi se utjecaj ublažio u najvećoj mogućoj mjeri koriste se postojeći putevi, a novi se izvode bez asfalta da bi se prouzročilo što manje štete.



Slika 10. Slikoviti prikaz prednosti i nedostataka izgradnje vjetroelektrana



Izvor: Mazija M., Kovač, D., Procjena utjecaja vjetroelektrana na populacije ptica i šišmiša. Postersko priopćenje

## 6.TROŠAK, CIJENA, VRIJEDNOST ENERGIJE VJETRA TE INVESTICIJA IZGRADNJE VJETROELEKTRANA

Prilikom održavanja vjetroelektrana i proizvodnje električne energije treba uzeti u obzir troškove. Ovisno o vrsti izvora, razlikuju se troškovi proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije te troškovi proizvodnje električne energije iz fosilnih izvora. Najosnovnija podjela koja se koristi prilikom obračuna troškova su fiksni i varijabilni troškovi.

Fiksni troškovima smatraju se oni troškovi koji su već izazvani, podrazumijevamo ih tijekom proizvodnje i ne može ih se nadoknaditi. Jedini način kako ih se može eliminirati je prestanak proizvodnje.

U godišnje fiksne troškove spadaju:

1. redovna godišnja održavanja:
  - a) zamjena ulja, masti, filteri,
  - b) vizualni pregled komponenti,
  - c) zatezanje vijaka;
2. vođenje pogona,
3. služnost,
4. porez i
5. osiguranje.

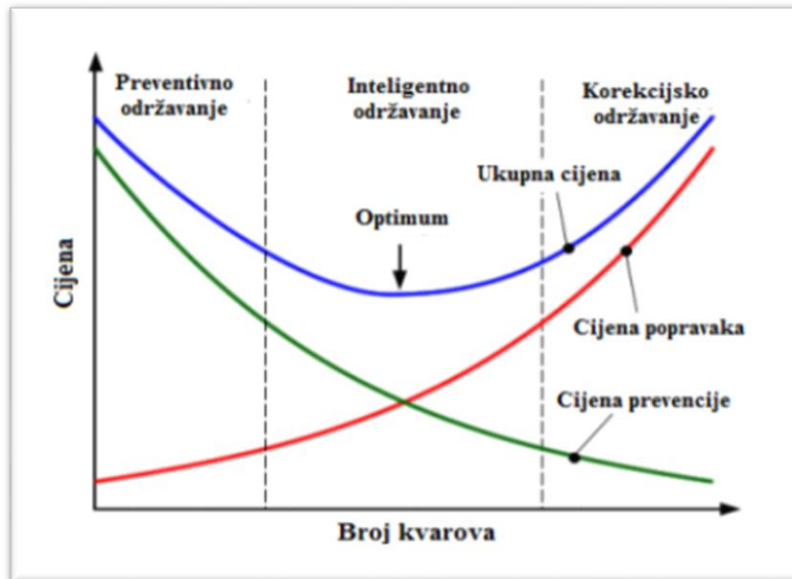
Drugim riječima u fiksne troškove spadaju amortizacija postrojenja, troškovi održavanja, plaća i ostali troškovi pojedine elektrane.

Varijabilni trošak označava trošak koji se mijenja zajedno s promjenom razine proizvodnje električne energije. Troškovi uključuju potrošnju energetskog goriva kao što su ugljen, prirodni plin ili nafta i determiniraju s njihovom cijenom. Druga vrsta varijabilnog troška su naknade koje se plaćaju lokalnoj ili nacionalnoj vlasti s obzirom na količinu proizvedene električne energije te troškovi popravka i održavanja koji nisu pokriveni jamstvom i osiguranjem.

