

# Rad vjetroturbina s vertikalnom osovinom

---

Perošić, Paula

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:332103>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-29**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

**Odjel Elektrotehnika**

**Završni rad br. 378/EL/2016**

## **Rad vjetroturbina s vertikalnom osovinom**

**Student**

Perošić Paula, 5568/601

**Mentor**

Dunja Srpak, dipl.ing., predavač

Varaždin, rujan 2016. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za elektrotehniku		
PRISTUPNIK	Paula Perošić	MATIČNI BROJ	5568/601
DATUM	14.07.2016.	KOLEGIJ	UREĐAJI ENERGETSKE ELEKTRONIKE
NASLOJ RADA	RAD VJETROTURBINA S VERTIKALNOM OSOVINOM		
NASLOJ RADA NA ENGL. JEZIKU	OPERATION OF WIND TURBINES WITH VERTICAL SHAFT		

MENTOR	Dunja Srpak	STANJE	predavač
--------	-------------	--------	----------

ČLANOVI POVJERENSTVA	1. mr.sc.Ivan Šumiga, viši predavač
	2. Miroslav Horvatić, dipl.ing., predavač
	3. Dunja Srpak, dipl.ing., predavač
	4. _____
	5. _____

## Zadatak završnog rada

BROJ	378/EL/2016
------	-------------

U završnom radu opisati konstrukcijske oblike vjetroturbina koje se koriste u različitim vjetroelektranama, s naglaskom na turbine sa vertikalnom osovinom, te napraviti pregled njihovih prednosti i nedostataka. Izraditi maketu vjetroelektrane sa vertikalnom osovinom s različitim izvedbama lopatica. Izvršiti testiranja makete za različite brzine vjetra, izmjeriti bitne električne parametre i komentirati dobivene rezultate.

U radu je potrebno:

- Objasniti osnovne principe rada različitih vjetroturbina
- Navesti prednosti i nedostatke različitih vrsta vjetroturbina
- Opisati izvedbe lopatica vjetroturbina sa vertikalnom osovinom
- Prikažati utjecaj izvedbe lopatica na brzinu vrtnje vjetroturbine
- Izraditi maketu vjetroturbine sa vertikalnom osovinom za upotrebu na laboratorijskim vježbama
- Testirati izrađenu maketu sa različitim brzinama upravljanja i različitim izvedbama lopatica
- Izvršiti mjerenja i komentirati dobivene rezultate

LABORANS VOJVOĆIN

22.08.2016.



*[Handwritten signature]*

## Sažetak

Uvod ovog seminarskog rada upućuje na osnovnu tematiku rada i daje osnovne informacije i podjele vjetroturbina, te razloge njihovog razvoja i primjene .

Drugo poglavlje govori o vjetru kao o pokretaču vjetroturbine te osnovnim karakteristikama vjetra, nakon toga ukratko je upisan povijesni pregled razvoja vjetroturbina općenito a nakon toga tijek i razvoj malih vjetroturbina.

Sljedeće poglavlje govori o konstrukcijskim oblicima vjetroturbina koje su podijeljene na vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje i vjetroturbine s vertikalnom osi vrtnje, a svaka od te dvije osnovne izvedbe se ponovo dijeli unutar grupe.

U praktičnom dijelu opisan je postupak izrade makete vjetroturbine s vertikalnom osovinom s različitim izvedbama lopatica za upotrebu na laboratorijskim vježbama, te mjerenja parametara pri različitim brzinama upravljanja i različitim izvedbama lopatica.

U posljednjem poglavlju razrađena je analiza dobivenih rezultata mjerenja i doneseni su zaključci.

## Popis korištenih kratica

<b><math>P</math></b>	snaga
<b><math>\rho</math></b>	gustoća
<b><math>v</math></b>	brzina
<b><math>v_b</math></b>	osnovna brzina vjetra
<b><math>C_{dir}</math></b>	faktor smjera vjetra
<b><math>C_s</math></b>	koeficijent godišnjeg doba
<b><math>v_{b,0}</math></b>	temeljna vrijednost osnovne brzine
<b>FeZn</b>	pocinčano željezo
<b>NdFeB</b>	neodimijski magneti

# Sadržaj

<b>1.</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>VJETAR .....</b>	<b>3</b>
2.1.	Snaga vjetra.....	3
2.2.	Brzina vjetra.....	3
<b>3.</b>	<b>POVIJESNI PREGLED RAZVOJA VJETROGENERATORA .....</b>	<b>6</b>
3.1.	Razvoj malih turbina.....	6
3.2.	Načela i pravila za postavljanje, montažu i puštanje u rad malih vjetroturbina .....	7
<b>4.</b>	<b>KONSTRUKCIJSKI OBLICI VJETROTURBINA.....</b>	<b>8</b>
4.1.	Vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje (VSHO) .....	8
4.1.1.	Prednosti i nedostaci vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje.....	11
4.2.	Vjetroturbine s vertikalnom osi vrtnje (VSVO).....	12
4.2.1.	Darrieusov model vjetroturbine.....	13
4.2.1.1.	Podvrste Darrieusove vjetroturbine .....	14
4.2.2.	Savoniusov model vjetroturbine.....	16
4.2.3.	Prednosti i nedostaci vjetroturbine s vertikalnom osi vrtnje .....	18
<b>5.</b>	<b>PRAKTIČNI DIO.....</b>	<b>19</b>
5.1.	Planiranje .....	19
5.2.	Materijali i alati .....	19
5.3.	Izrada makete vjetroturbine s vertikalnom osovinom.....	20
5.3.1.	Izrada postolja i osovine.....	20
5.3.2.	Izrada rotora .....	22
5.3.3.	Izrada statora .....	24
5.3.4.	Ispitivanje rada .....	27
5.3.5.	Izrada nosača za lopatice.....	28
5.3.6.	Izrada lopatica .....	29
5.3.7.	Završni popravci.....	30
5.4.	Testiranje makete i mjerenja .....	31
<b>6.</b>	<b>ANALIZA REZULTATA .....</b>	<b>32</b>
<b>7.</b>	<b>ZAKLJUČAK .....</b>	<b>34</b>
<b>8.</b>	<b>LITERATURA.....</b>	<b>35</b>
<b>9.</b>	<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>37</b>
<b>10.</b>	<b>POPIS TABELA .....</b>	<b>39</b>



# 1. Uvod

Povijest iskorištavanja snage vjetra seže daleko u prošlost. Još u davna vremena čovjek je uočio ako bi mogao iskoristiti energiju koja u prirodi postoji u izobilju – energiju vjetra. Ona se najprije koristila za pokretanje jedrenjaka i zahvaljujući upravo energiji vjetra otkriveni su novi trgovački i prometni putevi, ali i novi kontinenti. Kasnije su se vjetroturbine koristile za pogon mlinova i crpki za vodu.

Sredinom 19.og stoljeća kada je počela sve veća primjena parnog stroja, u Europi je bilo oko 50 000 vjetrenjača, ali do početka 20. Stoljeća taj broj opada na svega 10 000.

Električna energija koja se značajnije počela koristiti na početku 20. stoljeća u njegovoj drugoj polovici dovodi do svojevremenog preporoda vjetrenjača, odnosno njihove pretvorbe u postrojenja za proizvodnju električne energije. Značajnija primjena energije vjetra za dobivanje električne energije započinje u godinama prve energetske krize, sedamdesetih godina prošlog stoljeća u Danskoj i SAD-u.

Početak razvoja krenuo je od malih vjetroturbina snage od 1 kW do 25 kW, a danas već postoje vjetroturbine snaga do nekoliko MW. [1]

Posljednjih godina javlja se sve veća svjesnost stanovništva za očuvanjem okoliša, budući da ljudi svojim načinom života izazivaju velike i negativne promjene Zemljinog eko sustava koje izravno utječu na cijeli planet. Jedan od većih zagađivača, uz industriju, je proizvodnja električne energije jer najveći udio u svjetskoj proizvodnji imaju termoelektrane koje koriste fosilna goriva koja značajno zagađuju Zemljinu atmosferu. Iz toga razloga javlja se potreba za novim, alternativnim izvorima energije poput Sunčeve energije, energije oceana, geotermalne energije, energije vjetra i sl. Vjetroturbine su poznate kada se govori o zaštiti okoliša, upravo zato što nema nikakvih oblika nusprodukata koji bi mogli naštetiti okolišu.

Vjetar je glavni pokretač vjetroagregata. Ako nema vjetra, vjetroagregat neće proizvoditi električnu energiju. Svakoj zemlji je potrebna određena količina električne energije, a ako nema dovoljno proizvodnih pogona za proizvodnju električne energije, istu treba uvoziti iz drugih zemalja. Iz tog razloga jedan dio proizvodnje električne energije vrše vjetroelektrane kako bi se nadoknadio barem dio energije koja nedostaje. Čak i kada određena zemlja nije bogata vodama za rad i razvoj hidroelektrana, vjetra joj neće nedostajati.

Osnovni princip rada vjetroturbine je primanje energije vjetra i njena pretvorba u neku drugu vrstu energije, najčešće električnu energiju. Svaka vjetroturbina sastoji se od određenog broja lopatica koje hvataju vjetar tj. vjetar ih okreće, a lopatice svojom vrtnjom pokreću osovinu koja



je direktno vezana za generator koji ima zadaću proizvoditi električnu energiju. Vjetroturbine se po konstrukcijskom obliku mogu podijeliti na vjetroturbine s horizontalnom i s vertikalnom osi vrtnje.

Najpoznatija izvedba vjetroturbine s horizontalnom osi je tzv. Danski koncept koji sadrži 3 komada lopatica, dok su glavni predstavnici vjetroturbina s vertikalnom osi vrtnje Darrieusov i Savoniusov model vjetroturbine.

Da bi se postigle pozitivne strane malih vjetroturbina potrebno je paziti na neka načela i pravila vezana za njihovo postavljanje, montažu te puštanje u rad, ali je potrebno i odabrati odgovarajući tip vjetroturbine.

