

# Vjetroelektrana za punjenje mobilnih uređaja i LED rasvjetu

---

**Krobot, Dominik**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:534725>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-12**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

*Završni rad br. 508/EL/2022*

**Vjetroelektrana za punjenje mobilnih uređaja i LED  
rasvjetu**

**Dominik Krobot, 0891/336**

Varaždin, rujan 2022. godine





# Sveučilište Sjever

**Odjel za Elektrotehniku**

*Završni rad br. 508/EL/2022*

## **Vjetroelektrana za punjenje mobilnih uređaja i LED rasvjetu**

**Student**

Dominik Krobot, 0891/336

**Mentor**

mr.sc. Ivan Šumiga, viši predavač

Varaždin, rujan 2022. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

|                             |   |              |                                |
|-----------------------------|---|--------------|--------------------------------|
| ODJEL                       | Odjel za elektrotehniku                                     |              |                                |
| STUDIJ                      | preddiplomski stručni studij Elektrotehnika                 |              |                                |
| PRISTUPNIK                  | Dominik Krobot  | MATIČNI BROJ | 0891/336                       |
| DATUM                       | 27.09.2022  | KOLLOVIJ     | Uređaji energetske elektronike |
| NASLOV RADA                 | Vjetroelektrana za punjenje mobilnih uređaja i LED rasvjetu |              |                                |
| NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU | Wind farm for charging mobile devices and LED lighting      |              |                                |

|                      |                                      |        |               |
|----------------------|--------------------------------------|--------|---------------|
| MENTOR               | mr.sc. Ivan Šumiga                   | ZVANJE | viši predavač |
| ČLANOVI POVJERENSTVA | 1. Josip Srpak, viši predavač        |        |               |
|                      | 2. Doc.dr.sc. Dunja Srpak            |        |               |
|                      | 3. mr.sc. Ivan Šumiga, viši predavač |        |               |
|                      | 4. Miroslav Horvatić, viši predavač  |        |               |
|                      | 5.                                   |        |               |

## Zadatak završnog rada

BROJ 508/EL/2022

OPIS  
Vjetar kao obnovljivi izvor energije se koristi za pogon vjetroelektrana. Pri tome se kinetička energija vjetra u vjetroturbini pretvara u mehanički rad za pogon električnog generatora. Iako vjetroelektrane imaju niz nedostataka (estetsko zagađenje okoliša, pogon ovisan o vjetru, buka, stradavanje ptica, itd.), tijekom rada ne troše gorivo i ne zagađuju okoliš pa udio struje proizveden iz vjetroelektrana svake godine raste.

U radu je potrebno

- opisati prednosti i nedostatke pretvorbe energije vjetra u električnu energiju
- opisati i analizirati izvedbe vjetroturbine
- projektirati i izraditi vjetroturbinu s horizontalnom osi vrtnje iskoristivu za punjenje mobilnih uređaja i LED rasvjetu
- izmjeriti bitne parametre vjetroturbine pri različitim snagama vjetra
- analizirati dobivene rezultate.

ZADATAK URUČEN

28.09.2022



## **Predgovor**

Zahvaljujem se svom mentoru mr.sc. Ivanu Šumigi na cjelokupnom trudu i nesebičnom dijeljenju znanja i iskustva, stručnoj pomoći, smjernicama te prijedlozima vezanim za izradu završnog rada.

Hvala svim profesorima Sveučilišta Sjever na prenesenom znanju i vještinama tijekom studiranja.

Veliko hvala mojoj obitelji na neizmjenoj podršci, strpljenju, susretljivosti i razumijevanju bez kojih bi put do ovdje bio neostvariv, a ponajviše sam zahvalan svojoj curi, koja mi je bila najveća motivacija kroz cijelo obrazovanje.

## **Sažetak**

Ideja ovog završnog rada je izrada horizontalne vjetroturbine za punjenje mobilnih uređaja i LED rasvjetu. Za izradu samog postrojenja, koristila se *Diaphragm pump* kao generator, regulator napona 12/24V s LCD ekranom te akumulator kao baterija. Također, izrađene su i lopatice, kao prijenosnici snage vjetra na osovinu generatora te peraja koja omogućava da je postrojenje uvijek okrenuto u smjeru puhanja vjetra.

U teoretskom dijelu rada govori se o obnovljivim izvorima energije, o vjetru, vjetroturbinama i njihovoj svrsi te se iznosi detaljan opis dijelova istoimenih turbina. Navedene su vrste vjetroturbina kao i njihove prednosti i nedostaci. Na samom kraju rada, obrazložena je odluka izrade horizontalne vjetroturbine.

### **Ključne riječi:**

Diaphragm pumpa, generator, regulator napona 12/24V sa LCD ekranom, akumulator, horizontalna vjetroturbina, lopatice, peraja

## **Abstract**

The idea of this final work is the creation of a horizontal wind turbine for charging mobile devices and LED lighting. For the construction of the plant itself, a diaphragm pump was used as a generator, a 12/24V voltage regulator with an LCD screen and an accumulator as a battery. Also, vanes were made as transmitters of wind power to the generator shaft and fin, which enable the plant to always face the direction of the wind.

In the theoretical part of the work, renewable energy sources, wind, wind turbines and their purpose are discussed, and a detailed description of the parts of the same turbines is given. The types of wind turbines as well as their advantages and disadvantages are listed. At the very end of the work, it was explained why it was decided to make a horizontal wind turbine.

## **Keywords:**

Diaphragm pump, generator, voltage regulator 12/24V with LCD screen, accumulator, horizontal windturbine, blades, finaa



## **Popis korištenih kratica**

**LCD** – zaslon s tekućim kristalima

**CO<sub>2</sub>** - ugljični dioksid

**km/h**- kilometar po satu

**J** - džul

**m/s** – metar u sekundi

**km** - kilometar

**VE** - vjetroelektrana

**MW** – megavat

**m** - metar

**o/min** – okretaji u minuti

**V** - volt

**kW** – kilovat

**mm** - milimetar

**3D** - trodimenzijalno

**fi** - presjek

**M12** – metrički navoj

# Sadržaj

|   |    |
|---|----|
| <b>1.UVOD</b> .....   | 1  |
| <b>2.OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE</b> .....                   | 3  |
| <b>2.1Vrste obnovljivih izvora energije</b> .....           | 3  |
| 2.1.1.Energija vode .....                                   | 3  |
| 2.1.2.Biomasa .....   | 4  |
| 2.1.3.Energija Sunčeva zračenja .....                       | 4  |
| <b>2.2.Vjetar kao izvor energije</b> .....                  | 5  |
| 2.2.1.Prednosti i nedostaci energije vjetra.....            | 6  |
| <b>3.VJETROELEKTRANE</b> .....                              | 7  |
| <b>3.1.Dijelovi vjetroagregata</b> .....                    | 8  |
| 3.1.1.Lopatice .....  | 8  |
| 3.1.2.Rotor .....   | 8  |
| 3.1.3.Kočnica .....   | 8  |
| 3.1.4.Prijenosnik snage.....                                | 9  |
| 3.1.5.Generatori .....                                      | 9  |
| 3.1.6.Upravljački i nadzorni sustav.....                    | 9  |
| 3.1.7.Oprema za zakretanje.....                             | 9  |
| 3.1.8.Gondola .....   | 9  |
| 3.1.9.Stup .....  | 10 |
| <b>3.2.Podjela vjetroturbina</b> .....                      | 10 |
| 3.2.1.Vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje rotora.....  | 10 |
| 3.2.2.Vjetroturbine s vertikalnom osi vrtnje rotora .....   | 11 |
| <b>3.3.Mali vjetroagregati</b> .....                        | 12 |
| <b>4.PRAKTIČNI DIO</b> .....                                | 14 |
| 4.1.Planiranje .....  | 14 |
| 4.2. Materijali i alati .....                               | 14 |
| 4.3. Izrada vjetroagregata s horizontalnom osi vrtnje ..... | 15 |
| <b>5.ANALIZA PODATAKA</b> .....                             | 26 |
| <b>7.LITERATURA</b> .....                                   | 33 |
| <b>8.POPIS SLIKA</b> .....                                  | 35 |
| <b>9.POPIS TABLICA</b> .....                                | 36 |

# 1. UVOD

S razvojem i sve većom popularnošću obnovljivih izvora energije, sve se više pažnje posvećuje tzv. “privatnoj“ proizvodnji energije. Jedan od oblika energije koji se svakodnevno koristi je električna energija. Njena glavna prednost je što se energija može lako prenijeti i pretvoriti u drugi oblik, ali nedostatak predstavlja način dobivanja, odnosno termoelektrane čiji su resursi ograničeni te značajno pridonose zagađenju okoliša.

Iz tih razloga, čovječanstvo se okrenulo obnovljivim izvorima energije te danas postoje npr. solarne ćelije, vjetroelektrane, hidroelektrane, ... Takva postrojenja mogu proizvoditi dovoljnu količinu električne energije po ekološki prihvatljivim uvjetima. Uglavnom su takva postrojenja namijenjena za velike potrošače, ali sve se više ide prema proizvodnji uređaja pomoću kojih bi se proizvodila električna energija u svakom dvorištu. Vjetroelektrana se sastoji od jednog ili više vjetroagregata koji čine vjetroturbina i vjetrogenerator.

Energetski stroj koji se koristi za transformaciju energije vjetra u električnu energiju naziva se vjetroagregat. Ono po čemu se vjetroagregati razlikuju, osim po broju i položaju njenih lopatica, je i njihov konstrukcijski oblik. Vjetroturbine se po konstrukcijskom obliku dijele na vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje i vjetroturbine s vertikalnom osi vrtnje. Oba oblika imaju svoje specifičnosti, prednosti i nedostatke. U ovom radu dan je prijedlog konstrukcije horizontalnog vjetroagregata pomoću koje bi kućanstvo punilo svoje mobilne uređaje ili napajalo LED rasvjetu.

