

# Projekt vjetroelektrane

---

**Kalaica, Mia**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:930713>

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

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

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**STRUČNI STUDIJ**

**PROJEKT VJETROELEKTRANE**

**ZAVRŠNI RAD**

**MIA KALAICA**

**OSIJEK, 2019.**

# SADRŽAJ

1. UVOD:.....	1
2. ŠTO JE VJETAR?.....	2
2.1 ENERGIJA VJETRA: .....	2
2.2 RUŽA VJETROVA: .....	5
2.3 VJETROELEKTRANE: .....	5
2.4 PODJELA VJETROELEKTRANA: .....	5
2.5 DIJELOVI VJETROELEKTRANE:.....	6
2.3 PREDNOSTI I NEDOSTACI VJETROELEKTRANA:.....	8
2.4 PROJEKTIRANJE VJETROELEKTRANA: .....	9
2.5 MJERENJE VJETROPOTENCIJALA NA LOKACIJI VJETROELEKTRANE:.....	9
2.6 IZRAČUN ENERGIJE .....	10
2.7 PRIKLJUČAK:.....	10
2.8 VJETROELEKTRANE U HRVATSKOJ:.....	11
3. VJETROELEKTRANA U OPĆINI GRADIŠTE:.....	15
4.ZAKLJUČAK: .....	23
SAŽETAK: .....	24
SUMMARY: .....	24
Literatura:.....	26

## 1. UVOD:

Izvore energije dijelimo na obnovljive i neobnovljive. Izvor energije čiji se prosječni dotok ponavlja svake godine i to tako da nema smanjenja nazivamo obnovljivi izvori energije. U obnovljive izvore energije ubrajamo sunčevu energiju, energiju vode, geotermalnu energiju, energiju iz biomase te energiju vjetra. [1] Na temelju Kyoto Protokola, mnoštvo zemalja, treba smanjiti emisiju stakleničkih plinova, a zemlje članice EU su preuzele obvezu smanjenja stakleničkih plinova za 8% u odnosu na 1990. godinu. U slučajevima energetske krize obnovljivi izvori energije povećavaju samoodrživost elektroenergetskog sustava, s obzirom na to da je proizvodnja električne energije ovisna o isporuci plina, nafte i ugljena. Kod većine nekonvencionalnih izvora energije ne postoji utrošak energije pri dobivanju izvornog oblika, također, nema troškova ni pri transportu jer se većina ne može transportirati. [1] U Hrvatskoj se do 2030. planira povećati udjel obnovljivih izvora energije sa 35% na više od 50%. Ovaj završni rad baziran je na vjetroelektranama koje u današnjem svijetu zauzimaju sve veću ulogu. Također, uz opis vjetroelektrana i njihov način rada, odabran je vjetroagregat za tvrtku iz općine Gradište.

## 2. ŠTO JE VJETAR?

Strujanje zračnih masa koje nastaje zbog temperaturnih razlika tj. razlike tlakova, naziva se vjetar. Vjetar nastaje tako što Ekvator, naspram polova, prima više Sunčeve energije, a istovremeno se more sporije hladi i zagrijava u odnosu na kopno. Upravo zbog toga se globalni atmosferski sustav toplinskog prijenosa tjera sa Zemljine površine prema stratosferi. Topografska i geografska obilježja ( jezera, drveća, mora, planine, zgrade i ostalo ) imaju veliki utjecaj na lokalne vjetrove. Vjetar se najčešće opisuje smjerom i jačinom. Jačinu vjetra određujemo anemometrom ili pomoću Beaufurtove ljestvice, oznakama od 0-12, (0: brzina vjetra od 0-14km/h, 12: orkanski vjetar brzine 155km/h), smjer vjetruljom, a označavamo ga stranom svijeta sa koje dolazi. [2]

### 2.1 ENERGIJA VJETRA:

Energija vjetra je kinetička energija ovisna o kvadratu brzine vjetra.

$$W = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2-1)$$

Maksimalna teorijska energija vjetra se računa prema izrazu:

$$W = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \rho V v^2 = \frac{1}{2} \rho A v^3 = 0,625 A v^3 \quad (2-2)$$

Gdje je:

$\rho$  – gustoća zraka (približno 1,25 kg/m<sup>3</sup>);

A – površina rotora vjetroelektrane (volumen  $V = A \cdot v$ )

v – brzina vjetra

Maksimalna teorijska energija vjetra ovisi o trećoj potenciji brzine vjetra.