## 2. Vjetar

Vjetar je horizontalno strujanje zračnih masa koje nastaju uslijed razlike između temperatura, odnosno tlakova. Istraživanja su pokazala da je teoretska iskoristivost energije vjetra približno 72 TW, no također je poznato je da sva ta energija nije praktično iskoristiva. Zemlja od Sunca dobiva  $1,7 \cdot 10^{17}$  W snage, a od toga se od 1% do 2% pretvara u vjetar.

### 2.1. Snaga vjetra

Snaga vjetra određena je gustoćom i brzinom vjetra na određenoj jedinici površine na kojoj se vrše mjerenja (1).

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (1)$$

gdje je:

- P – Snaga vjetra po jedinici površine
- $\rho$  - gustoća vjetra
- v – brzina vjetra

Veliku ulogu kod računanja snage vjetra ima njegova brzina, a snaga vjetra mijenja se eksponencijalno u ovisnosti o brzini vjetra. [3]

### 2.2. Brzina vjetra

Vjetar je, kao i sve vektorske veličine, određen brzinom i smjerom, ali i jačinom. Brzina vjetra izražava se mjernim jedinicama za brzinu m/s, km/h, čvorovima i beaufort-om, a mjeri se anemometrom. Brzine vjetra prema Beaufortu prikazane su u tabeli 1.

Anemometar je instrument za mjerenje jačine vjetra i brzine strujanja zraka koji prepoznaje i najmanju količinu vjetra, ali i izdržava najveće nalete vjetra kako bi ih mogao izmjeriti.

Brzine vjetra prema Beaufortu	
Beaufort	Km/h
0	4
1	8
2	13
3	20
4	27
5	36
6	45
7	56
8	67
9	80
10	93
11	108
12	123
13	140
14	157
15	176
16	195
17	216

*Tabela 1: Brzine vjetra prema Beaufortu*

Osnovna brzina vjetra određuje se formulom (2) i to je maksimalna brzina vjetra za koju se može očekivati da bude premašena prosječno jednom u 50 godina, a mjeri se na visini od 10 m od tla i na terenu hrapavosti visine 0,03 m. Meteorološka podloga kod koje se obavlja proračun opterećenja vjetrom sadrži zone opterećenja vjetra u ovisnosti o iznosu te brzine. Na temelju tih zona određuje se maksimalno očekivano opterećenje konstrukcije i određuju se parametri potrebni za pravilno projektiranje vjetroagregata. Taj izračun vrlo je važan pri projektiranju i izgradnji vjetroagregata kako bi konstrukcijski bili što otporniji na negativna djelovanja vjetra vrlo velikih brzina. [2].

$$V_b = C_{dir} \cdot C_s \cdot V_{b,0} \quad (2)$$

gdje je:

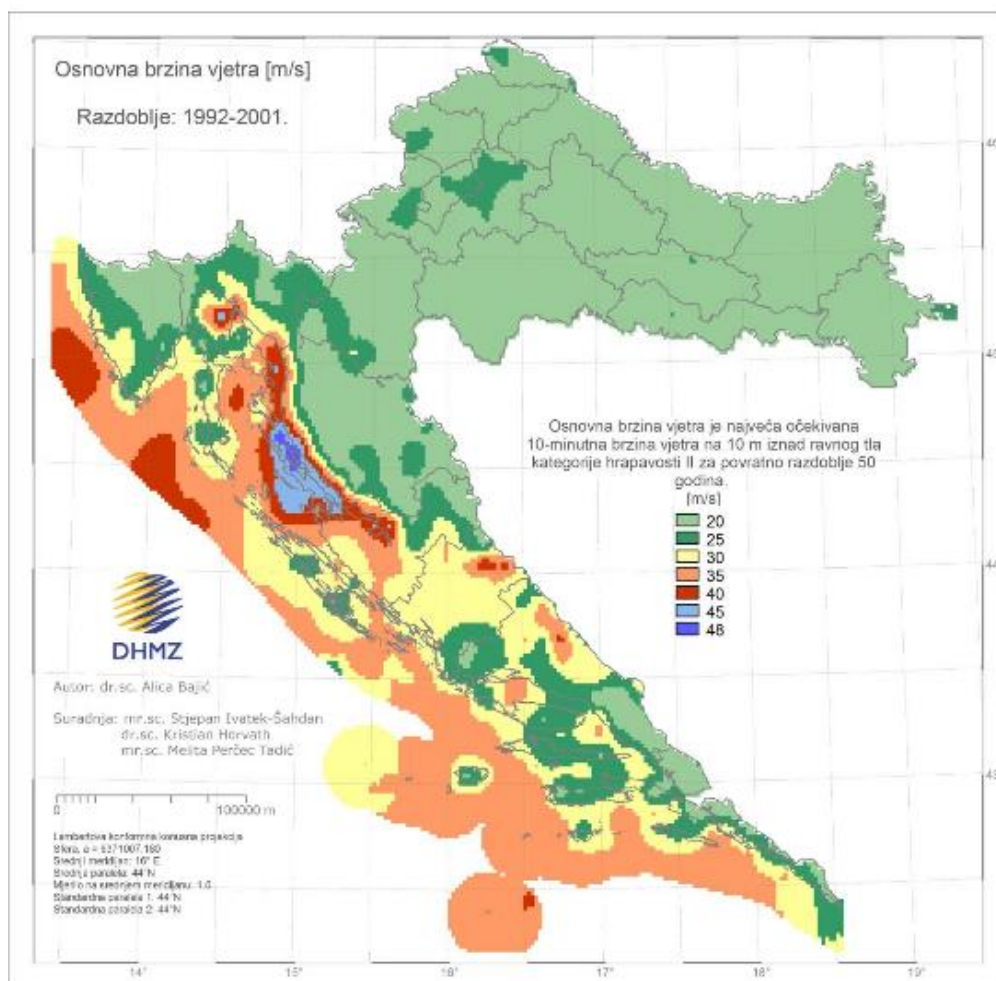
$v_b$  – osnovna brzina vjetra

$c_{dir}$  – faktor smjera vjetra

$c_s$  – koeficijent godišnjeg doba

$v_{b,0}$  – temeljna vrijednost osnovne brzine

Faktor smjera vjetra i koeficijent godišnjeg doba najčešće su vrijednosti 1, a temeljna vrijednost osnovne brzine očitava se iz karte osnovne brzine vjetra. Na slici 1 prikazana je karta osnovne brzine vjetra za Republiku Hrvatsku.



Slika 1. Karta osnovne brzine vjetra za Republiku Hrvatsku [11]

Kriterij zoniranja određenog područja, s obzirom na osnovnu brzinu vjetra, prikazan je u tabeli 2.

Kriterij zoniranja određenog područja s obzirom na osnovnu brzinu vjetra	
Vb (m/s)	Zona
< 25	I
25 – 30	II
30 – 35	III
35 – 40	IV
> 40	V

Tabela 2: Kriterij zoniranja određenog područja s obzirom na osnovnu brzinu vjetra

### **3. Povijesni pregled razvoja vjetrogeneratora**

Povijesni izvori govore o iskorištavanju energije vjetra za pogon prvih mlinova u Afganistanu još u 7. stoljeću. Vjetrenjače koje su pokretale te mlinove bile su sposobne obavljati mehanički rad, konstrukcijski su bile vrlo jednostavne i imale su malu iskoristivost u usporedbi s današnjim vjetrogeneratorima. Postoje i drugi zapisi o korištenju energije vjetra, npr. pronađene su skice mlinova s vertikalnom osovinom koje su ostavili stari Arapi.

U Europi postoje tragovi vjetrenjača iz 9. stoljeća, a energija vjetra je postajala sve važnijom od 12. stoljeća prema danas i njenim sve većim iskorištavanjem konstrukcijski je napredovala. Deseci tisuća vjetrenjača koristili su se za drenažu zemljišta u Nizozemskoj tijekom 17. i 18. stoljeća, a te vjetrenjače su bile složene i mogle su samostalno pratiti vjetar. U 19. stoljeću u Sjevernoj Americi vjetrenjače su se upotrebljavale za pogon sistema za pumpanje vode.

Upotreba električne energije i elektrifikacija isključile su vjetrenjače iz upotrebe i zapostavile energiju vjetra sve do dolaska naftne krize 1970-ih kada je upotreba energije vjetra ponovo oživjela, a uz to su se i pojavili prvi vjetrogeneratori. Od 1850. godine u Europi se razvijaju generatori koji su bili uglavnom snage do 50 kW. 1931. godine proizveden je prvi vjetrogenerator snage preko 100 kW, a početkom 90-ih godina prošlog stoljeća najveći vjetrogenerator davao je snagu 0,5 MW. Današnji vjetrogeneratori su dosegli visok tehnološki standard i njihove snage iznose i do nekoliko MW.

#### **3.1. Razvoj malih turbina**

Mali vjetrogeneratori namijenjeni su za potrebe opskrbe kućanstva, a snage su do 1 kW. Mali vjetrogeneratori u odnosu na velike konstrukcijski se ne razlikuju previše. Jedina vidljiva razlika je u njihovoj veličini, koja rezultira manjom proizvodnjom električne energije zbog manje iskoristivosti kinetičke energije vjetra. Mali vjetrogeneratori se u principu postavljaju kao samostalne jedinice i korisniku pružaju energetska neovisnost, jednostavnu primjenu i montažu zbog svoje veličine, te veću zaštitu okoliša. Oni su svojom cijenom vrlo pristupačni i konkurentni, uz to i jedni od najjeftinijih načina za proizvodnju vlastite električne energije, a povrat investicije često nije primaran razlog prilikom njihovog postavljanja već potpuna ili djelomična energetska neovisnost, ovisno o ciljevima i potrebama korisnika.

### **3.2. Načela i pravila za postavljanje, montažu i puštanje u rad malih vjetroturbina**

Da bi se postigle ranije navedene pozitivne strane malih vjetroturbina, potrebno je paziti na neka načela i pravila vezanih za njihovo postavljanje, montažu te puštanje u rad.