Za početak u ovom radu govori se o podrijetlu riječi „energija“ te o podjeli obnovljivih i neobnovljivih izvora energije, a zatim se opisuju vrste obnovljivih izvora energije, odnosno energija vode, energija biomase i energija Sunčeva zračenja te se navode njihove prednosti kao i nedostaci. Također, detaljnije se opisuje preostala vrsta obnovljivih izvora energije, odnosno vjetra te se govori o njegovom nastanku, karakteristikama, prednostima i nedostacima. U trećem poglavlju objašnjava se način funkcioniranja vjetroelektrana te se ukratko prikazuju njihove sposobnosti i mogućnosti kao što se i daje uvid u dijelove vjetroagregata. Zatim se govori o konstrukcijskim oblicima vjetroagregata, vjetroturbinama s horizontalnom osi vrtnje i vjetroturbinama s vertikalnom osi vrtnje. Pojašnjavaju se vrste, njihove prednosti i nedostaci kao i način funkcioniranja.

Također se spominju mali vjetroagregati, njihove karakteristike i namjena. Naposljetku, u četvrtom poglavlju govori se o samoj izradi vjetroagregata te njezinim parametrima kod različitih snaga vjetra.

## **2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE**

Riječ energija dopire od grčke riječi *energōs* što označava pokretljivost ili drugim riječima aktivnost. Odnosi se na sposobnost nekog sustava kako bi obavio pojedini rad te se pojavljuje u raznim oblicima. Ona ne može nestati kao što ne može ni nastati, već mijenja svoj oblik. Postoje razni oblici energije; kemijska, električna, toplinska, energija zračenja, mehanička i nuklearna energija [1].

Prirodni oblici energije prema kriteriju vremenskih prigoda dijele se na neobnovljive i obnovljive izvore energije. Neobnovljivi izvori energije uključuju; fosilna goriva (ugljen, nafta, zemni plin, uljni škriljevci), nuklearna goriva i geotermalnu energiju dok obnovljivi izvori energije odnose se na snagu vode (energija vodotoka, morskih struja i valova, plime i oseke), biomasu i bioplin, uključujući i drvo i otpatke, energiju Sunčeva zračenja te energiju vjetra [2].

Obnovljivi izvori energije dobivaju se iz prirode te ne iscrpljuju zalihe energetske sirovine. Njihova osnovna karakteristika je mogućnost obnavljanja pa se sve više primjenjuju zbog povoljnog utjecaja na okoliš. Teoretski, značaj obnovljivih izvora energije poprilično je veći od količine koja se iskorištava te se tu javlja glavni nedostatak, velika raspršenost koja iziskuje puno utroška energije kako bi se mogla iskoristiti. Također, cijena predstavlja problem kao i mala količina proizvedene energije, dok kod energije vode nije tako [3].

Osnovna razlika između obnovljivih i neobnovljivih izvora energija je nemogućnost vremenskog iscrpljivanja obnovljivih izvora, ali postoji mogućnost iscrpljivanja njihovih potencijala. Za obnovljive izvore energije, vjetar i zračenje Sunca, nema mogućnosti pospremanja i transporta u njihovim izvornim oblicima već ih je potrebno odjednom iskoristiti ili preoblikovati u neki drugačiji oblik energije dok se voda u vodotocima i akumulacijama kao i biomasa i bioplin može uskladištiti. Razvoj obnovljivih izvora energije doprinosi smanjenju zagađenja ugljičnim dioksidom u atmosferi i povećanju energetske održivosti sustava [2].

### **2.1 Vrste obnovljivih izvora energije**

Najčešće korišteni obnovljivi izvori energije: energija vode, biomasa, energija Sunčeva zračenja i energija vjetra.

#### **2.1.1. Energija vode**

Energija vode uključuje; morsku struju i valove, plimu i oseku te energiju vodotoka te se ona i najčešće koristi.

Snaga vode iskorištava se na sljedeći postupak: kinetička energija vode uz pomoć vodnih turbina pretvara se u mehaničku energiju, a zatim se ona preko generatora pretvara u električnu energiju. Prednosti hidroenergije su: ekološka prihvatljivost, visoka učinkovitost pretvorbe energije te izgradnjom postrojenja pruža se mogućnost kontroliranja toka rijeke te se time sprječavaju poplave. Nasuprot tome, iskorištavanje energije vode utječe na promjenu prirodnog toka rijeke što rezultira promjenom okolnog biosustava kao i smanjenjem kvalitete vode [4].

### **2.1.2. Biomasa**

Biomasa objedinjuje biorazgradive tvari biljnog i životinjskog podrijetla koje se dobiju od otpada kao i od ostataka poljoprivrednih i šumarskih proizvoda. Biomasi susrećemo u svim agregatnim stanjima; kruta, tekuća (biodizel i bioetanol) i plinovita (bioplin, plin iz rasplinjavanja biomase, deponijski plin) [4].

Najčešće varijante biomase su: šumska biomasa, biomasa iz drvne industrije, poljoprivredna biomasa, energetske nasadi, biomasa s farmi životinja, bioetanol, biodizel i komunalni otpad [5].

Biomasa je neiscrpan izvor energije iz razloga što se konstantno proizvodi, posljedica je životinjskih i biljnih aktivnosti. Ekološko je prihvatljivija u odnosu na fosilna goriva zbog kumulativne neutralnosti, odnosno emisija CO<sub>2</sub> svedena je na minimalnu razinu. Može se transportirati na veliku udaljenost kao i uskladištiti te koristiti prema potrebi.

Zbog vrlo niske cijene osnovnih sirovina, ekonomski je prihvatljiva. Usprkos mnogim prednostima, lošom izvedbom dolazi do prevelike nepotrebne proizvodnje biomase što nepovoljno utječe na okoliš pa je to glavni nedostatak energije iz biomase [6].

### **2.1.3. Energija Sunčeva zračenja**

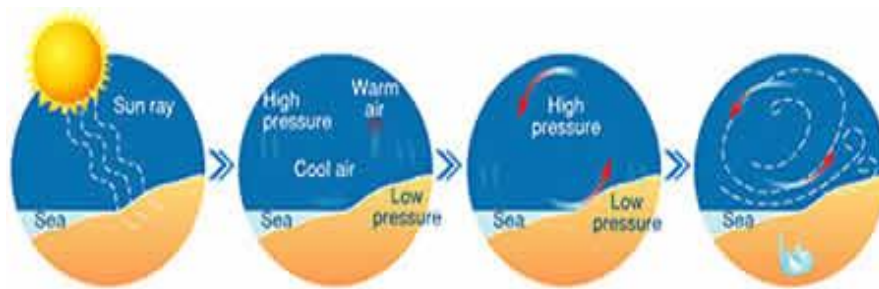
Energija Sunca neograničen je i glavni izvor ostalih oblika energije na Zemlji. U užem smislu odnosi se na količinu energije koja se prenosi zračenjem Sunca, izražava se u džulima [J] te se može iskorištavati aktivno ili pasivno. Aktivno iskorištavanje energije Sunca odnosi se na direktnu pretvorbu u toplinsku energiju koja se dobiva pomoću solarnih kolektora ili električnu energiju pomoću fotonaponskih ćelija dok se pasivna primjena odnosi isključivo na korištenje dozračene Sunčeve topline adekvatnom verzijom građevine (orijentacija zgrade, energetske koncipirani vanjski zidovi, višeslojna fasada i slično) [7].

Energija Sunca obnovljiv je i održiv izvor energije čijom se upotrebom ne zagađuje okoliš, prilikom njenog nastajanja i korištenja ne dolazi do stvaranja stakleničkih plinova.

Također, korištenjem takvog oblika energije smanjuje se potreba upotrebe fosilnih goriva što doprinosi očuvanju prirodnih resursa. Sunčeve svjetlosti ima praktički beskonačno mnogo te je dostupna svima. Ono što čini nedostatak je vrlo nizak nivo efikasnosti kod transformiranja sunčeve energije u električnu. Taj postotak kreće se između 20 i 25%. Također, uočava se i njena nekonstantnost, odnosno kroz noć je nema dok kroz dan varira, ovisno o količini sunčeve svjetlosti. Početne investicije su visoke, svi stanovnici ne mogu si priuštiti solarne panele za korištenje Sunčeve energije. Sunčevu energiju apsorbiraju ploče koje s vremenom počinju slabiti i samim time smanjuje im se korisnost te ih je potrebno mijenjati što dovodi do još jednog problema, proizvodnja samih ploča doprinosi emitiranju velikih količina štetnih plinova i opasnih otpada [8].

## 2.2. Vjetar kao izvor energije

Vjetar se najjednostavnije opisuje kao protok zračnih masa zbog razlika u temperaturi i tlaku. Protok zraka uzrokuje trenje i gubitak kinetičke energije u dodiru s tvrdim površinama, što rezultira razlikama u brzinama u prostoru i vremenu. Kada se Zemljina površina zagrijava neravnomjerno, zračna masa se zagrijava. Topli zrak uzdiže se oko 10 kilometara u ekvatorijalnom pojasu i usmjerava se prema polovima i rotira Zemljinom rotacijom ili Coriolisovom silom. Hladan zrak ispunjava novonastale praznine, stvarajući stalan vjetar. Lokalni vjetrovi pojavljuju se zbog globalne podjele tlaka i putujućeg cirkulacijskog sustava. To uvelike ovisi o topografiji i zemljopisnim značajkama. Cijeli proces nastajanja prikazan je slikom 2.1.



Slika 2.1. Prikaz nastajanja vjetra [17]

Karakteristike kojima se najčešće opisuje vjetar su smjer i jačina. Vjetrovica se koristi kako bi se odredio smjer vjetra koji se označava stranom svijeta sa koje dolazi.