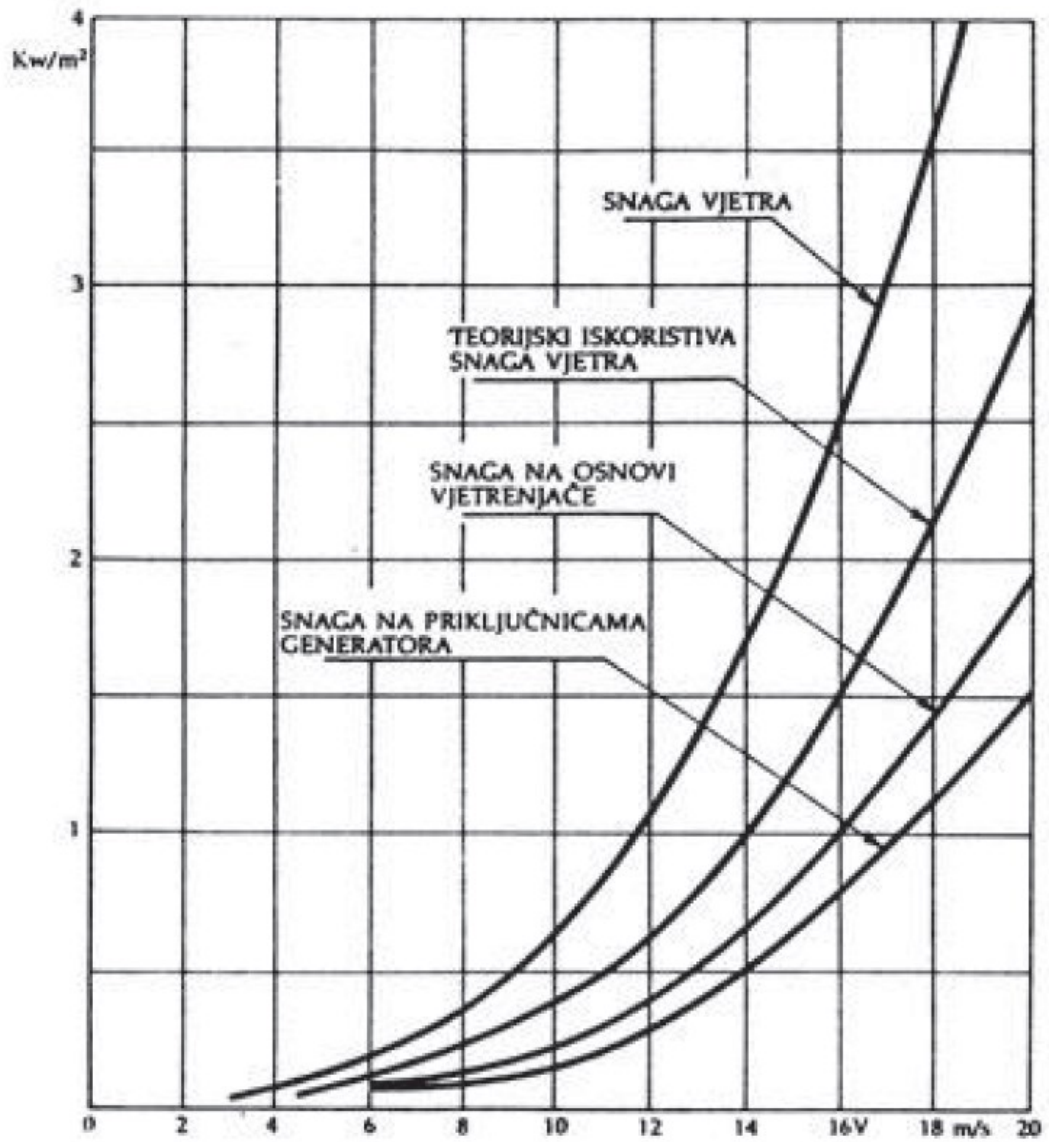
$$W = 0,625 * A * (v_1 - v_2)^3 \quad (2-3)$$

Brzina vjetra je promjenjiva na lokaciji tijekom vremena, ovisi i o visini, brzina vjetra raste s rastom visine. [3]



Slika 1: Ovisnost snage vjetrogeneratora o brzini vjetra [1]

Slika 1 je graf koji prikazuje krivulju snage tj. koliko će turbina proizvesti električne energije na različitim brzinama vjetra. Vjetroturbine počinju raditi pri brzini vjetra između 3 do 5 metara u sekundi. To se naziva brzina uključanja vjetra. Turbine se programiraju tako da prestanu raditi pri otprilike 25 m/s, a to nazivamo brzina isključenja vjetra.