**Mjesto montaže** - stup vjetroturbine mora biti postavljen na udaljenosti od najmanje jedne visine stupa od ruba čestice na kojoj se nalazi, te ne smije ugrožavati susjedne čestice.

**Estetika** – potrebno je paziti na način postavljanja i konfiguraciju terena.

**Buka** – kod malih vjetroturbina može se reći da je buka zanemariv čimbenik, budući da male vjetroturbine ne proizvode buku veću od nekih kućanskih aparata poput hladnjaka.

**Sigurnost** - pri instalaciji vjetroturbina potrebno je posebnu pažnju posvetiti sigurnosnim mjerama zbog visine postavljanja, kako se njihova sigurnost i dužina životnog vijeka ne bi smanjila.

**Vremenski uvjeti** – potrebno je računati na učestalo održavanje i kontrolu zbog povećane korozije, ako se vjetroturbina nalazi u blizini mora gdje često puše jaka bura.[4]

## 4. Konstrukcijski oblici vjetroturbina

Konstrukcijski oblik vjetroturbine određen je položajem njenog vratila. Postoje vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje (VSHO) i vjetroturbine s vertikalnom osi vrtnje (VSVO).

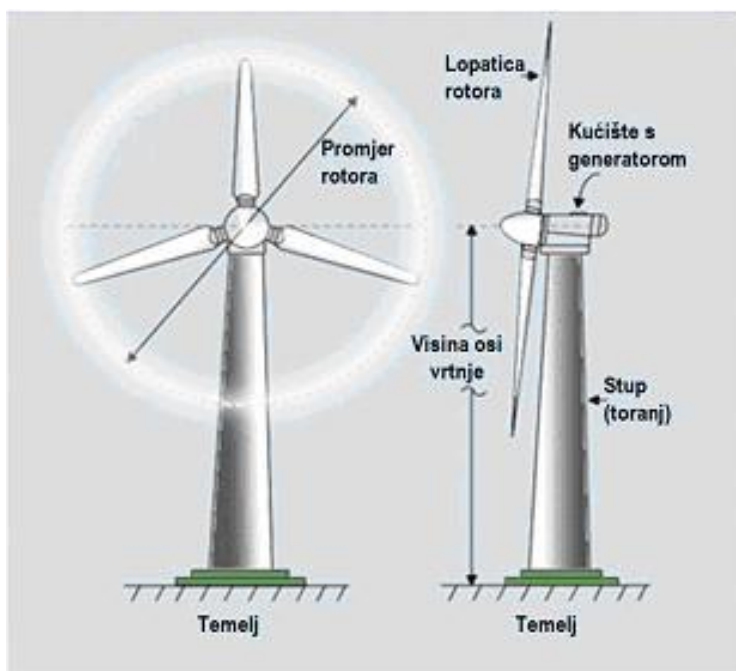
### 4.1. Vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje (VSHO)

Rotacijski dio vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje usmjeren je horizontalno u odnosu na smjer puhanja vjetra, a lopatice koje zahvaćaju vjetar instalirane su okomito u odnosu na rotacijsku os pod određenim kutem.

Generator ovih vjetroturbina postavlja se na vrh stupa u trup zajedno s multiplikatorom ako je on potreban. Multiplikator se koristi za povećanje brzine vrtnje ako je brzina vrtnje lopatica premala za proizvodnju električne energije.

Visina stupa vjetroturbine treba biti od 1,5 do 2 puta veća od promjera lopatica da bi turbina mogla hvatati veće brzine vjetra na većim visinama.

Budući da vjetar ne dolazi uvijek iz istoga smjera, ovakve vjetroturbine trebaju imati mogućnost zakretanja trupa. Manje izvedbe vjetroturbina imaju jednostavna krilca koja usmjeravaju vjetroturbinu u smjeru puhanja vjetra, a kod velikih izvedbi potreban je servo motor povezan sa senzorom za identifikaciju smjera vjetra.



Slika 2. Vjetroturbina s horizontalnom osi vrtnje [12]

Postoje dvije izvedbe vjetroturbina s horizontalnom osi vrtnje kada se govori o položaju stupa u odnosu na lopatice. Stup može biti iza ili ispred lopatica. Vjetroturbine koje imaju stup ispred lopatica podnose snažniji vjetar jer imaju veću mogućnost savijanja lopatica bez opasnosti da će zahvatiti stup, te im nije potreban mehanizam koji će zakretati turbinu jer se stup postavlja u smjeru vjetra, no nedostatak je taj što se lopatice kod ovakve izvedbe nalaze pod velikim opterećenjem zbog prolaska kroz turbulenciju nastalu od tornja. Unatoč višoj cijeni izvedbe, najčešće se koriste vjetroturbine sa stupom iza lopatica. Kod ovakvih vjetroturbina potreban je uređaj koji će zakretati turbinu u smjeru vjetra, a nedostatak i razlog više cijene je veoma krut rotor turbine koji mora biti na određenoj udaljenosti od samog trupa.

Broj lopatica vjetroturbina s horizontalnom osi vrtnje ovisi o početnoj funkciji vjetroturbine.

Vjetroturbine s većim brojem lopatica ili Američki tip vjetroturbine prikazan na slici 3 često se nazivaju i spore vjetroturbine. One hvataju sporiji i slabiji vjetar a time se dobiva veliki postotak iskorištenja energije vjetra, puno su lakše u odnosu na brze vjetroturbine i zbog toga su pogodnije kad je u pitanju proizvodnja energije na izdvojenim lokacijama.



*Slika 3: Američki tip vjetroturbine [13]*

Vjetroturbine s manjim brojem lopatica još se nazivaju i brze vjetroturbine. One hvataju vjetar velikih brzina i snaga, a uvjet za njihovo pokretanje je poprilično velika početna brzina i snaga vjetra. Zbog bolje uravnoteženosti cijele vjetroturbinske konstrukcije neparan broj lopatica je mnogo bolji izbor od parnog broja.



Pokazalo se da je najbolji izbor pri odabiru broja lopatica tzv. Danski koncept prikazan na slici 4 koji se sastoji od 3 komada lopatica i iz tog razloga se ostala rješenja po pitanju broja lopatica ocjenjuju u odnosu na upravo ovaj koncept.



*Slika 4. Danski koncept vjetroturbine [14]*

Vjetroturbina s jednom lopaticom prikazana na slici 5 nije se pokazala kao dobro rješenje, unatoč uštedi zbog smanjenja broja lopatica. Ovakve vjetroturbine jako su bučne budući da je potrebna mnogo veća brzina i snaga vjetra za njeno pokretanje, a na drugoj strani lopatice potrebno je postaviti uteg koji će služiti kao protuteža.

Za pokretanje vjetroturbine s dvije lopatice prikazanoj na slici 6 također je potrebna veća brzina i snaga vjetra nego u slučaju Danskog koncepta s 3 lopatice, a sukladno većoj brzini vrtnje raste i količina buke koju lopatice proizvode.



*Slika 5. Vjetroturbina s jednom lopaticom [15]*



Slika 6. Vjetroturbina s dvije lopatice [16]

#### 4.1.1. Prednosti i nedostaci vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje

Tabelom 3 prikazane su prednosti i nedostaci vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje u odnosu na vjetroturbine s vertikalnom osi vrtnje.

Prednosti i nedostaci vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje	
Prednosti	Nedostaci
Bolja stabilnost (lopatice su smještene sa strane)	Vrlo skupa i komplicirana montaža
Veća učinkovitost kada je u pitanju proizvodnja električne energije	Potreba posebnog sustava za zakretanje lopatica u smjeru vjetra - visoka cijena izvedbe
Mogućnost fiksiranja lopatica (smanjuje potencijalnu štetu koja može nastati prilikom nevremena)	Smanjen rok trajanja zbog snažnih turbulencija
Mogućnost postizanja velikih brzina vjetra (pozicioniranjem na visoke stupove)	Problemi u radu na niskim nadmorskim visinama
Sposobnost zakretanja lopatica (mogućnost boljeg iskorištenja energije vjetra, veća kontrola i podešenje idealnog kuta)	Veliki troškovi prijevoza visokih stupova i dugačkih lopatica

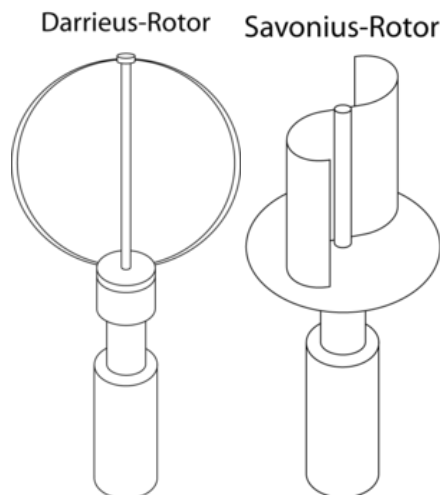
Tabela 3. Prednosti i nedostaci vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje

## 4.2. Vjetroturbine s vertikalnom osi vrtnje (VSVO)

Jednostavne vjetroturbine s vertikalnom osi vrtnje su korištene kao prvi izvori koji za napajanje električnom energijom koriste energiju vjetra. Škotski profesor James Blyth 1887. godine koristio je vjetroturbinu s vertikalnom osi vrtnje za napajanje svoje kuće za odmor. Zbog prednosti ovih vjetroturbina, 1891. godine njemački znanstvenik Paul la Cour osmislio je prvu vjetroturbinu s horizontalnom osi vrtnje koja je imala aerodinamične lopatice po uzoru na vjetroturbinu s vertikalnom osi vrtnje.

Cijeli stup ovakve vjetroturbine predstavlja rotirajuće vratilo i postavljen je okomito na površinu zemlje. Oko vratila su postavljene aerodinamične lopatice i upravo zbog njih je ovakva izvedba vjetroturbine učinkovita bez obzira na smjer nailaska vjetra jer se pretpostavlja da vjetar uvijek nailazi ravno na lopatice. Generator se obično nalazi u podnožju stupa čime se smanjilo opterećenje stupa, ali ovakva vjetroturbina zauzima više prostora od vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje.