Pomoću Beaufortove ljestvice ili anemometrom određuje se jačina vjetra brojevima od 0 do 12. 0 je oznaka za brzinu vjetra od 0 do 14 km/h, dok najviša oznaka 12 se upotrebljava za orkanski vjetar jači od 154, 8 km/h [9].

Za iskorištavanje energije vjetra najvažniji je brži i češći vjetar. Korištenje energije vjetra najisplativije je u određenim dijelovima planeta s takozvanim stalnim vjetrovima. Također, položaji oceana i otvorenog mora su zadovoljavajući zbog stalnih vjetrova. Udari vjetra s velikim oscilacijama smjera i iznosa vjetra opasni su za postrojenja s vjetrenim turbinama zato je veoma važan prikladan odabir mjesta za njihovo građenje.

### **2.2.1. Prednosti i nedostaci energije vjetra**

Vjetar je jedan od obnovljivih izvora energije koji se ne može iscrpiti. Njegova energija ne stvara nikakav otpad te time ne dovodi do uništavanja ekosustava kao što ni ne pogoduje globalnom zatopljenju. Vjetar je autohtona energija, može se naći bilo gdje u svijetu te nije potreban njegov uvoz. Vjetroelektrane imaju izuzetno mali utjecaj na tlo kao i na njegovu eroziju iz razloga što one ne posjeduju onečišćene otpatke te zauzimaju manje prostora s obzirom na druga energetska postrojenja. Isto tako, vjetar ne mijenja sastav vode na tom području također zbog nepostojanja zagađujućeg otpada, a to je osnovni element zaštite lokalnih vodenih rezervi te povezanih ekosustava.

Kada vjetroagregat prestane raditi, rastavlja se bez nekih značajnijih utjecaja na okoliš zbog male površine koju zauzima. Energija vjetra nema negativan utjecaj na lokalno gospodarstvo, kompatibilna je s drugim djelatnostima što omogućava istovremeno razvijanje tradicionalne djelatnosti tog područja i povećanje aktivnosti zahvaljujući energiji vjetra. Također, prednost iskorištavanja energije vjetra je velika učinkovitost vjetroelektrana te nema troškova za gorivo.

Unatoč mnogim prednostima, energija vjetra ima i svoje nedostatke. Naime, vjetra nema uvijek tako da je za takve trenutke potrebna neka druga vrsta energije. Njegova nepredvidivost dovodi do poteškoća u planiranju. Zatim, energija vjetra ne može se skladištiti već ju je potrebno odmah iskoristiti kada se proizvede. Kako bi vjetroagregat radio ispravno, naleti vjetra trebali bi biti između 10 i 40 km/h. Kod nižih brzina vjetra, energija nije profitabilna, dok veće brzine predstavljaju rizik za strukturu. Kako je gustoća energije vjetra niska, potrebna je veća količina vjetroagregata kako bi bila profitabilna. Također, vjetroelektrana utječe na estetski izgled krajolika, dok lopatice vjetroturbine kada su u radu predstavljaju opasnost za faunu ptica [10].



### 3. VJETROELEKTRANE

Vjetroelektrana je energetska postrojenje koje kinetičku energiju vjetra transformira u električnu upotrebom jednog ili više vjetroagregata. Danas, u moderno doba, izgradnja vjetroelektrana temelji se na brzim vjetroagregata s horizontalnim osi. Obuhvaća rotor s lopaticama, odnosno krilima i gondole, tj. kućišta u kojem se nalazi generator i ostala oprema, povezana s vrhom potpornog stupa rotirajućim ležajevima. Uz pomoć elektromotora i vjetra, dolazi do rotacije gondole i rotora. Kada brzina vjetra prijeđe dozvoljenu vrijednost, stavlja se u pokret kočioni sustav i rad turbine se usporava i na kraju zaustavlja. Sustav kočenja podrazumijeva mehaničke kočnice na osovini te zračne kočnice na krilima. Kočenje se ostvaruje okretanjem krila te okretanjem rotora od vjetra. U samostalnim vjetroelektranama, vrlo često su u primjeni istosmjerni generatori, dok se izmjenični generatori upotrebljavaju u vjetroelektranama koje su priključene u elektroenergetski sustav.

Prosječna brzina vjetra na lokaciji vjetroelektrane koja bi se mogla koristiti trebala bi biti iznad 4,5 m/s i održavati što stabilniji protok vjetra, bez turbulencija i minimalnu mogućnost iznenadnih olujnih udara. Na kopnu se vjetroelektrane u većini slučajeva postavljaju na vrh brda ili obronka, gdje je moguće na najbolji mogući način iskoristi ubrzanje vjetra kroz padinu. Obalni povoljni položaji su na obali, do 3 km od mora ili na moru, ali do 10 km od obale te su veoma pogodni zbog razlika u vjetrovima koji nastaju prilikom zagrijavanja kopna i oceana. Puntovi na moru koji su udaljeniji više od 10 km od kopna povoljniji su upravo zbog prihvatljivijih vjetrova, no nedostaci su veći troškovi izgradnje i održavanja.

U Republici Hrvatskoj prve vjetroelektrane bile su VE Ravna 1 (5,95 MW) izgrađena na Pagu 2004. godine i VE Trtar-Krtolin (11,2 MW) kod Šibenika 2006. godine. U 2012. godini bilo je u pogonu 8 vjetroelektrana i 79 vjetroagregata instalirane ukupne snage 130 MW. Karakteristična snaga sadašnjih vjetroelektrana je do 3 MW po turbini, s promjerom rotora do 85 m i visinom stupa do 50 m. Jedno od svojstava vjetra je promjenljivost njegove brzine, stoga vjetroelektrane se dopunjuju iz drugih elektrana ili se koristi akumulirana energija [11].

### **3.1. Dijelovi vjetroagregata**

Vjetroagregati se sastoje od sljedećih dijelova: lopatica, rotora, kočnice, prijenosnika snage, generatora, upravljačkog i nadzornog sustava, opreme za zakretanje, gondole i stupa.

#### **3.1.1. Lopatice**

Vjetroagregati uglavnom imaju sustav s dvije ili tri lopatice. Ovisno o dizajnu, postoje lopatice s rotirajućim vrhovima, kao što su aerodinamičke kočnice, ili lopatice s krilcima. Obje verzije su pomoćni kočioni sustavi, tj. ako mehanička kočnica glavnog kočionog sustava otkáže, ove verzije automatski generiraju kočni moment okretanjem vrhova lopatica ili pomičnih ravnina, čime se ograničava brzina.

Za proizvodnju lopatica vjetroagregata koriste se razni materijali. Korištenje karbonskih vlakana ima dodatnu prednost smanjenja debljine stjenke u usporedbi sa staklenim vlaknima. Lopatice izrađene od karbonskih vlakana u konačnici će dodatno povećati duljinu lopatice, čime se povećava specifična snaga vjetroagregata

Manje lopatice mogu biti izrađene od lakih metala kao što je aluminij. Drvo i jedreno platno prvobitno su korišteni za vjetroagregate zbog niske cijene, pristupačnosti i jednostavnosti, no ti su materijali zahtijevali češće održavanje tijekom svog vijeka trajanja [12].

#### **3.1.2. Rotor**

Komponente rotora vjetroagregata su glava i lopatice. Ovisno o podešenoj snazi, rotor se može dizajnirati za podešavanje kuta okretanjem lopatica tijekom rada kako bi se profil podesio na najbolji položaj

Stoga se raspodjela snage vjetroagregata izvodi pomoću aerodinamičkih efekata. Budući da su vjetroagregati dizajnirani za određene raspone brzina, lopatica ima prethodno postavljeni kut za odgovarajući raspon brzine kako bi se poboljšala učinkovitost [13].

#### **3.1.3. Kočnica**

Značajna dinamička opterećenja nastaju kada je generator isključen iz mreže, tj. kada brzina vjetra prelazi maksimalnu vrijednost (isključena vrijednost, npr. 25 m/s). Zbog toga je potreban kočioni sustav kako bi se olakšao prijenos snage ili zaustavio rotor. Disk kočnice su najčešća inačica kočionog sustava i nalaze se na sporookretnoj osovini prije prijenosnika ili na brzookretnoj osovini generatora [13].

### **3.1.4. Prijenosnik snage**

Mjenjači vjetroagregata povezuju sporookretnu osovinu s brzookretnom, povećavajući brzinu rotacije s oko 30-60 o/min na oko 1200-1500 o/min, ili za veći dio generatora, na ono što je potrebno za proizvodnju električne energije. Prijenosnik je prvenstveno multiplikator, najčešće zrakom hlađen i podmazan sintetičkim uljem. To je vrlo skup i ujedno težak dio vjetroagregata, pa se nastoji istražiti mogućnost direktnog pogona generatora bez prijenosnika [13].

### **3.1.5. Generatori**

Turbinski dio vjetroagregata s rotorima, kočnicama i prijenosom snage označava značajan dio cjelokupnog sustava čija je primarna funkcija pogon generatora. Da bi sustav vjetroagregata radio ispravno i sigurno, generator mora imati visoku učinkovitost opterećenja i brzinu, izdržljivost rotora pri povećanim brzinama u slučaju kvara svih zaštitnih sustava, trajnost konstrukcije pod visokim dinamičkim opterećenjima kod kratkih spojeva kao i kod uključivanja i isključivanja generatora. Kriteriji prema kojima se dijele generatori su prema načinu rada, prema vrsti struje, prema načinu okretanja, prema veličini, odnosno snazi [13].

### **3.1.6. Upravljački i nadzorni sustav**

Glavni zadatak mikroprocesorskog upravljačkog sustava je praćenje cjelokupnog upravljanja i rada sustava vjetroagregata. Takav sustav možda nije u potpunosti na vjetroagregata već djelomično na drugom mjestu, što zahtijeva odgovarajuću telekomunikacijsku opremu [13].