Neposredno iskorištavanje Sunčeva zračenja, vjetra, vodnih snaga i toplih izvora ne traži ikakve tekuće troškove pridobivanja iz prirode (kao što postoji značajan trošak

eksploatacije ugljenokopa ili na naftno/plinskim bušotinama), niti trošak transporta prirodnog oblika, jer je dakako transport nemoguć. Potrebno je samo uređaje za transformaciju oblika energije izložiti djelovanju prirodnog energetskog dotoka, a troškovi se svode na održavanje tih uređaja u ispravnom stanju.

Slika 11. Održavanje s obzirom na cijenu te određivanje optimuma



Izvor: Stanislav Vezmar, Danijel Topić, *Održavanje vjetroelektrane na temelju promatranja stanja sustava*, 2015.,

[file:///D:/Preuzimanje/Odravanjevjetroelektranenatemeljupromatranjastanjasustava%20\(5\).pdf](file:///D:/Preuzimanje/Odravanjevjetroelektranenatemeljupromatranjastanjasustava%20(5).pdf) (pristupljeno 26. kolovoza 2020.)

Korektivno održavanje koje se nalazi na desnoj strani slike donosi manju pouzdanost i visoke troškove zbog propusta mogućnosti da se pravovremeno otkrije kvar. Preventivnom mjerom održavanja povećava se pouzdanost na način da se povremenim popravkom opreme minimaliziraju troškovi, a to se vrši na način da se ova vrsta održavanja mora izvesti prije optimalnog vremena do kvara. Stoga, veća

pouzdanost preventivnim održavanjem se postiže povremenim prekidom rada. Troškovi preventivnog održavanja prikazani su s lijeve strane slike 11.

Za obje vrste održavanja glavni cilj jest pronaći optimalnu točku u vremenu za obavljanje potrebnih radnji na održavanju, a to se postiže kroz analizu baze podataka i iskustva stečenih od prije.

Osim toga, troškovi rada i održavanja mogu dostići 10% do 20% od cijene proizvedene energije, a na kraju životnog vijeka ti postoci dosežu i do 35%. Strategija preventivnog održavanja, koje izbjegava neplanirano gašenje pogona, može znatno smanjiti troškove održavanja. Odnosno da bi vjetroelektrane osigurale ekonomičnu i pouzdanu izlaznu snagu s prihvatljivim životnim vijekom opreme zahtijevaju visok stupanj održavanja.

Troškovi vjetroelektrana su jednostavnim rječnikom ono što je potrebno potrošiti kako bi se proizvodila električna energija. Riječ „trošak“ zapravo ukazuje na dugoročni prosječan trošak takve proizvodnje tokom radnog vijeka vjetroagregata.

Izgradnja vjetroelektrana složeni je proces koji iziskuje brojne radnje, ispitivanja, istraživanja, praćenja te dobivanja dozvola. Prije same izgradnje potrebno je napraviti detaljan plan i analizu o isplativosti samog projekta, a to uključuje studije slučaja. Isto tako se ne smije isključiti ni održivost koja je danas neizostavna prilikom izgradnje bilo kojeg projekta.

*Tablica 6. Troškovi gradnje vjetroelektrane na primjeru VE Stupišće*

| <b>STRUKTURA INVESTICIJA</b>       | <b>IZNOS U KUNAMA</b> |
|------------------------------------|-----------------------|
| Prethodni radovi na mikrolokaciji  | 900.000,00            |
| Izrada projektne dokumentacije     | 750.000,00            |
| Prethodni građevinski radovi       | 4.065.000,00          |
| Oprema, prijevoz, montaža i ostalo | 36.784.000,00         |
| Projekt KB veza 35 i 10(20)kV      | 3.674.000,00          |
| UKUPNO VE Stupišće                 | 46.173.000,00         |
| Projekt TS 35/10(20)kV Stupišće    | 6.372.000,00          |
| <b>UKUPNO</b>                      | <b>52.545.000,00</b>  |

*Izvor: Časopis građevinar, Analiza stanja i mogućnosti izgradnje vjetroelektrana, zaštita okoliša*

Ovom tablicom prikazuje se da prilikom izgradnje vjetroelektrane potrebno je sagledati širu sliku troškova od onih baznih (oprema, prijevoz, montaža i sl.), jer postoji mogućnost neslaganja nadležnih administrativnih službi u postupku izdavanja lokacijskih dozvola te nepovjerenje banaka. Još jednim izazovom može se navesti skupi kapital te homogenizacija opreme. Također veliki problem u RH jest neusklađenost zemljišnih knjiga, tj. pitanje imovinsko pravnih odnosa.