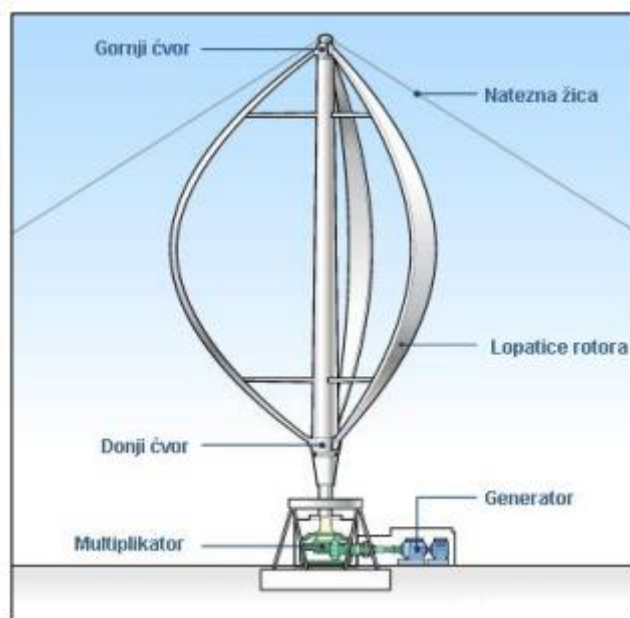
Postoje dva osnovna modela ovih vjetroturbina: Savoniusov i Darrieusov model vjetroturbine koji su prikazani na sljedećoj slici.



Slika 7. Darrieusov i Savoniusov model [5]

#### 4.2.1. Darrieusov model vjetroturbine

Osnovnu izvedbu ove vjetroturbine patentirao je francuski inženjer zrakoplovstva Georges Jean Marie Darrieus 1927. godine i prema njoj su kasnije nastale druge izvedbe.



Slika 8. Darrieusova vjetroturbina [17]

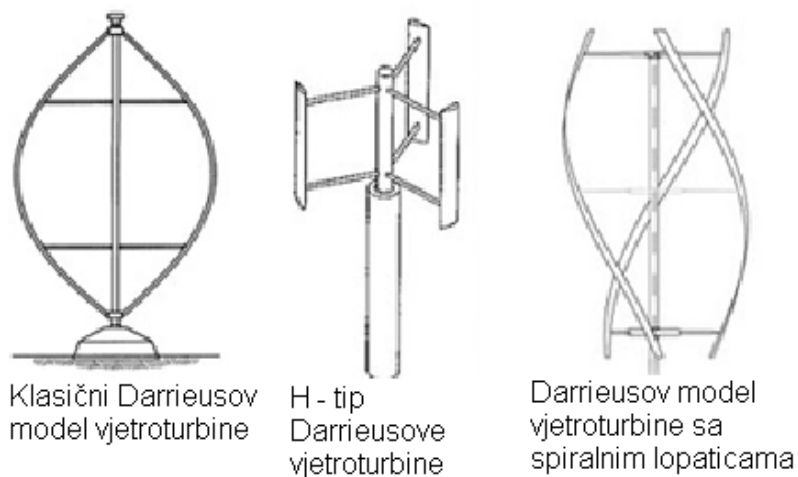
Oko rotirajućeg vratila raspoređene su lopatice aerodinamičnog profila. Brzina vrtnje ove izvedbe uglavnom je mnogo veća od brzine vjetra. Ova izvedba vjetroturbine sposobna je iskoristiti energiju vjetra neovisno o smjeru njegovog puhanja.

Kod ovih vjetroturbina pretpostavlja se da vjetar koji nailazi na lopatice puše ravno. Kada se rotor vrti, lopatice se kreću kroz zrak u kružnom pravcu mnogo većom brzinom od brzine puhanja vjetra u tom trenutku. Kako bi se lopatice počele samostalno vrtjeti potrebno je dosegnuti određenu brzinu vrtnje, a ako je brzina vjetra mala, moguće je da do njihovog pokretanja neće ni doći, no ako i dođe, moguće je da se vrtnja zaustavi zbog trenja u sustavu.

Darrieusova vjetroturbina može doseći brzinu vrtnje lopatica do 220 km/h i to u bilo kojem smjeru.

#### 4.2.1.1. Podvrste Darrieusove vjetroturbine

Osnovne podvrste Darrieusove turbine uz klasični Darrieusov model su H-tip Darrieusove vjetroturbine i tip sa spiralnim lopaticama.



Slika 9. Podvrste Darrieusove vjetroturbine [18]

#### H-tip Darrieusove vjetroturbine

Jedan od poznatijih tipova Darrieusove vjetroturbine je H-tip kod kojeg su lopatice postavljene paralelno u odnosu na os vrtnje. Izvedba je jednostavnija nego kod klasičnog Darrieusovog modela, ali je problem u tome što je masa lopatica pomaknuta u odnosu na simetralu tornja i iz tog razloga lopatice trebaju biti čvršće.



Slika 10. H-tip Darrieusove vjetroturbine [19]

## Darrieusov model vjetroturbine sa spiralnim lopaticama

Ova izvedba vjetroturbine pogodna je jer vjetar ima dobar napadni kut na spiralne lopatice s obje strane bez obzira u kojem se položaju lopatica nalazi. Kod ovog modela vjetroturbine riješen je problem sa samopokretanjem lopatica, te one imaju mogućnost hvatanja turbulentnih struja kakve se pojavljuju iznad krovova kuća.



*Slika 11. Vertikalna Darrieusova vjetroturbina sa spiralnim lopaticama [20]*

Osim vertikalnih izvedbi ovakvih turbina, postoje i horizontalne izvedbe Darrieusovih vjetroturbina sa spiralnim lopaticama. Ovakve vjetroturbine smještaju se na određenu visinu na kojoj hvataju jednoliko raspoređenu brzinu vjetra, pa je time izbjegnuta problem malih brzina kao kod turbina koje se nalaze na tlu. Prednost takvih izvedbi je bolji smještaj i manje opterećenje ležajeva, a nedostatak je nemogućnost hvatanja vjetra iz svih smjerova, pa se iz tog razloga spektar njihove primjene smanjuje.

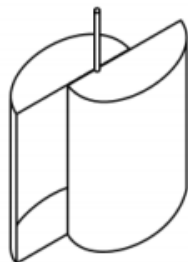


*Slika 12. Horizontalna Darrieusova vjetroturbina sa spiralnim lopaticama [21]*

#### 4.2.2. Savoniusov model vjetroturbine

Prva izvedba vertikalne vjetroturbine zamisao je finskog inženjera Sigurarsa Johannesa Savoniusa po kojem je i dobila ime, a nastala je 1922. godine.

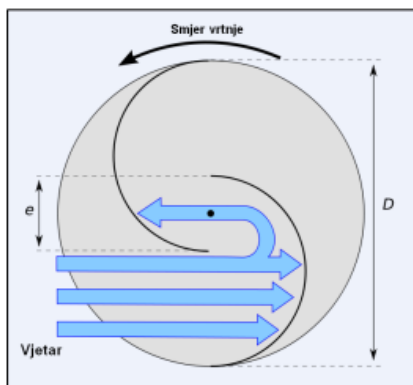
Savoniusov model vjetroturbine osmišljen je s ciljem da putem rotacijske osovine pretvara energiju vjetra u odgovarajući oblik energije.



Slika 13. Savoniusov model vjetroturbine [5]

Ova izvedba vjetroturbine jedna je od najjednostavnijih vjetroturbina ikad osmišljenih, a sastoji se od dvije ili rjeđe tri lopatice. Rotor Savoniusove vjetroturbine s dvije lopatice, ao se gleda odozgo, ocrtava oblik slova „S“. Zbog takve zakrivljenosti lopatica, one su manje opterećene kad se rotiraju u smjeru suprotnom od vjetra nego u slučaju kada se rotiraju zajedno s njim i iz tog razloga uvijek se javlja rotacija u smjeru gdje je veće opterećenje. Od ove izvedbe vjetroturbine nije važno u kojem smjeru vjetar puše, jer će uvijek jedna lopatica biti okrenuta u ispravnom smjeru i doći će do njenog pokretanja. Upravo iz tog razloga ovaj model je idealan za područja s nepredvidljivim i turbulentnim vjetrom.

Zbog takvog načina rada ova vjetroturbina proizvodi dosta manje energije nego druge turbine istih dimenzija. Postotak iskorištenosti vjetra je samo 15% tj. samo 15% vjetra koji zahvati lopatice može se iskoristiti za dobivanje energije.



Slika 14. Princip rada Savoniusove vjetroturbine [22]



*Slika 15. Savoniusov model vjetroturbine [23]*

Zbog svoje jednostavnosti, Savoniusova vjetroturbina često se koristi kada su cijena i pouzdanost sustava važniji od njegove učinkovitosti, npr. anemometar koji je prikazan na slici 16. Anemometar je mjerni instrument za mjerenje jačine vjetra i brzinu strujanja zraka čija je uloga mjerenje nekoliko ili svih komponenata vjetra. Princip Savoniusove vjetroturbine primjenjuje se u Flettnerovom ventilatoru koji se koristi u situacijama kada je potrebna filtracija zraka, najčešće u autobusima, kamionima i automobilima, ali i na krovovima kuća.



*Slika 16. Anemometar [24]*



*Slika 17. Primjena Flettnerovog ventilatora [25]*



Na sljedećoj slici je prikazan zanimljiv primjer konstrukcije vjetroturbine s vertikalnom osi vrtnje koji dolazi iz Tajvana, gdje su u jednu konstrukciju ukomponirani i Darrieusov i Savoniusov model vjetroturbine.



Slika 18. Darrieus - Savoniusova vjetroturbina [26]

#### 4.2.3. Prednosti i nedostaci vjetroturbine s vertikalnom osi vrtnje

Tabelom 4 prikazane su prednosti i nedostaci vjetroturbine s vertikalnom osi vrtnje u odnosu na vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje.