### **3.1.7. Oprema za zakretanje**

Sustavi turbinskih generatora zaokreću se rotirajućom opremom. Postavljen je ispod kućišta vjetroagregata, na samom vrhu stupa. Rotaciju izvodi motor s ugrađenom kočnicom, koja sprječava okretanje kućišta uslijed naleta vjetra. Rotacija kućišta određuje da sustav ne radi kada je slabiji vjetar. Prosječno, zakretanje kućišta događa se jednom u deset minuta [13].

### **3.1.8. Gondola**

Gondola sadržava niz složenijih sustava, uključujući disk kočnice, osovine, ležajeve, pogone za vlastito zakretanja, uljne pumpe, zakretanje rotorskih lopatica, hladnjake, sustav regulacije sustavi zaštite i slično [12].

### **3.1.9. Stup**

Stup može biti cjevasti, konusni, rešetkasti, teleskopski, učvršćeni ili povezani. U današnje vrijeme, uglavnom se koristi cjevasta konstrukcija, upravo zbog veće čvrstoće i otpornosti na vibraciju. Rešetkasta konstrukcija veoma je jednostavna, a njena primarna prednost je mogućnost rastavljanja na manje dijelove što omogućava transport i montažu [12].

## **3.2. Podjela vjetroturbina**

Vjetroturbine razlikuju se s obzirom na položaj osi vrtnje pa iz tog razloga postoje vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje rotora i vjetroturbine s vertikalnom osi vrtnje rotora.

### **3.2.1. Vjetroturbine s horizontalnom osi vrtnje rotora**

Rotor ovakvih turbina postavlja se horizontalno na samom vrhu stupa. Stup vjetroagregata visok je od 1,5 do 2 promjera lopatica te zbog toga turbina može koristiti vjetrove veće brzine i na višim visinama. Također, važno je da su lopatice usmjerene u vjetar. Generator se uglavnom stavlja na gornji dio stupa u trup. Multiplikator, uređaj pomoću kojeg se povećava brzina vrtnje u slučaju da je brzina vrtnje lopatica nedovoljna, ukoliko je potreban, postavlja se zajedno s generatorom [14].

Ovakav tip vjetroagregata karakterizira mogućnost zaokretanja trupa čime se omogućava hvatanje vjetra iz različitih smjerova. Manji vjetroagregati pomoću jednostavnih krilca usmjeravaju se u smjeru vjetra, a većima to omogućava servo motor koji je povezan sa senzorom [14].

Razlikuju se dvije izvedbe vjetroturbina s horizontalnom osi vrtnje rotora. Prva izvedba odnosi se na vjetroturbinu gdje se stup nalazi iza lopatica, dok se kod druge stup nalazi ispred njih. Prva izvedba pogodnija je jer se trup automatski prilagođava smjeru puhanja vjetra pa iz tog razloga nije potreban mehanizam za zakretanje te je ujedno ovakva konstrukcija lakša. Isto tako, takva izvedba podržava snažnije vjetrove, a to omogućava mogućnost većeg savijanja lopatica bez dodirivanja stupa. Ova izvedba ima i nedostatke, a osnovni je to što lopatice prolaze kroz oscilaciju tornja što dovodi do dodatnog opterećenja. Druga izvedba primjenjuje se češće. Njen benefit je što je utjecaj turbulencije oko stupa malen što omogućava lagani pad snage prilikom svakog prolaska lopatice ispred stupa. Nedostatak ovakve izvedbe je rotor turbine koji mora biti udaljen od stupa čime se povećavaju troškovi izvedbe kao što i je za ovu izvedbu obavezan uređaj za prilagođavanje smjera vjetra [14].

Danski koncept je uobičajeni koncept vjetroturbine s tri lopatice. Neparni broj lopatica smatra se efikasnijim rješenjem zbog izbalansiranosti konstrukcije. Vjetroturbina s dvije lopatice zahtijeva veću brzinu rotacije za istu količinu energije kao što je i kod vjetroturbine s tri lopatice, a povećanjem brzine rotacije povećava se i buka. Također, kod ovakve izvedbe potrebno je kompleksnije učvršćivanje lopatica za trup kako bi im se dopustio malen kut zaokretanja u vertikalnoj osi te da se time izbjegnu veća naprezanja prilikom prolaska lopatica ispred stupa. Vjetroturbina s jednom lopaticom predstavljaju još veću uštedu zbog reduciranog broja lopatica, ali stvaraju veću buku te zahtijevaju protu uteg na suprotnoj strani lopatice. „Američka“ vjetroturbina, odnosno turbina s više lopatica upotrebljava se na farmama za pokretanje pumpi, a karakterizira ju mala brzina vrtnje kao i mala ukupna učinkovitost dok je njena izvedba jednostavna [2].

### **3.2.2. Vjetroturbine s vertikalnom osi vrtnje rotora**

Kod vjetroturbina s okomitom osi rotacije, položaj osovine je okomit i tako se generator postavlja u podnožje, što dovodi do manjeg opterećenja tornja. U usporedbi s horizontalnom vjetroturbinom, takva vjetroturbina ne mora biti usmjerena na vjetar [14].

Darrieusova vjetroturbina je osnovna izvedba ovakve vjetroturbine. Lopatice aerodinamičkog profila raspoređene su oko rotirajuće osovine. Takva vjetroturbina ne ovisi o smjeru vjetra te je brzina rotacije lopatica općenito veća od brzine vjetra. Darrieusova turbina radi na sljedeći način. Pretpostavka je da vjetar koji udara u lopatice puše ravno. Lopatice se okreću mnogo brže od vjetra. S tako visokim omjerom lopatica "siječe" vjetar s malim napadnim kutom. Rezultirajuća uzgonska sila pokreće rotor, dok je otporna sila uvijek u suprotnom smjeru. Lopatice se kreću u smjeru vjetra pa uzgonska sila pada na nulu s lijeve strane i  $180^\circ$  s desne strane te je moment u tom položaju negativan. Kada je lopatica pod kutom od  $90^\circ$  naprijed i  $270^\circ$  prema nazad, komponenta uzgona veća je od komponente otpora, čime se stvara pozitivan zakretni moment. Ukupni moment biti će pozitivan pa će se rotor okretati u ispravnom smjeru. Ovoj izvedbi vjetroturbina potrebna je dodatna pomoć prilikom pokretanja iz razloga što je potrebno dostići odgovarajuću brzinu prije samo početka rada. Pri malim brzinama, Darrieusovu turbinu karakterizira mali moment, što rezultira lakim zaustavljanjem zbog trenja u sustavu.

H-tip vjetroturbina je vjetroturbina gdje su lopatice postavljene usporedno s osi rotacije.

U usporedbi s Darrieus turbinom, ovo je jednostavnija verzija, ali problem predstavlja masa koja je lopaticama pomaknuta s obzirom na centralnu liniju nosećeg stupa te iz tog razloga lopatice bi trebale biti napravljene od čvršćeg materijala.

Cikloturbine su slične kao i H-tip, samo što lopatice kod cikloturbina imaju sposobnost rotacije oko svoje osi što omogućava stavljanje lopatica u položaj u kojem je uvijek određeni kut postavljen prema vjetru. Primarna karakteristika ovakve vrste turbine od tri ili četiri lopatice jest poprilično stalan moment. Zahvaljujući rotacijskom sustavu dobiva se gotovo najveći mogući okretni moment, što pomaže povećanju učinkovitosti ove vjetroturbine, odnosno dobivanju više energije. Pozitivna značajka je mogućnost samostalnog pokretanja okretanjem lopatica u adekvatan položaj jer se time dobiva velika sila uzgona koja je potrebna za pokretanje sustava. Unatoč tome, sustav rotacije je složen te zahtijeva upotrebu senzora za utvrđivanje smjera vjetra.

Izvedba sa spiralnim lopaticama odnosi se na vjetroturbine na kojima lopatice Darrieusove turbine oblikuju spiralu, na primjer 3 lopatice koje su okrenute za  $60^\circ$ . Zbog spiralnog oblika lopatice vjetar ima mogućnost dobrog ulaznog kuta na lopaticu sa sviju strana turbina bez obzira na njihov početni položaj. Time je okretni moment ujednačen te nema oscilacija [2].

### **3.3. Mali vjetroatregati**

Mali vjetroatregati jedan su od najjeftinijih načina za proizvodnju vlastite električne energije. Njihova osnovna karakteristika je snaga nekoliko desetaka kW. Manji vjetroatregati u novije vrijeme mogu se pronaći u većim tehnološkim proizvodnim lancima. Pone se akumulatorima od 12 ili 24V. U većini slučajeva, njihova snaga se kreće oko 50 kW na više. Ove vrste vjetroatregata proizvode najbolju energiju u jesen, zimu i proljeće, a nešto manje ljeti. Tu se ljudi često odlučuju za kupnju solarnih modula koji najbolje rade ljeti. Kada su u pitanju veliki vjetroatregati one koriste specifične elektromotorne pogone za upravljanje vjetrom. Kod manjih vjetroatregata je to drugačije. Koriste se permanentni magneti postavljeni na rotoru ili statoru te se pomoću repne peraje usmjerava prema vjetru [15].

Postoji nekoliko osnovnih podjela sustava manjih vjetroatregata, a neke od njih su prema načinu rada, prema sustavima u kojem rade manji vjetroatregati te prema namjeni. Način rada odnosi se na samostalan rad ili na spregu s nekim drugim izvorima energije dok se sustavi u kojem rade manji vjetroatregati odnose na samostalnu mrežu, spregu s ostalim konverterima energije (hibridni sustavi) te na priključak javne mreže.

Manji vjetroagregati namijenjene su za proizvodnju električne energije za osnovne potrebe, iskorištavanje vode, opskrbu električnom energijom navigacijskih, telekomunikacijskih i signalnih uređaja te za na primjer, desalinizaciju morske vode, katodnu zaštitu, pravljenje leda i slično [16].