Prosječni faktor iskorištenja za vjetroelektrane u Republici Hrvatskoj iznosi 27%. Međutim, razlog tomu je što su vjetroelektrane u RH zasad instalirane samo na područjima s izrazito povoljnim uvjetima vjetra. Za ostatak Hrvatske takve vjetroelektrane bi imale znatno niži faktor iskorištenja. S druge strane, napredak tehnologije omogućava vjetroelektrane s većim promjerima lopaticama, višim položajem rotora, te modernim generatorima koje teoretski postižu faktor iskorištenja čak 40%.

Ovim podatkom se može na primjeru vjetroelektrane Ravne izračunati godišnja proizvodnja električne energije. Ukupna investicija za izgradnju 7 vjetroagregata po 850 kW vjetroturbina iznosila je približno 48 milijuna kuna, a od toga 4,79% troškova (2,3 milijuna kuna) spada u troškove priključka te konstrukcije. Prema proračunima, uz prosječnu jačinu vjetra od 6,4 m/s (za vrijeme jakog vjetra seže i do 40 km/h) potencijalna godišnja proizvodnja električne energije je između 13,5 i 15 GWh. Vrijeme trajanja ugovora je 15 godina.

Za cjelokupnu hrvatsku, potencijalna godišnja proizvodnja energije putem VE na ovim lokacijama procjenjuje se u rasponu od 0,375 do 0,80 TWh godišnje.

### **6.1. Problemi s komponentama i rješenja**

Obnove agregata i mjenjača dvije su najskuplje jedinice za održavanje vjetroelektrana. Osim što su zamjenske komponente skupe, skupi su i glavni troškovi povezani s dobivanjem i mobilizacijom velike dizalice potrebne za popravak tih komponenti. Postavljanje velike dizalice stvara dodatne troškove te tako povećava gubitke. Da bi poboljšali performanse generatora, proizvođači poboljšavaju električnu arhitekturu vjetroelektrane.

Vjetroelektrane su jedna od najzahtjevnijih aplikacija za prijenosnike zbog promjenjivih opterećenja koja je izuzetno teško predvidjeti. Veća lopatica uobičajena na većim strojevima rezultira velikim okretnim momentom kroz tro-stupanjski mjenjač koji se obično koristi u ovim turbinama. Pokušavajući da zadovolje povećane potrebe zakretnog momenta, proizvođači su razvili velike i skupe zupčanike i ležajeve. S obzirom da su ove komponente teške, zamjena gotovo uvijek zahtijeva dizalicu. Ovaj postupak rezultira kašnjenjem u vremenu i gubicima od proizvodnje.

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.

## ZAKLJUČAK

Gradnja vjetroelektrane u načelu je pozitivna i poželjna, no ne treba zaboraviti da je vjetroelektrana elektroenergetski objekt, a ne dio prirode. Predviđanje kvara omogućuje manju cijenu održavanja zbog mogućnosti zamjene elementa koji je oštećen prije nego li on uzrokuje oštećenja ostatka sustava. Kroz rad potvrđene su hipoteze da je održavanje vjetroelektrana vrlo je bitan aspekt svakog tehničkog sustava, jer o njemu ovise performanse kompletnog postrojenja. Danas vjetroelegija čini 8% od ukupnog elektroenergetskog sustava. Velike naftne kompanije, također počinju ulagati u obnovljive izvore iz čega možemo zaključiti kako zarada ipak nije slijepa i kako se istraživanjima i napretkom tehnologije povećava korisnost i smanjuje cijena proizvodnje energije iz obnovljivih izvora.