Prednosti i nedostaci vjetroturbine s vertikalnom osi vrtnje	
Prednosti	Nedostaci
Niža cijena - nema potrebe za posebnim mehanizmom za zakretanje, stup ne mora biti previše visok	Manja iskoristivost od VSHO
Jednostavnije za održavanje (svi važniji dijelovi smješteni su blizu tla)	Dijelovi smješteni uz tlo često su pod pritiskom konstrukcije iznad njih – mogući problemi i poteškoće pri zamjeni određenih dijelova
Nije nužno okretanje u smjeru gdje puše vjetar	Vrlo mali startni okretni moment
Konstrukcijski mogu biti dosta veće od VSHO	Za rad i postavljanje potrebno je ravno tlo

Tabela 4. Prednosti i nedostaci vjetroturbine s vertikalnom osovinom

## 5. Praktični dio

Praktični dio ovog završnog rada sastoji se od izrade makete vjetroturbine s vertikalnom osovinom s različitim izvedbama lopatica za upotrebu na laboratorijskim vježbama i testiranja istih, te mjerenja parametara pri različitim brzinama upravljanja i različitim izvedbama lopatica.

U ovom poglavlju bit će opisan se postupak izrade makete vjetroturbine s vertikalnom osovinom od planiranja, nabave potrebnog materijala do ispitivanja i analize dobivenih rezultata.

### 5.1. Planiranje

Prije nego što se krenulo u samu izradu vjetroturbine bilo je potrebno razmisliti i isplanirati tijek izrade. Neki zanimljivi oblici lopatica bili su teško izvedivi, pa je odlučeno da će se izraditi maketa koja će biti kombinacija Darrieusove i Savoniusove vjetroturbine, budući da su to predstavnici vjetroturbina s vertikalnom osovinom, a maketa će se koristiti u svrhu laboratorijskih vježbi.

### 5.2. Materijali i alati

Prilikom izrade praktičnog dijela rada korišteni je sljedeći alat:

- Ubodna pila
- Ručna pila
- Kombinirana kliješta
- Škripac
- Bušilica
- Brusilica
- Renovator
- Čekić
- Lemilica
- Kutnik
- Šestar
- Multimetar
- Kompresor
- Metar

Za potrebe izrade makete korišteni su sljedeći materijali:

- Drvena ploča
- Laminat
- Pocinčana željezna (FeZn) navojna šipka
- Barena lakirana žica
- Lemna nit
- Mast za lemljenje
- Brusni papir
- Super ljepljivo
- Neodimijski magneti N52
- Vijci
- Matice
- Podložne pločice
- Kuglični ležajevi
- Priključnice za spajanje trošila
- Lim
- Plastični podlošci
- Izolir traka

### **5.3. Izrada makete vjetroturbine s vertikalnom osovinom**

#### **5.3.1. Izrada postolja i osovine**

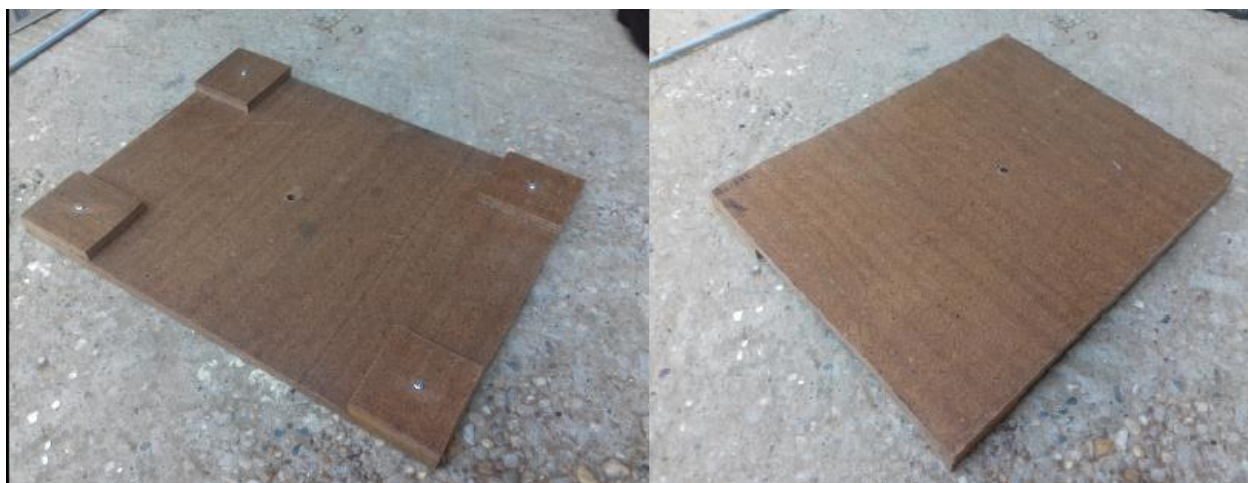
Za izradu postolja korištena je drvena ploča dimenzija 530x350 mm i debljine 15 mm. Kako bi se navojna šipka kasnije mogla bolje učvrstiti, od iste ploče napravljene su i 4 noge dimenzija 80x85 mm koje su se učvrstile vijcima promjera 4 mm na donju stranu drvene ploče dimenzija 450x350 mm. Na postolju je izbušena rupa promjera 10 mm u koju će se pomoću matica i podložnih pločica učvrstiti FeZn navojna šipka promjera 10mm i dužine 1 m. Na sljedećim slikama prikazan je postupak izrade postolja makete.



*Slika 19: Drvena ploča za izradu postolja vjetroturbine*



*Slika 20: Noga za postolje*



*Slika 21: Postolje vjetroturbine*

Na FeZn navojnu šipku učvršćuju se 2 drvena diska koji će rotirati zajedno s lopaticama. Diskovi promjera 200 mm izrađeni su od laminata. Na sredini je provrtana rupa promjera 26 mm u koju je učvršćen kuglični ležaj unutarnjeg promjera 10 mm i vanjskog promjera 26 mm. Izrađen disk prikazan je na slici 22.



*Slika 22: Drveni disk*

### **5.3.2. Izrada rotora**

Na jedan od izrađenih diskova potrebno je učvrstiti magnete. Na disku je prvo potrebno označiti gdje će se postaviti magneti. Iscrtan je krug promjera 150 mm na koji će se učvrstiti 8 magneta koji su međusobno jednako udaljeni jedan od drugog pod kutem od  $45^\circ$ .

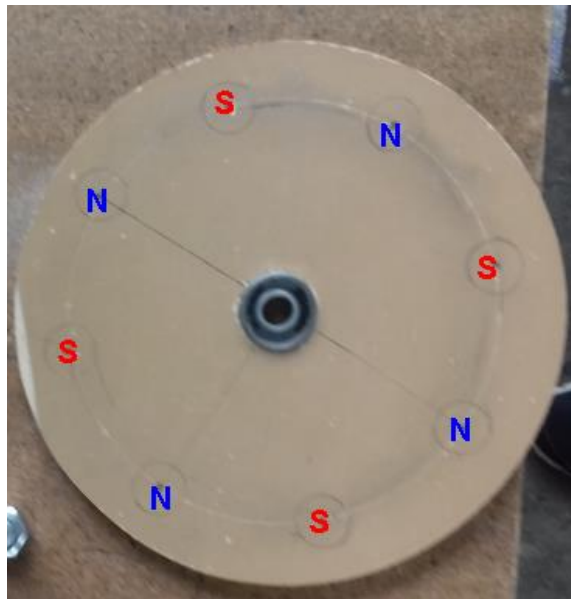


*Slika 23: Disk s označenim položajem magneta*

Za potrebe ove makete korišteni su neodimijski magneti (NdFeB) N52 promjera 20 mm i debljine 5 mm, to su najsnažniji permanentni magneti i prilikom postavljanja je potrebno biti oprezan kako nepažnja ne bi dovela do nepoželjnih ozljeda.

Magnete je potrebno postaviti tako da se međusobno odbijaju jedan od drugoga. Raspored postavljanja magnetna prikazan je na slici 24.

Zbog snažnog međudjelovanja magnetna kao najbolja metoda pričvršćivanja magnetna pokazalo se trenutno ljepilo.



*Slika 24: Disk s označenim polovima magnetna*



*Slika 25: Disk sa pričvršćenim magnetima*

### 5.3.3. Izrada statora

Stator ove vjetroturbine sastoji se od 8 namotaja. Za namotaje statora korištena je bakrena lakirana žica promjera 0,5 mm. Dimenzije namotaja određuju se prema promjeru magneta. Budući da je promjer magneta korištenih u ovoj maketi 20 mm, unutarnji promjer namotaja jednak je promjeru magneta, dok vanjski promjer treba biti  $\frac{2}{3}$  promjera magneta, odnosno 30 mm. Debljina namotaja također se određuje prema magnetima, ona treba biti duplo veća od debljine magneta, što u ovom slučaju ispada  $2 \times 5$  mm, odnosno 10 mm.

Kako bi se namotaji izradili što preciznije izrađena je motalica koja se sastoji od vijka, pripadajućih matica i podložnih pločica, te šuplje cijevi promjera 10 mm i dužine 10 mm.