## 4. PRAKTIČNI DIO

Praktični dio ovog završnog rada sastoji se od izrade vjetroelektrane s horizontalnom osi vrtnje za punjenje mobilnih uređaja i LED rasvjetu te mjerenje parametara pri različitim jačinama vjetra.

U ovom poglavlju opisat će se postupak izrade navedenog vjetroagregata, od planiranja, nabave potrebnog materijala, detaljne analize dijelova vjetroagregata, cjelokupnog procesa izrade do ispitivanja i analize dobivenih rezultata.

### 4.1. Planiranje

Prije same izrade, potrebno je isplanirati cijeli tijek rada na vjetroagregatu. Na početku planiranja bilo je nekoliko ideja, no odabrana je izrada horizontalnog vjetroagregata s lopaticama izrađenih od plastične vodovodne cijevi.

### 4.2. Materijali i alati

Prilikom izrade korišteni su sljedeći alati:

- stupna bušilica
- akumulatorska bušilica
- kutna brusilica
- kombinirana klješta
- pila za metal
- turpija za željezo
- škripac
- ključ
- čekić
- lemilica
- multimetar
- kompresor
- metar
- blankirke
- 3D printer
- gedora
- odvijač



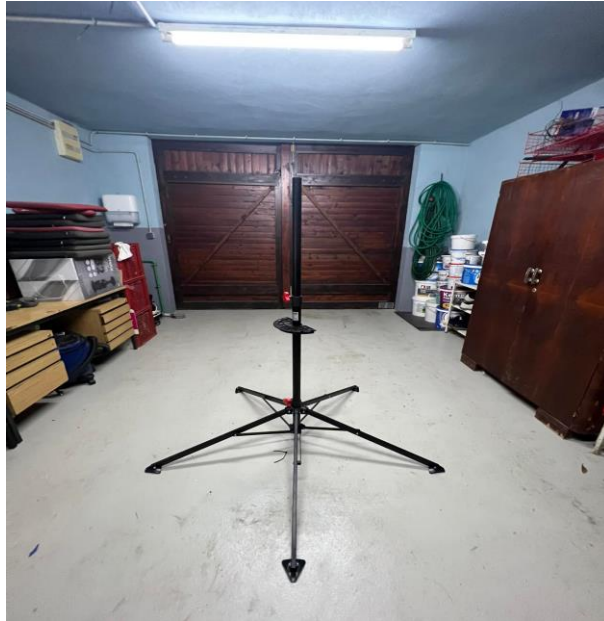
Prilikom izrade korišteni su sljedeći materijali:

- pocinčana željezna navojna šipka
- kuglični ležaj
- lemna nit
- mast za lemljenje
- brusni papir
- razne vrste vijka
- tíbon
- matice
- podložne pločice
- žice
- plastična cijev
- alumiñijska četvrtasta cijev
- termo bužir
- stalak za bicikl (materijal željezo)
- zakovice
- metalne spojnice

### **4.3. Izrada vjetroagregata s horizontalnom osi vrtnje**

Izrada samog vjetroagregata zahtjevan je i kompleksan zadatak, koji treba što više pojednostaviti te iz pristupačnih dijelova izraditi.

Postolje vjetroagregata mora biti vrlo lagano zbog prenošenja s jedne lokacije na drugu, a istovremeno mora biti čvrsto zbog vremenskih neprilika, točnije udara vjetra koji mogu dovesti do uništenja cijelog postrojenja. Iz tog razloga, postolje nije izrađeno kod kuće, već je pribavljen stalak za bicikl (slika 4.1.). Dimenzije stalka; visina 1850 mm, a promjer 5 noga iznosi 1470 mm.



*Slika 4.1. Postolje vjetroagregata*

Nakon što je pronađeno postolje, izrađen je držač generatora. Kako nisu pronađeni odgovarajući dijelovi, postolje je preoblikovano pomoću čekića i gedore veličine 24mm kojom je proširen glavni stup postolja (slika 4.2.).



*Slika 4.2. Izrada zadebljanja nosećeg stupa vjetroagregata*

U proširenje je stavljena navojna šipka M12 dužine 1000 mm na čiji se kraj stavila matica i ležaj koji će pomoći oko okretanja vjetroagregata prema smjeru puhanja vjetra (slika 4.3).



*Slika 4.3. Sastavljanje mehanizma za okretanje postrojenja*

Završetkom mehanizma za okretanje postrojenja izrađena je veza između stalka i generatora (slika 4.4.). Za to je korištena četvrtasta cijev dimenzije 20 mm x 20 mm koja je podijeljena u omjeru 1:3. Na manjem dijelu izbušena je rupa stupnom bušilicom fi 12 mm kroz koju je provučena navojna šipka iz postolja.



*Slika 4.4. Spajanje četvrtaste cijevi sa mehanizmom za okretanje postrojenja*

Generator je realiziran pomoću diaphragmičke pumpe pričvršćene na lim veličine 95 mm x 120 mm (slika 4.5.), a sve zajedno je učvršćeno na četvrtastu cijev.



*Slika 4.5. Spajanje generatora sa metalnom pločicom*

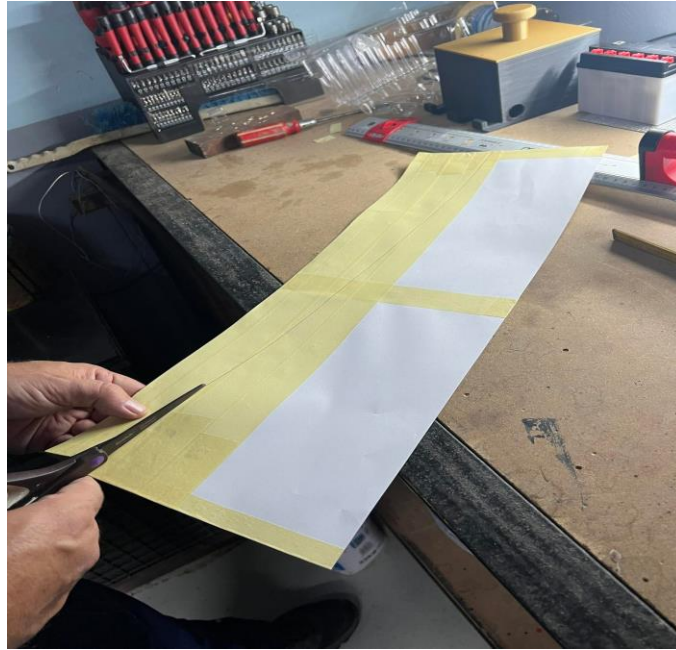
Za vrijeme izrade, na printeru za 3D modeliranje završen je zadatak izrada lopatica. U prvom pokušaju korištene su lopatice u obliku avionske turbine s ciljem dobivanja željenih parametara generatora (slika 4.6.).

Ispostavilo se da takve lopatice nisu u mogućnosti prenijeti snagu vjetra na generator, koji bi isporučio željeni napon, zbog njihove veličine. Zbog tog nedostatka, tražena su neka druga rješenja izrade lopatica.



*Slika 4.6. Montiranje prve verzije lopatica na osovinu generatora*

Sljedeća ideja došla je od makete gdje su lopatice izrađene od vodovodnih plastičnih cijevi. Lopatice izrađene na takav način pokazale su se kao vrlo dobro rješenje. Za izradu lopatica prvo je izrađen nacrt na dva A4 papira. Papiri su se spajali sa samoljepljivom trakom te su nacrtane lopatice određenih dimenzija (slika4.7.). Lopatice su dimenzija; duljina 600 mm, širina na vrhu 30 mm dok je na donjoj strani koja se spaja na generator 90 mm.



*Slika 4.7. Izrada maketa za lopatice*

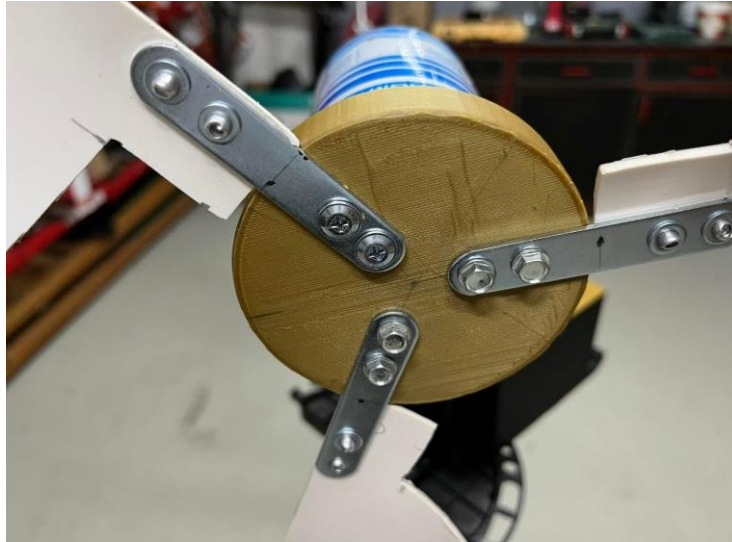
Nacrt s papira prenesen je na cijev tako što je iscrtan olovkom, a zatim izrezan. Cijevi su rezane kutnom brusilicom i reznom pločom za željezo (slika 4.8.). To je bio ujedno i najteži zadatak jer su se prva dva pokušaja rezanja morala baciti zbog nepravilnosti. Izrađene su tri lopatice.