Isto tako potvrđena je i prateća hipoteza koja govori kako su vjetroelektrane poželjan oblik obnovljivih izvora energije jer su jedno od odličnih rješenja za ekološko stvaranje energije. Klasični tipovi održavanja kod vjetroelektrana se još uvijek primjenjuju, ali u posljednje vrijeme sve je češća pojava sustava za praćenje stanja vjetroelektrane. Pobuđuju zanimanje ne samo malih privatnih investitora, već i svih velikih elektroenergetskih tvrtki.

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.

Ovim radom kroz primjere i teoriju željelo se ukazati kako Hrvatska još uvijek ima neiskorišteni potencijal uzduž hrvatskih otoka, zaobalja i obale. Po tom pitanju trebalo bi se istražiti europsko ili svjetsko tržište, stvoriti partnerstva te iskoristiti njihovo znanje, iskustvo i uz pomoć naših znanstvenika iskoristiti potencijal Lijepe naše. U hrvatskoj se prilikom kreiranja projekata često radi o nepristupačnim i veoma udaljenim područjima kao što su planinski vrhovi na kojima ne postoji nikakva elektroenergetska i prometna infrastruktura. Na temelju svega možemo zaključiti da izgradnja infrastrukture na takvim područjima značajno povećavaju troškove, a o profitabilnosti tada odlučuje i veličina projekta.

## LITERATURA

### Knjige:

1. Jerkić, Moderni vjetroagregati i pretvorba energije, Zagreb 2010.
2. Majdandžić Lj., Obnovljivi izvori energije, Graphis, Zagreb, 2008.
3. Marijan Kalea: Obnovljivi izvori energije. Energetski pogled, Zagreb 2014.
4. Mazija M., Kovač, D., Procjena utjecaja vjetroelektrana na populacije ptica i šišmiša.
5. Niko Majdandžić Strategije održavanja i informacijski sustavi održavanja, Slavonski Brod 1999.
6. Osnovni elementi održavanja vjetroelektrana, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2009.
7. P. Tchakoua, R. Wamkeue, M. Ouhrouche, F. Slaoui-Hasnaoui, T. A. Tameghe, Gabriel Ekemb, Energies, Wind Turbine Condition Monitoring: State-of-the-Art Review, New Trends, and Future Challenges, 2014.
8. Šljivac D., Topić D. „Obnovljivi izvor električne energije“, Osijek, 2018.,
9. Šljivac D., Šimić Z.: „Osnove energetike i ekologije“, „Dopunski izvori energije“, predavanja, ETF Osijek, 2004. – 2007. godine
10. Vladimir Potočnik i Vladimir Lay: Obnovljivi izvori energije i zaštita okoliša u Hrvatskoj, Zagreb, 2002.

### Internetske stranice:

1. Belzona, Održavanje obnovljivih izvora energije, 2018.  
<http://belzona.hr/odrzavanje-obnovljivih-izvora-energije/> (pristupljeno 16. kolovoza 2020.)
2. D. Topić, Stanislav Vezmar, Održavanje vjetroelektrana na temelju promatranja stanja sustava, 2015.,  
[file:///D:/Preuzimanje/Odravanjevjetroelektranenatemeljupromatranjastanjasustava%20\(2\).pdf](file:///D:/Preuzimanje/Odravanjevjetroelektranenatemeljupromatranjastanjasustava%20(2).pdf) (pristupljeno 10. kolovoza 2020.)