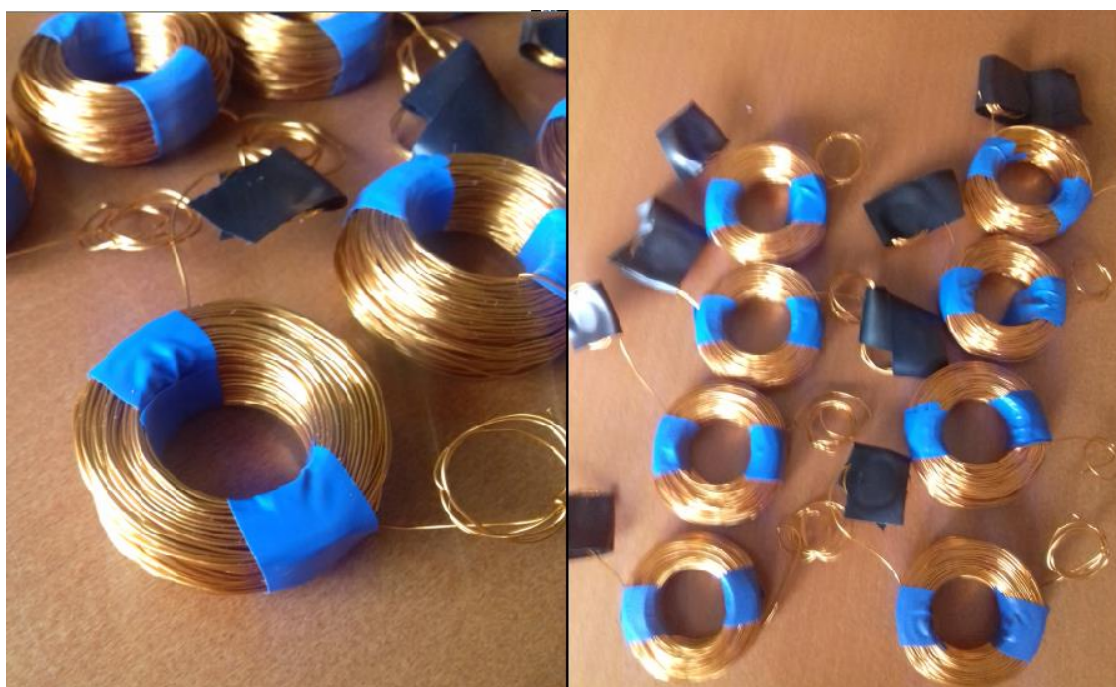


*Slika 26: Motalica za namotaje*

Jedan kraj žice potrebno je omotati oko vijka te učvrstiti maticom, a nakon što je na motalicu namotano oko 350 zavoja, drugi kraj žice je potrebno označiti izolir trakom kako ne bi došlo do zabune prilikom spajanja. Nakon otpuštanja matice namotaj je potrebno maknuti s motalice i učvrstiti izolir trakom. Postupak izrade namotaja prikazan je na sljedećim slikama.



*Slika 27: Postupak izrade namotaja*



*Slika 28: Gotovi namotaji*

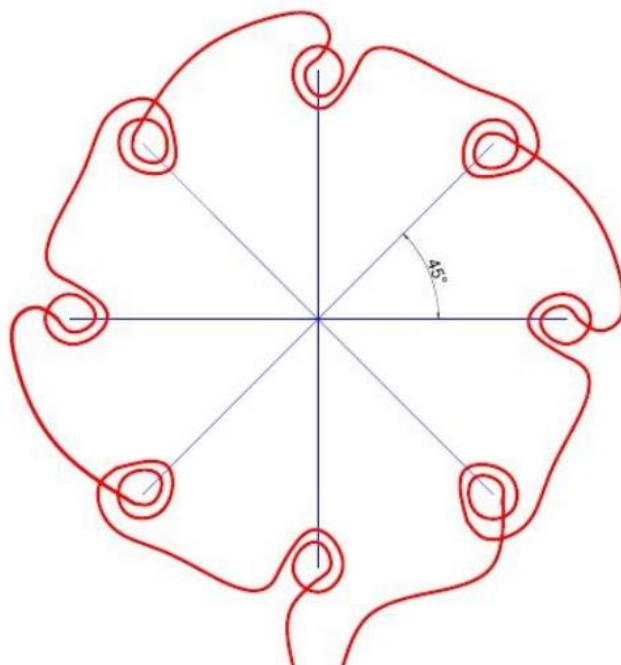
Nakon što su namotaji izrađeni potrebno ih je učvrstiti za postolje. Iscrtan je krug promjera 150 mm na koji dolazi 8 namotaja koji su međusobno jednako udaljeni jedan od drugog pod kutem od  $45^\circ$ . Vrlo je važno postaviti ih tako da prilikom vrtnje magneti koji su iznad njih prolaze sredinom namotaja kojima će se inducirati napon.





*Slika 29: Postolje s označenim položajem namotaja i disk s označenim položajem magneta*

Kako bi se pravilno inducirao napon, namotaje je potrebno međusobno spojiti na odgovarajući način kao što je prikazano na slici 30, tako da je početak namotaja uvijek spojen s početkom drugog namotaja, odnosno kraj jednog namotaja s krajem drugog. Namotaje je potom potrebno trenutnim ljepilom učvrstiti za postolje.



*Slika 30: Shema spajanja namotaja*

Na kraju namotaja potrebno je brusnim papirom skinuti lak sa žice kako bi se mogao zalemiti.



*Slika 31: Položaj i način spajanja namotaja*

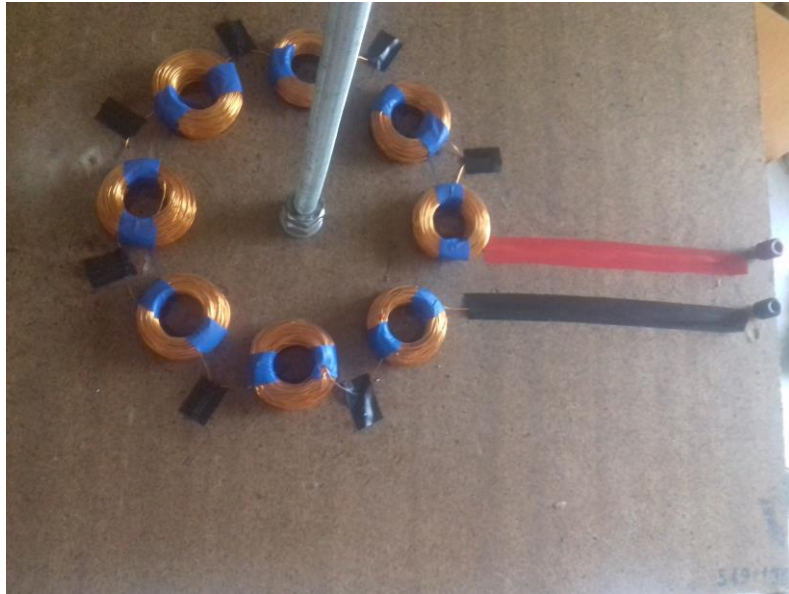
#### **5.3.4. Ispitivanje rada**

Kako bi bili sigurni da su namotaji pravilno spojeni, da nije došlo do loma žice u namotajima te da su magneti pravilno postavljeni, izvršeno je ispitivanje. Disk s magnetima postavljen je 10 mm iznad namotaja i pričvršćen maticom. Disk je zarotiran rukom i na multimetru se pokazao napon od 5.32 V što je vidljivo na slici 32.



*Slika 32: Postupak ispitivanja rada*

Nakon što je potvrđena ispravnost svih namotaja, vrhove namotaja potrebno je zalemiti za priključnice za spajanje trošila.



*Slika 33: Izrađen stator*

### **5.3.5. Izrada nosača za lopatice**

Nosači za lopatice napravljeni su od lima debljine 0.8 mm i dimenzija 40x195 mm koji je povinut na rubovima zbog čvrstoće. Učvršćeni su na drvene diskove na kojima su izbušene rupe, međusobno su pomaknuti  $120^\circ$  i učvršćeni s 2 vijka promjera 4 mm i odgovarajućim maticama.



*Slika 34: Diskovi s nosačima*

### 5.3.6. Izrada lopatica

Za potrebe praktičnog dijela rada izrađene su dvije vrste lopatica, različitog oblika i različitog materijala.

Lopatice tip 1 izrađene su od tankog lima, promjera 120 mm i dužine 500 mm. Zbog nemogućnosti samostalne izrade ovog tipa lopatica, skica i dimenzije odnesene su limaru koji ih je izradio.

Lopatice tipa 2 izrađene su od plastičnih podmetača dimenzija 470x170 mm.

Na oba tipa lopatica izbušene su po 2 rupe sa svake strane za pričvršćivanje na nosače kako bi se lopatice lako mogle zamijeniti.



*Slika 35: Lopatice Tip 1 i Lopatice Tip 2*

### 5.3.7. Završni popravci

Nakon izrade svih dijelova , maketu je potrebno sastaviti. Budući da je osovina preduga, potrebno ju je skratiti, zatim je bilo potrebno učvrstiti diskove maticama te izbušiti rupe u koje će doći priključci za mjerni instrument.

Nakon tih popravaka maketa je spremna za ispitivanje, mjerenje parametara i analizu rezultata. Na sljedećim slikama prikazana je maketa za različitim lopaticama.



*Slika 36: Maketa s lopaticama Tip 1*



*Slika 37: Maketa s lopaticama Tip 2*

## 5.4. Testiranje makete i mjerenja

Budući da je potrebno izvršiti mjerenja i usporediti rezultate, mjerenja na stvarnim lokacijama ne bi davala dobre rezultate za usporedbu jer se na vjetar ne može utjecati, a potrebno je neko vrijeme da se zamijene lopatice. Iz tog razloga mjerenja će se izvršiti pomoću kompresora koji će puhati u lopatice s udaljenosti 0,5 m pri 1, 2, 3, 4, 5, 6,7 i 8 bara.

Napon će se mjeriti pomoću multimetra podešenog na područje V, a u tablicu će se upisati prosječni napon, dok će se brzina vrtnje u minuti mjeriti tako da se broji broj okretaja u 5 sekundi koji će se pomnožiti s 12.