*Slika 4.8. Izgled jedne lopatice*

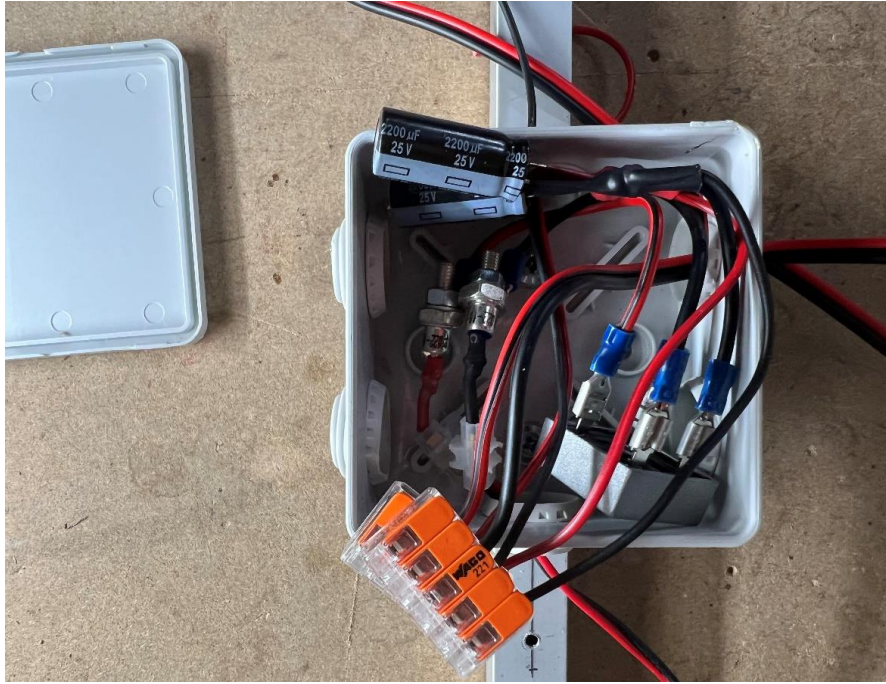


Izrađene lopatice spajale su se na osovinu generatora. Kako generator nije imao prihvat, trebalo ga je izraditi. Tokar je na CNC mašini izradio malu “puškicu“ na koju se 3D printerom za modeliranje isprintao produžetak i prihvat za montažu lopatica. One su metalnim spojnicama pričvršćene na isprintani produžetak i montirane na osovinu generatora (slika 4.9.).



*Slika 4.9. Spajanje lopatica s osovinom generatora*

Kod generatora su se stavile dvije diode 10A – 50V zbog sprječavanja povrata struje sa akumulatora u generator, te dva kondenzatora reda veličine 2200 mikrofarada. (slika 4.10.). Komponente su stavljene u četvrtastu kutiju dimenzija 1000mm x 1000mm te kao i generator, spojene s limom veličine 95 mm x 120 mm na četvrtastu cijev.



*Slika 4.10. Izrada i spajanje zaštitnih dioda na četvrtastu cijev*

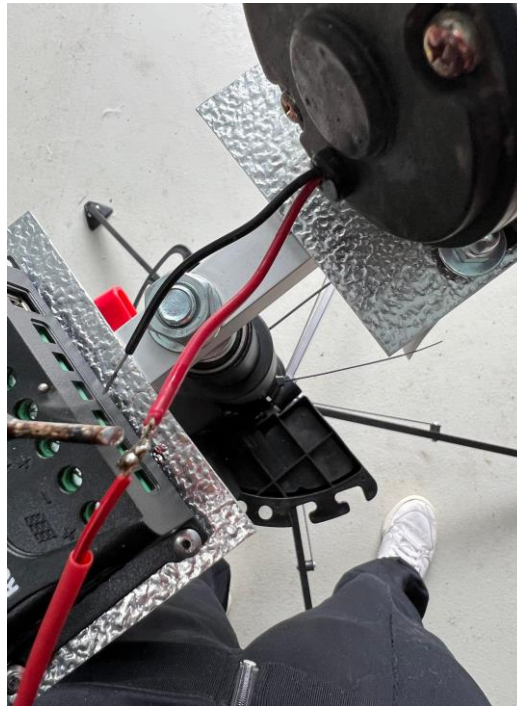
Nakon toga izrađena je kutija u kojoj će biti smješten akumulator, stalak za mobitel te priključak za punjenje mobilnog uređaja (slika 4.11.). To je također izrađeno 3D printerom u dimenzijama 140 mm x 100 mm. Navedene dimenzije su određene po veličini akumulatora koji će biti smješten u njoj. Kutija je pričvršćena stezaljkama za glavni stup postrojenja.



*Slika 4.11. Izgled kutija sa elektronikom*

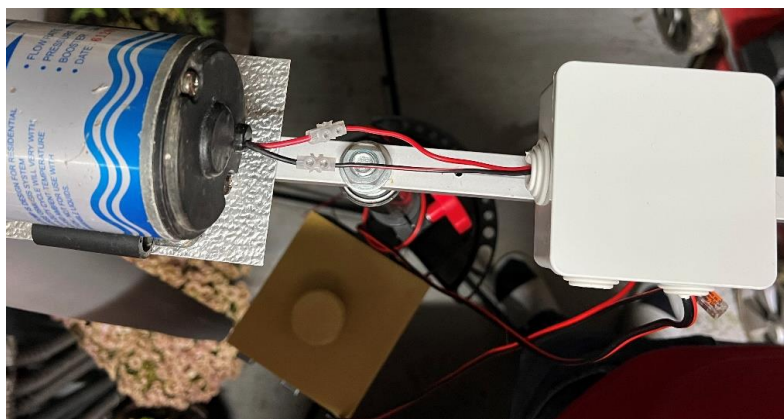


Nakon što je završen cjelokupni mehanički dio, krenulo se je s lemljenjem, odnosno spajanjem žica. Generatorske žice zaštićene termobužirom spajane su na diode (slika 4.12.). Nakon toga provučene su žice do kutije gdje se nalazi akumulator zajedno s usb priključkom.



*Slika 4.12. Lemljenje generatora i zaštitnih dioda*

Kod spajanja pojavio se problem sa smještajem komponenti. Cjelokupna elektronika nije mogla biti smještena na nosač pa je raspoređena po cijelom postolju (slika 4.13.). Kod okretanja vjetroagregata prema vjetru dolazilo je do skraćivanja žica i odvajanja stezaljki na akumulatoru. Problem je i nedostatak pristupačnosti dijelova pa je trebalo improvizacijom ispraviti navedeni nedostatak. To je odrađeno tako što je stavljena duža žica koja će se centrifugalnom silom sama omotavati, odnosno razmotavati prilikom okretanja postrojenja.



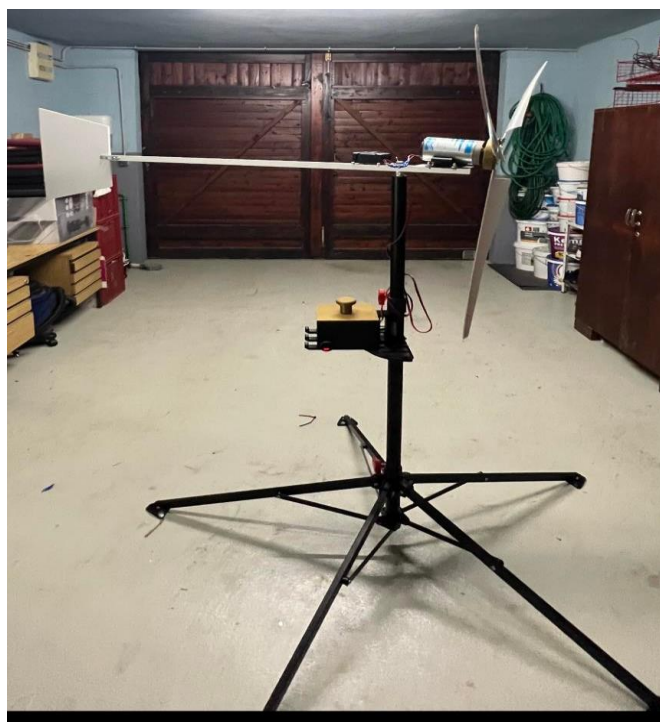
*Slika 4.13. Izgled cjelokupne instalacije*

Prije samog završetka, izvršen je još jedan zadatak, a to je slaganje peraje (slika 4.14.). Naime, peraja je dio postrojenja u obliku trapeza dimenzija; osnovica 250 mm i 400 mm dok su krakovi u duljini od 26 mm te ona omogućava da je vjetroagregat uvijek okrenut prema vjetru.



*Slika 4.14. Prikaz peraje*

Tim zadatkom ujedno je dobivena finalna verzija završnog rada (slika 4.15.).



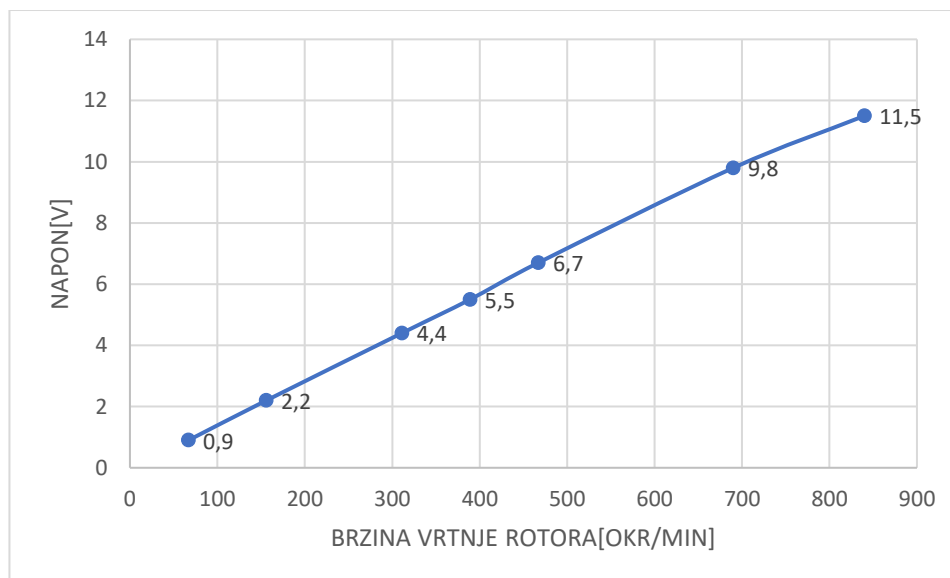
*Slika 4.15. Finalni izgled vjetroatregata*