3. Enciklopedija.hr, Vjetroelektrane  
<http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=64999>, (pristupljeno 10. srpnja 2020.)
4. Energy.gov. How do wind turbines work?  
<https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>, (pristupljeno 10. srpnja 2020.)
5. Fiix, Preventative maintenance ,<https://www.fiixsoftware.com/maintenance-strategies/preventative-maintenance/> (pristupljeno 20.kolovoza 2020.)
6. Hrvatska katolička mreža, Vjetroelektrane - najperspektivniji izvor energije budućnosti, ali i značajan izvor električne energije sadašnjosti,  
<https://hkm.hr/zeleni-biseri/vjetroelektrane-najperspektivniji-izvor-energije-buducnosti-ali-i-znacajan-izvor-elektricne-energije-sadasnjosti/>, (pristupljeno 10. srpnja 2020.)
7. Poslovni dnevnik, Vjetroelektrane i izgradnja vjetroparkova u EU i svijetu,  
<https://www.poslovni.hr/tag/vjetroelektrane-i-vjetroparkovi-u-eu-i-svijetu>  
(pristupljeno 10. srpnja 2020.)
8. Power engineering, Wind Turbine Lubrication and Maintenance: Protecting Investments in Renewable Energy, <https://www.power-eng.com/2013/05/01/wind-turbine-lubrication-and-maintenance-protecting-investments/#gref>, (pristupljeno 12 srpnja 2020.)
9. Renewable energy word,History of wind turbines  
<https://www.renewableenergyworld.com/2014/11/21/history-of-wind-turbines/#gref>. (pristupljeno 19.kolovoza 2020)
10. Strojarska radionica, Katarina Knafelj, 3 pokazatelja pouzdanog rada strojeva,  
<https://strojarskaradionica.wordpress.com/tag/prediktivno-odrzavanje/>,  
17.07.2020.
11. Vjetroelektrane.com, Leo Jerkić, Moderni vjetroagregati i pretvorba energije,  
<https://www.vjetroelektrane.com/moderni-vjetroagregati-i-pretvorba-energije?showall=1> (pristupljeno 12. kolovoza 2020.)
12. Vjetroelektrane.com, Povijest,  
<https://www.vjetroelektrane.com/povijest?showall=1> (pristupljeno 11. kolovoza 2020.)

13. Wikipedia, Korektivno održavanje

[https://hr.wikipedia.org/wiki/Korektivno\\_odr%C5%BEavanje](https://hr.wikipedia.org/wiki/Korektivno_odr%C5%BEavanje), (pristupljeno 6. kolovoza 2020.)

14. Wikipedia, Vjetroelektrane, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroelektrana> (pristupljeno 10. kolovoza, 2020.)

## POPIS SLIKA I TABLICA

|   |    |
|---|----|
| Slika 1. Heronova vjetrenjača koja je pokretala orgulje.....                      | 12 |
| Slika 2. Dijelovi vjetroatregata .....  | 21 |
| Slika 3. Osnovni princip rada vjetroatregata .....                                | 22 |
| Slika 4. Osnovni dijelovi vjetroatregata (presjek) .....                          | 23 |
| Slika 5. Prikaz Darrieusovog i Savoniusovog rotora .....                          | 24 |
| Slika 6. Prikaz održavanja vjetroatregane.....                                    | 26 |
| Slika 7. Kvarovi vjetroatregane po komponentama u postocima .....                 | 28 |
| Slika 8. Usporedba redovitog preventivnog i korektivnog održavanja .....          | 31 |
| Slika 9. Termovizijska kamera IC125LV .....                                       | 32 |
| Slika 10. Slikoviti prikaz prednosti i nedostataka izgradnje vjetroatregane ..... | 40 |
| Slika 11. Održavanje s obzirom na cijenu te određivanje optimuma.....             | 42 |
| <br>  |    |
| Tablica 1. Prikaz vjetroatregane u Hrvatskoj po godišnjoj potrošnji               | 15 |
| Tablica 2. Prednosti i nedostaci vjetroatregata s vodoravnom osi vrtnje           | 23 |
| Tablica 3. Prikaz prednosti i nedostataka vjetroatregata OOV                      | 25 |
| Tablica 4. Prednosti vjetroatregane   | 38 |
| Tablica 5. Nedostaci vjetroatregane   | 39 |
| Tablica 6. Troškovi gradnje vjetroatregane na primjeru VE Stupišće                | 43 |