Mjerenja napona		
U(V)		
bar	Lopatice Tip 1	Lopatice Tip 2
1	0,2	0,1
2	0,6	0,2
3	1,0	0,3
4	1,4	0,7
5	1,5	0,9
6	1,6	1,2
7	1,7	1,5
8	1,9	1,8

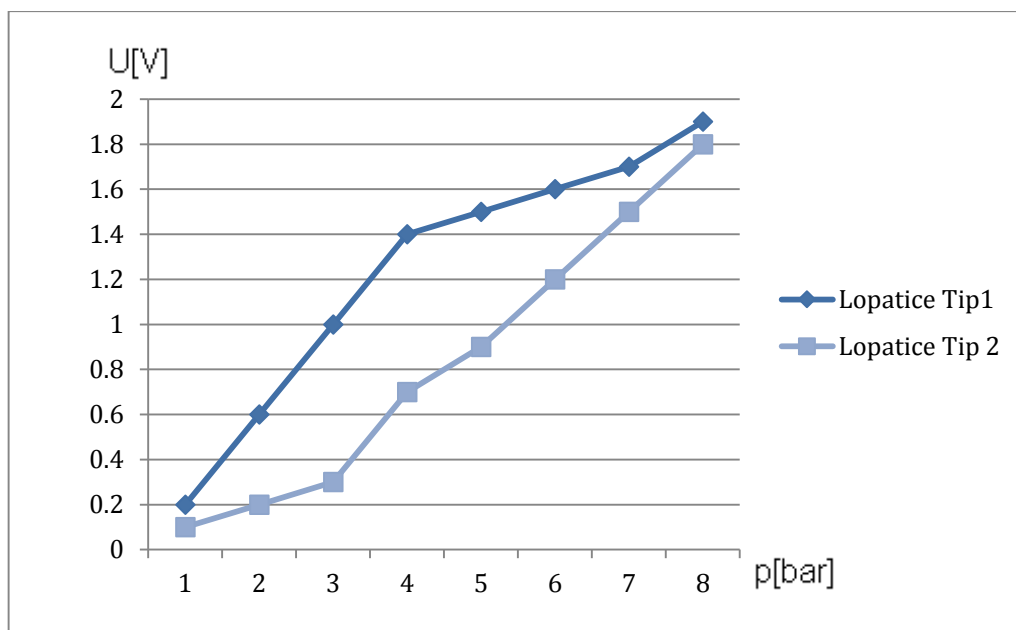
*Tabela 5: Mjerenje napona*

Mjerenja broja okretaja u minuti		
n(o/min)		
bar	Lopatice Tip 1	Lopatice Tip 2
1	48	30
2	60	42
3	72	66
4	108	72
5	120	78
6	144	96
7	156	108
8	216	126

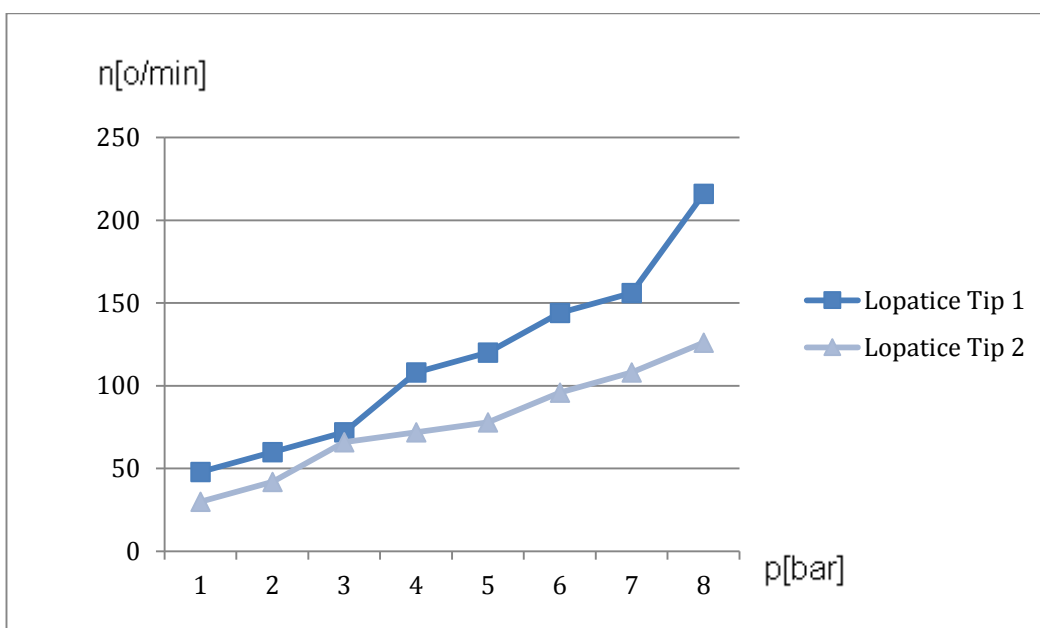
*Tabela 6: Mjerenje broja okretaja u minuti*

## 6. Analiza rezultata

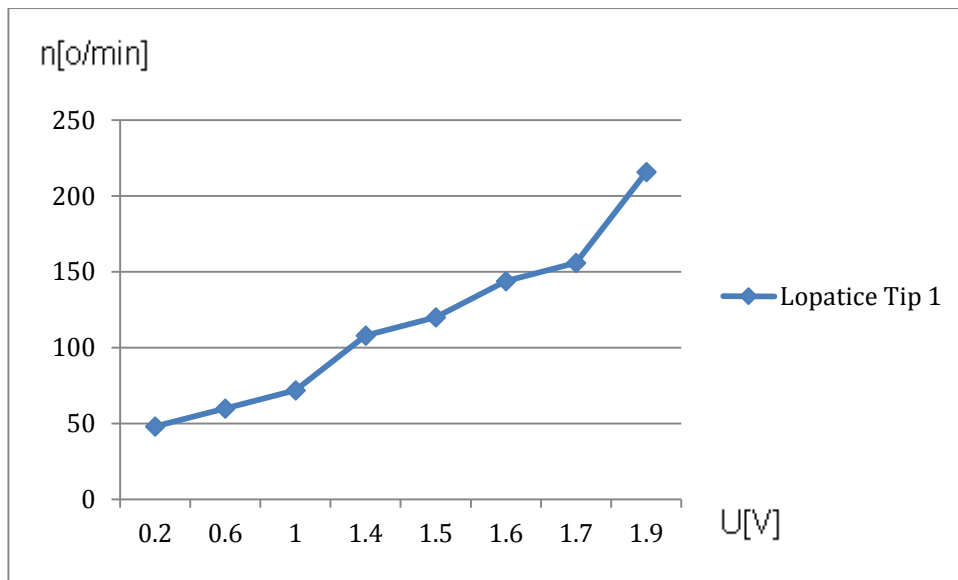
Kako bi se bolje i jasnije vidjela usporedba različitih tipova lopatica, izrađeni su dijagrami na temelju izmjerenih rezultata. Prvi dijagram pokazuje ovisnost dobivenog napona o jačini vjetra proporcionalnoj tlaku kompresora, drugi dijagram pokazuje ovisnost brzine okretaja lopatica u minuti o jačini vjetra proporcionalnoj tlaku kompresora, a treći i četvrti dijagram pokazuju ovisnost napona o brzini okretaja lopatica u minuti.



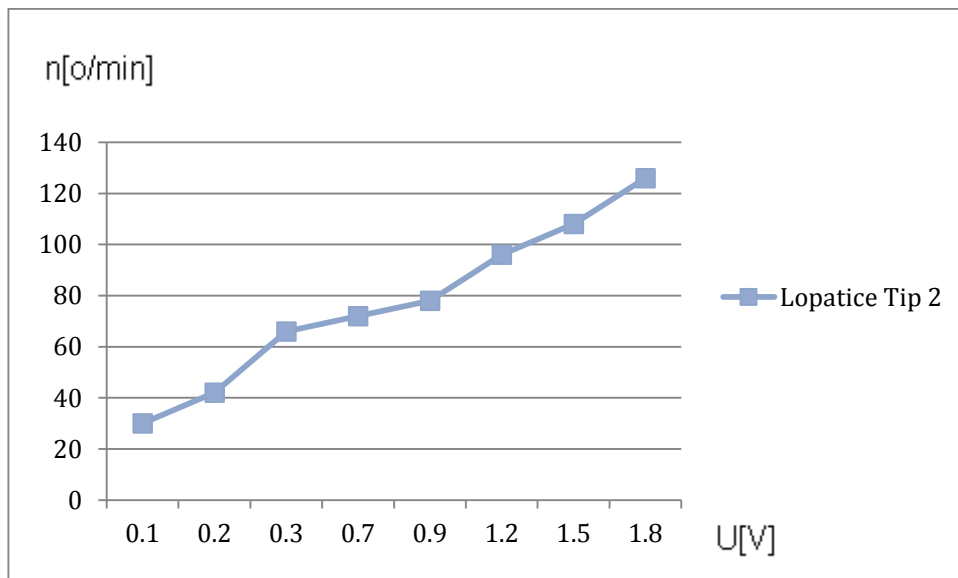
Slika 38: Dijagram ovisnosti napona o jačini vjetra proporcionalnoj tlaku kompresora



Slika 39: Dijagram ovisnosti brzine okretaja o jačini vjetra proporcionalnoj tlaku kompresora



Slika 40: Ovisnost napona o brzini vrtnje lopatica Tipa 1



Slika 41: Ovisnost napona o brzini vrtnje lopatica Tipa 2

Iz rezultata dobivenih mjerenjem vidljivo je da brzina vjetra utječe na brzinu okretanja lopatice vjetroturbine s vertikalnom osovinom, a isto tako utječe i na dobiveni napon. Veća brzina vjetra rezultira bržim okretanjem lopatica i većim naponom.

Oblik lopatica također utječe na efikasnost vjetroturbine s vertikalnom osovinom. Iz tablica mjerenja napona i broja okretaja je vidljivo da lopatice Tip 1 daju bolje rezultate.

Iz dijagrama ovisnosti napona o jačini vjetra proporcionalnoj tlaku kompresora vidljivo je da lopatice Tip 1 daje bolje rezultate pri manjim brzinama vjetra, dok su lopatice Tip 2 pogodnije za veće brzine vjetra.



## 7. Zaključak

Popularnost i upotreba vjetroturbina raste iz dana u dan, a velik dio tome pridonosi svijest ljudi za potrebom obnovljivih izvora energije. Razlozi tome su mnogi, cijene električne energije od strane distributera, želja za vlastitim autonomnim sustavom, ekološka osviještenost, ali i mnogi drugi.