## 5. ANALIZA PODATAKA

Analizom podataka želi se što realnije i preciznije opisati dobiveni rezultati pomoću dijagrama. Slika 5.1 prikazuje dijagram ovisnosti napona o brzini vrtnje rotora u praznom hodu potkrijepljena tablicom 5.1, dok je na slici 5.2 prikazan dijagram ovisnosti napona o brzini vjetra pod jednakim uvjetima iz tablice 5.2.

| BRZINA VRTNJE ROTORA[OKR/MIN] | NAPON[V] |
|-------------------------------|----------|
| 840                           | 11,5     |
| 690                           | 9,8      |
| 467                           | 6,7      |
| 389                           | 5,5      |
| 311                           | 4,4      |
| 156                           | 2,2      |
| 67                            | 0,9      |

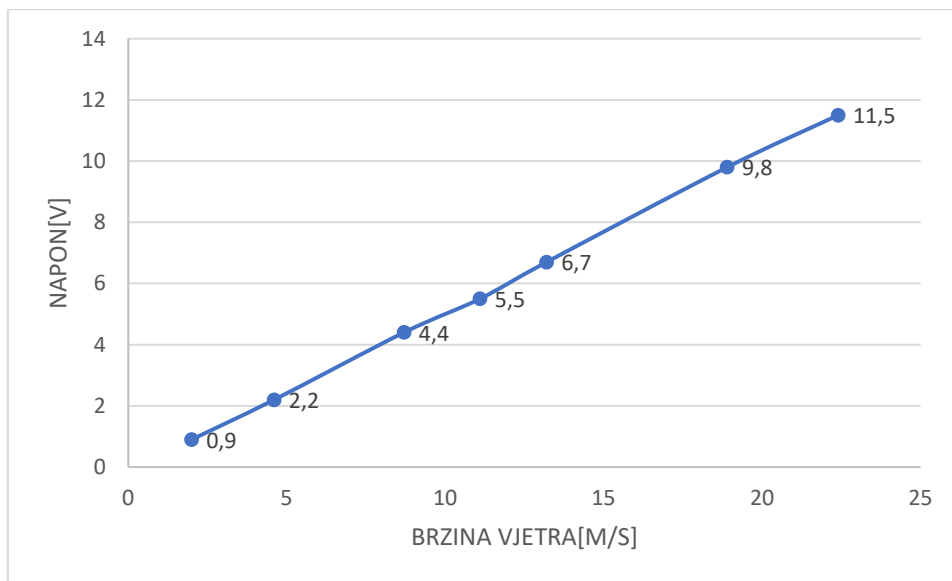
Tablica 5.1. Ovisnost napona o brzini vrtnje rotora



Slika 5.1. Dijagram ovisnosti napona o brzini vrtnje rotora

| BRZINA<br>VJETR[M/S] | NAPON[V] |
|----------------------|----------|
| 22,4                 | 11,5     |
| 18,9                 | 9,8      |
| 13,2                 | 6,7      |
| 11,1                 | 5,5      |
| 8,7                  | 4,4      |
| 4,6                  | 2,2      |
| 2                    | 0,9      |

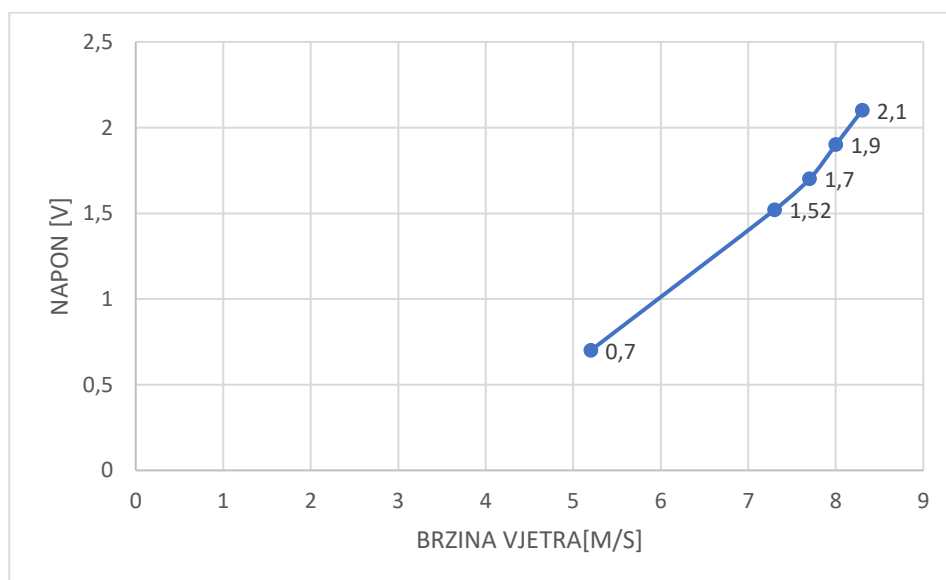
Tablica 5.2. Ovisnost napona o brzini vjetra



Slika 5.2. Dijagram ovisnosti napona o brzini vjetra

| BRZINA VJETRA[M/S] | NAPON[V] |
|--------------------|----------|
| 8,3                | 2,1      |
| 8                  | 1,9      |
| 7,7                | 1,7      |
| 7,3                | 1,52     |
| 5,2                | 0,7      |

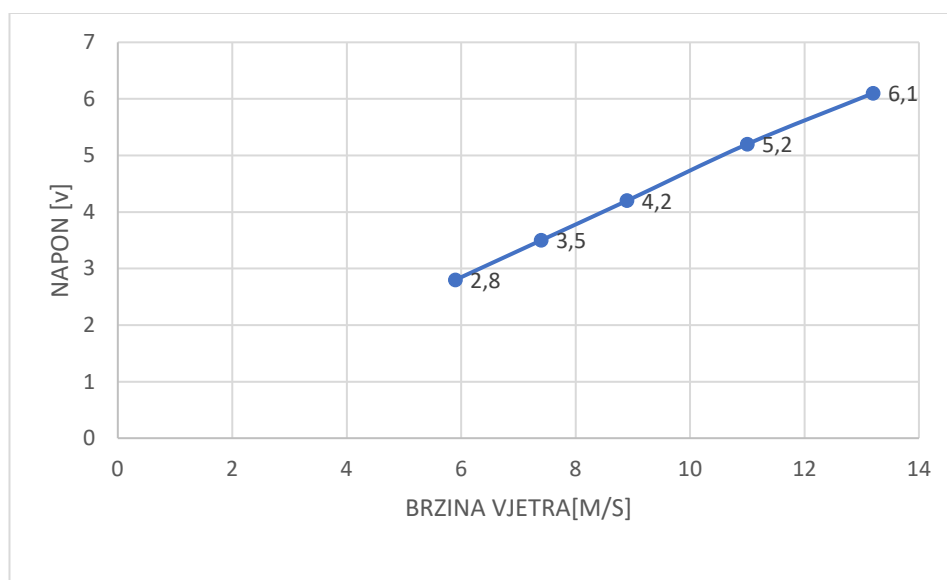
Tablica 5.3. Ovisnost napona o brzini vjetra kod otpora od 47 Ohm-a



Slika 5.3. Dijagram ovisnosti napona o brzini vjetra kod otpora od 47 Ohm-a

| BRZINA VJETRA[M/S] | NAPON[V] |
|--------------------|----------|
| 13,2               | 6,1      |
| 11                 | 5,2      |
| 8,9                | 4,2      |
| 7,4                | 3,5      |
| 5,9                | 2,8      |

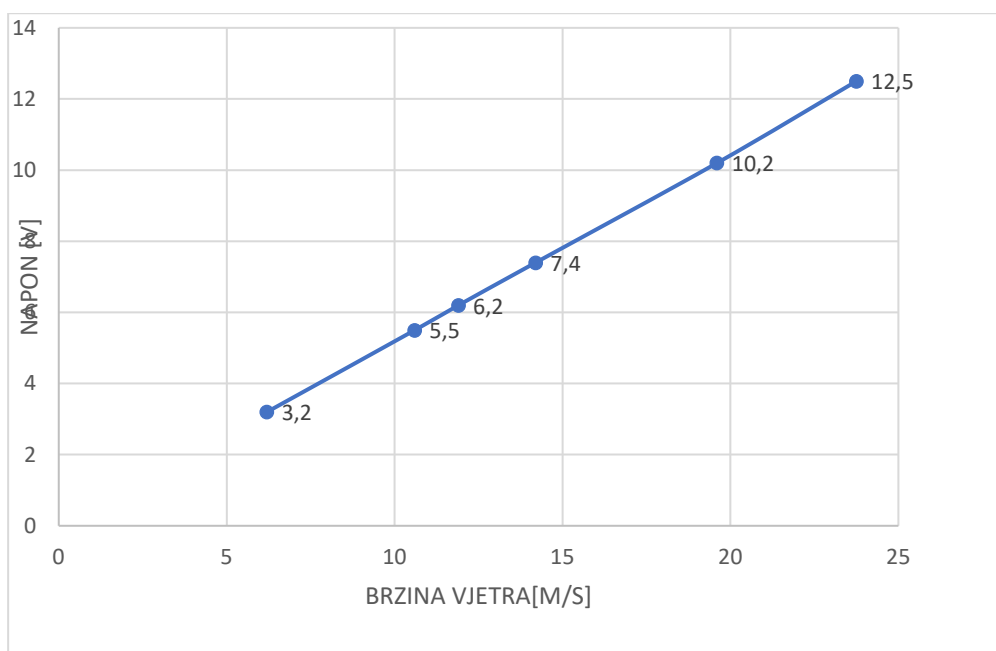
Tablica 5.4. Ovisnost napona o brzini vjetra kod otpora od 100 Ohm-a



Slika 5.4. Dijagram ovisnosti napona o brzini vjetra kod otpora od 100 Ohm-a

| BRZINA VJETRA[M/S] | NAPON[V] |
|--------------------|----------|
| 23,7               | 12,5     |
| 19,6               | 10,2     |
| 14,2               | 7,4      |
| 11,9               | 6,2      |
| 10,6               | 5,5      |
| 6,2                | 3,2      |

Tablica 5.5. Ovisnost napona o brzini vjetra kod otpora od 390 Ohm-a



Slika 5.5. Dijagram ovisnosti napona o brzini vjetra kod otpora od 390 Ohm-a



Iz slike 5.1. i 5.2. vidljivo je da krivulja linearno raste što je i očekivano.

Sljedeći dijagrami sa slike 5.3, 5.4 i 5.5 izradili smo temeljem tablica 5.3, 5.4 i 5.5 koji opisuju ovisnost napona o brzini vjetra kod triju vrijednosti otpora. Kod navedenih dijagrama krivulje su gotovo pa linearne što je dobar pokazatelj za izrađenu vjetroturbinu. Isto tako je vidljivo da za veće otpore je potreban jači vjetar kako bi razlika u naponima bila što manja. Kod naleta vjetra od 23,7m/s, dostignut je napon od 12,5 V koji je upotrebljivi za napajanje led rasvjete. Sva mjerenja odrađena su na 265 metara nadmorske visine, zbog toga jer na nižoj nadmorskoj visini jačina vjetra je manja te mjerenja ne bi bila upotrebljiva. Točna i preciznija mjerenja nisu bila moguća iz razloga što rasponi vjetra nisu isti za različite napone i sva mjerenja nisu se mogla raditi pod istim uvjetima. U navedenim dijagramima je pokazano kako brzina vrtnje podiže linearno napon stoga dobivamo napon od 12V kod 1100 okretaja u minuti te je ujedno i taj dobiveni napon dovoljan za napajanje led rasvjete ili punjenje mobilnog uređaja.

## 6. ZAKLJUČAK

Vjetroelektrana za punjenje mobilnih uređaja, tema ovog završnog rada, odnosi se na vjetroagregat pogonjen vjetroturbinom s horizontalnom osi vrtnje. Odabrana je ovakva izvedba vjetroturbine iz razloga što je najjednostavnija i najpraktičnija za izraditi. Motivacija je bila izrađena mala vjetroelektrana na Sveučilištu koja je potaknula ideju izrade vlastitog postrojenja za punjenje mobilnih uređaja.

Općenito, manji horizontalni vjetroagregati ne iziskuju dodatne servo motore za razliku od vjetroagregata s vertikalnom osi vrtnje. Za njenu izradu, nema zahtjevnijih proračuna već se sve bazira na dobrom balansu i jačini vjetra. Također, nema velikih turbulencija zbog njene veličine te ne iziskuje puno opreza i pregleda terena za njeno postavljanje. Glavna prednost joj je iskorištavanje energije vjetra u bilo kojem smjeru dok joj je glavni i veliki nedostatak taj što iziskuje velike brzine vjetra da bi se uređaj punio, odnosno LED rasvjeta radila.

Konstruktivsko rješenje vjetroturbine koje je opisano u ovom radu primjenjuje i plasira na tržište sve više proizvođača. Izvedba realizirane vjetroelektrane cijenom bi mogla konkurirati na tržištu, ali najveći izazov predstavlja konstrukcija lopatica čiji oblik će moći najefikasnije iskoristiti snagu vjetra. Rezultati testiranja u realnim uvjetima pokazali su da može poslužiti za punjenje mobilnih uređaja i LED rasvjete.

## 7. LITERATURA

- [1] <https://www.izvorienergije.com/energija.html>, dostupno 24.03.2022.
- [2] N. Mustapić, Z. Guzović, B. Staniša: Energetski strojevi i sustavi, nastavni materijal iz kolegija, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2013.
- [3] B. Labudović: Obnovljivi izvori energije, Energetika marketing, Zagreb, 2002.
- [4] D. Šljivac: Osnove energetike i ekologije, Nastavni materijali, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2005
- [5] D. Šljivac, Z. Šimić: Obnovljivi izvori energije s osvrtom na štednju, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2007.
- [6] <https://hr.green-ecolog.com/15337555-biomass-energy-advantages-and-disadvantages>, dostupno 28.03.2022
- [7] L. Šikić: Energija Sunca i solarne inovacije za budućnost, Specijalistički diplomski stručni, Veleučilište u Šibeniku, Šibenik, 2016.
- [8] [https://www.renovablesverdes.com./hr/prednosti-sun%C4%8Deveenergije/amp/#Ventosas\\_d\\_la\\_energia\\_solar](https://www.renovablesverdes.com./hr/prednosti-sun%C4%8Deveenergije/amp/#Ventosas_d_la_energia_solar)dostupno 29.04.2022.
- [9] [www.vjetroelektrane.com/sto-je-vjetar](http://www.vjetroelektrane.com/sto-je-vjetar), dostupno 22.03.2022.
- [10] <https://hr.milanospettacoli.com/prednosti-i-nedostaci-energije-vjetra>, dostupno 21.03.2022.
- [11] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=64999>, dostupno 26.04.2022.
- [12] B. Matijašević, Z. Guzović: Tehničko tehnološki aspekt korištenja energije vjetra u Republici Hrvatskoj, 02. međunarodni kongres, Dani inženjera strojarstva, Split, 2011.
- [13] [oie.mingorp.hr/UserDocsImages/OIE%20Tekst.pdf](http://oie.mingorp.hr/UserDocsImages/OIE%20Tekst.pdf)
- [14] B. Skalicki, J. Grilec: Električni strojevi i pogoni, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2005.
- [15] Lj. Pilić-Rabadan: Standardizacija u području vjetroenergetskih postrojenja, Zbornik Energija i zaštita čovjekove okoline, Opatija, 1992., I, 93 – 98

- [16] B. Klarin: Mogućnosti primjene manjih vjetroturbina u proizvodnji energije na hrvatskoj obali i otocima, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu, Split
- [17] <https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSYvJVZ8tICZnD1abgKO0Z61VPmx9rTWEcldYYM0ihjXhgatrtJ>  
dostupno 21.03.2022

## 8. POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| <u>Slika 2.1. Prikaz nastajanja vjetra.....</u>   | 5  |
| <u>Slika 4.1. Postolje vjetroagregata .....</u>   | 16 |
| <u>Slika 4.2. Izrada zadebljanja nosećeg stupa vjetroagregata.....</u>                    | 16 |
| <u>Slika 4.3. Sastavljanje mehanizma za okretanje postrojenja .....</u>                   | 17 |
| <u>Slika 4.4. Spajanje četvrtaste cijevi sa mehanizmom za okretanje postrojenja.....</u>  | 18 |
| <u>Slika 4.5. Spajanje generatora sa metalnom pločicom .....</u>                          | 18 |
| <u>Slika 4.6. Montiranje prve verzije lopatica na osovinu generatora .....</u>            | 19 |
| <u>Slika 4.7. Izrada maketa za lopatice .....</u>   | 20 |
| <u>Slika 4.8. Izgled jedne lopatice.....</u>  | 20 |
| <u>Slika 4.9. Spajanje lopatica s osovinom generatora .....</u>                           | 21 |
| <u>Slika 4.10. Izrada i spajanje zaštitnih dioda na četvrtastu cijev .....</u>            | 22 |
| <u>Slika 4.11. Izgled kutija sa elektronikom .....</u>                                    | 22 |
| <u>Slika 4.12. Lemljenje generatora i zaštitnih dioda .....</u>                           | 23 |
| <u>Slika 4.13. Izgled cjelokupne instalacije .....</u>                                    | 24 |
| <u>Slika 4.14. Prikaz peraje.....</u>   | 24 |
| <u>Slika 4.15. Finalni izgled vjetroagregata .....</u>                                    | 25 |
| <u>Slika 5.1. Dijagram ovisnosti napona o brzini vrtnje rotora.....</u>                   | 26 |
| <u>Slika 5.2. Dijagram ovisnosti napona o brzini vjetra .....</u>                         | 27 |
| <u>Slika 5.3. Dijagram ovisnosti napona o brzini vjetra kod otpora od 47 Ohm-a .....</u>  | 28 |
| <u>Slika 5.4. Dijagram ovisnosti napona o brzini vjetra kod otpora od 100 Ohm-a .....</u> | 29 |
| <u>Slika 5.5. Dijagram ovisnosti napona o brzini vjetra kod otpora od 390 Ohm-a .....</u> | 30 |

## 9. POPIS TABLICA

|   |    |
|---|----|
| <u>Tablica 5.1. Ovisnost napona o brzini vrtnje rotora .....</u>                  | 26 |
| <u>Tablica 5.2. Ovisnost napona o brzini vjetra .....</u>                         | 27 |
| <u>Tablica 5.3. Ovisnost napona o brzini vjetra kod otpora od 47 Ohm-a .....</u>  | 28 |
| <u>Tablica 5.4. Ovisnost napona o brzini vjetra kod otpora od 100 Ohm-a .....</u> | 29 |
| <u>Tablica 5.5. Ovisnost napona o brzini vjetra kod otpora od 390 Ohm-a .....</u> | 30 |

1  
NACION  
ALIZIRANINA

Sveučilište  
Sjever



SVEUČILIŠTE  
SJEVER

#### IZJAVA O AUTORSTVU

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, Dimitrije KRUŠIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/~~jea~~ završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom VICTORLESTRAVA NA PUNJEVAJE MOJILNIK VREĆA I (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/~~jea~~  
(upisati ime i prezime)

Dimitrije KRUŠIĆ  
(vlastoručni potpis)

Sukladno čl. 83. Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i 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.

Sukladno čl. 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje znanstvena i umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.