Da bi se iskoristilo što više pozitivnih strana, a izbjegle one negativne potrebno je odabrati odgovarajući tip vjetroturbine. Da li će to biti vjetroturbina s vertikalnom osi vrtnje ili vjetroturbina s horizontalnom osi vrtnje ovisi o mnogo faktora poput mjesta montaže, estetike, količine buke izazvane radom, sigurnosti ili vremenskim uvjetima u kojima će raditi. Oba tipa imaju svoje prednosti i mane. Vjetroturbine s vertikalnom osi vrtnje predstavljaju veliki neiskorišteni potencijal u području vjetroenergetike zbog dominacije vjetroturbina s horizontalnom osi vrtnje. Velika prednost vertikalnih vjetroturbina je hvatanje vjetra iz svih smjerova, a također i otpornost na udare i nagle promjene smjerova vjetra. Međutim, one daju nešto manju snagu, cijena im je viša, a javlja se i problem pohrane energije zbog nepredvidljivosti jačine i količine vjetra te potrošnje. Vrlo je važno odabrati i odgovarajući tip lopatica s obzirom na vremenske uvjete pod kojima će vjetroturbina raditi jer su upravo one zadužene za hvatanje vjetra. Jedan od osnovnih parametara koji se koristi pri odabiru lopatica je njihov utjecaj na brzinu vrtnje vjetroturbine. Većim brojem lopatica postiže se sporija vrtnja rotora vjetroturbine, a time i manja snaga.

Razvojem malih vjetroelektrana, posebno za potrebe kućanstva dodatno bi se smanjila emisija stakleničkih plinova, opterećenje elektroenergetske mreže ali bi se postigla i neovisnost prema distributerima električne energije. Mali vjetrogeneratori se u principu postavljaju kao samostalne jedinice i oni su svojom cijenom vrlo pristupačni i konkurentni, uz to i jedni od najjeftinijih načina za proizvodnju vlastite električne energije, a povrat investicije često nije primaran razlog prilikom njihovog postavljanja već potpuna ili djelomična energetska neovisnost, ovisno o ciljevima i potrebama korisnika.

Iskorištenje energije vjetra trebalo bi biti budućnost jer energija vjetra svuda je oko nas samo je trebamo pravilno iskoristiti.

## 8. Literatura

- [1] B. Labudović : Obnovljivi izvori energije, Energetika marketing d.o.o., Zagreb 2002.
- [2] M. Špoljarić : Raspoloživost i rizik rada vjetroelektrana, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb 2001.
- [3] M. Lucil : Primjena mikro vjetroelektrana, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Rijeka 2015.
- [4] Tešić M.: „Značaj malih vjetroturbina u proizvodnji energije i svjetskih trendova“, Neum 2009.
- [5] V. Mijailović: Distribuirani sustavi energije, Principi rada i eksploatacijski aspekti, Akademska misao, Beograd 2011.
- [6] BBSolar, Vjetrogeneratori, S Interneta, <http://www.bbsolar.me/index.php/o-nama/ponuda/vjetrogeneratori>, 28. travnja 2016.
- [7] Centar Energije, Korištenje energije vjetra, S Interneta, <http://www.centar-energije.com/koristenje-energije-vjetra> , 02. svibnja 2016.
- [8] Mali vjetroagregati, S Interneta, <http://www.vjetroelektrane.com/vjetroelektrane-za-pocetnike/736-mali-vjetroagregati-uvod>, 06. svibnja 2016.
- [9] Kako radi vjetroagregat, S Interneta, <http://www.vjetroelektrane.com/vjetroelektrane-za-pocetnike/139-kako-radi-vjetroagregat>, 08. svibnja 2016.
- [10] Vjetroagregati, S Interneta, <http://www.eoling.net/ELEnergiya/Vjetroagregati/tabid/101/language/hr-HR/Default.aspx>, 16. svibnja 2016.
- [11] DHMZ, S Interneta, <http://www.meteo.hr/index.php>, 02. svibnja 2016.
- [12] Zelena energija za zdravu hranu, S Interneta, <http://www.g4g.com.hr/e-prirucnik/3-10.html>, 02. svibnja 2016.
- [13] Networx, S Interneta, <http://www.networx.com/article/where-can-i-mount-a-wind-turbine>, 02. svibnja 2016.
- [14] ReverseHomeSickness, S Interneta, <http://reversehomesickness.com/europe/wind-turbines-in-denmark/>, 06. svibnja 2016.
- [15] Infonews, S Interneta, <http://www.infonews.co.nz/news.cfm?id=91510>, 06. svibnja 2016.
- [16] flickr, S Interneta, <https://www.flickr.com/photos/7256807@N08/5374244213>, 08. svibnja 2016.

- [17] Science, S Interneta, <http://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/wind-power2.htm>, 08. svibnja 2016.
- [18] Ecosources, S Interneta, [http://www.ecosources.info/en/topics/Darrieus\\_vertical\\_axis\\_wind\\_turbine](http://www.ecosources.info/en/topics/Darrieus_vertical_axis_wind_turbine), 08. svibnja 2016.
- [19] Ecosources, S Interneta, [http://www.ecosources.info/en/topics/Darrieus\\_vertical\\_axis\\_wind\\_turbine](http://www.ecosources.info/en/topics/Darrieus_vertical_axis_wind_turbine), 08. svibnja 2016.
- [20] Archiexpo, S Interneta, <http://www.archiexpo.com/prod/quiet-revolution/product-62583-166020.html>, 08. svibnja 2016.
- [21] The Silver Bear Cafe, S Interneta, <http://www.silverbearcafe.com/private/05.09/turbines.html>, 17. svibnja 2016.
- [22] Wikipedia, S Interneta, [https://en.wikipedia.org/wiki/Savonius\\_wind\\_turbine](https://en.wikipedia.org/wiki/Savonius_wind_turbine), 17. svibnja 2016.
- [23] Freliff, S Interneta, <http://freliff.com/savonius-wind-turbine-plans/>, 17. svibnja 2016.
- [24] Osnovna škola Vjenceslava Novaka Zagreb, S Interneta, [http://os-vnovaka-zg.skole.hr/nastava/predmeti/meteorologija?news\\_id=451](http://os-vnovaka-zg.skole.hr/nastava/predmeti/meteorologija?news_id=451), 17. svibnja 2016.
- [25] Flettner Ventilator, S Interneta, <http://www.flettner.co.uk/>, 17. svibnja 2016.
- [26] Typmar, S Interneta, <http://cntimar.sell.everychina.com/p-101502352-48v-600w-small-vertical-axis-maglev-wind-turbine-for-home-use-cxf-600.html>, 17. svibnja 2016.

## 9. Popis slika

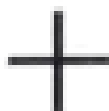
Slika 1. Karta osnovne brzine vjetra za Republiku Hrvatsku .....	5
Slika 2. Vjetroturbina s horizontalnom osi vrtnje .....	8
Slika 3. Američki tip vjetroturbine .....	9
Slika 4. Danski koncept vjetroturbine .....	10
Slika 5. Vjetroturbina s jednom lopaticom .....	10
Slika 6. Vjetroturbina s dvije lopatice .....	11
Slika 7. Darrieusov i Savoniusov model .....	12
Slika 8. Darrieusova vjetroturbina.....	13
Slika 9. Podvrste Darrieusove vjetroturbine.....	14
Slika 10. H-tip Darrieusove vjetroturbine .....	14
Slika 11. Vertikalna Darrieusova vjetroturbina sa spiralnim lopaticama.....	15
Slika 12. Horizontalna Darrieusova vjetroturbina sa spiralnim lopaticama.....	15
Slika 13. Savoniusov model vjetroturbine.....	16
Slika 14. Princip rada Savoniusove vjetroturbine .....	16
Slika 15. Savoniusov model vjetroturbine.....	17
Slika 16. Anemometar .....	17
Slika 17. Primjena Flettnerovog ventilatora .....	17
Slika 18. Darrieus - Savoniusova vjetroturbina.....	18
Slika 19. Drvena ploča za izradu postolja vjetroturbine.....	21
Slika 20. Noga za postolje .....	21
Slika 21. Postolje vjetroturbine .....	21
Slika 22. Drveni disk .....	22
Slika 23. Disk s označenim položajem magneta .....	22
Slika 24. Disk s označenim polovima magneta.....	23
Slika 25. Disk sa pričvršćenim magnetima .....	23
Slika 26. Motalica za namotaje.....	24
Slika 27. Postupak izrade namotaja.....	25
Slika 28. Gotovi namotaji.....	25
Slika 29. Postolje s označenim položajem namotaja i disk s označenim položajem magneta .....	26
Slika 30. Shema spajanja namotaja .....	26
Slika 31. Položaj i način spajanja namotaja .....	27
Slika 32. Postupak ispitivanja rada.....	27
Slika 33. Izrađen stator .....	28

Slika 34. Diskovi s nosačima.....	28
Slika 35. Lopatice Tip 1 i Lopatice Tip 2.....	29
Slika 36. Maketa s lopaticama Tip 1 .....	30
Slika 37. Maketa s lopaticama Tip 2 .....	30
Slika 38. Dijagram ovisnosti napona o jačini vjetra proporcionalnoj tlaku kompresora .....	32
Slika 39. Dijagram ovisnosti brzine okretaja o jačini vjetra proporcionalnoj tlaku kompresora .....	32
Slika 40. Ovisnost napona o brzini vrtnje lopatica Tipa 1.....	33
Slika 41. Ovisnost napona o brzini vrtnje lopatica Tipa 2.....	33

## 10. Popis Tabela

Tabela 1: Brzine vjetra prema Beaufortu .....	4
Tabela 2: Kriterij zoniranja određenog područja s obzirom na osnovnu brzinu vjetra .....	5
Tabela 3. Prednosti i nedostaci vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje .....	11
Tabela 4. Prednosti i nedostaci vjetroturbine v vertikalnom osovnom .....	18
Tabela 5: Mjerenje napona .....	31
Tabela 6: Mjerenje broja okretaja u minuti .....	31

Sveučilište  
Sjever



IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Paula Perošić pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog rada pod naslovom Rad vjetroturbina s vertikalnom osovinom te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
Paula Perošić

P. Perošić

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Paula Perošić neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog rada pod naslovom Rad vjetroturbina s vertikalnom osovinom čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
Paula Perošić

P. Perošić