Slika 2: Ovisnost snage vjetra o brzini vjetra [1]

## 2.2 RUŽA VJETROVA:

Ruža vjetрова je prikaz informacija o brzinama i smjerovima vjetra, na osnovi meteoroloških promatranja. Krug se podijeli na 12 odjeljaka, za svakih 30 stupnjeva po jedan. Iz ruže vjetрова se dobije informacija o relativnoj brzini vjetra iz različitih smjerova, odnosno, podaci (prosječna brzina vjetra, frekvencija, prosječni kub brzine vjetra) se pomnože brojem koji garantira da se sa radijusom vanjskog kruga u dijagramu točno podudara najveća kriška. [1]

## 2.3 VJETROELEKTRANE:

Postrojenje koje kinetičku energiju vjetra pretvara u električnu energiju naziva se vjetroeletrana. Kinetička energija se prenosi na lopatice rotora. Upravo ta energija pogoni sporookretnu osovinu, koja pogoni brzookretnu osovinu preko prijenosnika te tako mehaničku energiju prenosi osovini električnog generatora koji daje električnu energiju na stezaljkama. [1]

## 2.4 PODJELA VJETROELEKTRANA:

Vjetroeletrane možemo podijeliti prema:

1. Osi vrtnje: okomita i vodoravna os vrtnje, češće se koriste one sa vodoravnim rotorom. Vjetroturbine sa vodoravnom osovinom koriste mehanizam koji drži turbinu okrenutu u smjeru dolaska vjetra, pomoću elektromotora.



Slika 3: Vjetroatregat sa okomitim rotorom (lijevo) i vjetroatregat sa vodoravnim rotorom (desno) [1]

2. Snazi: male (1-30kW), srednje i velike snage (30-1500 kW)



3. Vrste generatora: s istosmjernim, sinkronim i asinkronim generatorima
4. Brzini vrtnje: stalna i promjenjiva brzina vrtnje
5. Lokaciji: kopno i pučina

## **2.5 DIJELOVI VJETROELEKTRANE:**

Osnovni dijelovi vjetroelektrane su: lopatice, rotor, kočnica, prijenosnik snage, generator, upravljački i nadzorni sustav, oprema za zakretanje, gondola, stup. [4]

Lopatice:

Razlikujemo one s krilcima ili sa zakretnim vrhovima. Obje izvedbe stvaraju moment kočenja ukoliko dođe do otkazivanja primarnog kočnog sustava te na taj način kontroliraju brzinu vrtnje.

Rotor:

Osnovni dijelovi rotora su glava i loptice. S obzirom na način reguliranja snage, može biti izveden na dva načina :

1. Regulacija kuta tokom rada se izvodi zakretanjem lopatice tako da se profil namješta u optimalni položaj. Iako je ova izvedba skuplja i složena, također, je i nužna za lopatice duže od 30m. [4]
2. Regulacija snage izvodi se korištenjem aerodinamičnog efekta poremećenog trokuta brzine tj. na aeroprofilu se mijenja kut struje ukoliko se promijeni brzina vjetra, a kao posljedica dolazi do poremećaja trokuta brzina te do porasta ili gubitaka uzgona. [4]

Kočnica:

Zaustavlja rotor, ukoliko dođe do prevelikih brzina vjetra, ali i održava projektnu brzinu vrtnje konstantnom. Najučestalija izvedba kočnog sustava je disk kočnica koja je smještena na sporookretnoj osovini ili na brzookretnoj osovini generatora. [5]

Prijenosnik snage:

Spaja sporookretnu i brzookretnu osovinu te povećava brzinu vrtnje. Može biti različitih izvedbi, najčešće je multiplikator. Hlađenje se najčešće vrši zrakom, podmazivanje uljem. S obzirom na to da je prijenosnik skup i težak sastavni dio vjetroturbine, istražuje se mogućnost izravnog pogona generatora bez prijenosnika. [5]

Generator:

Da bi vjetroturbinsko-generatorski sustav sigurno i pravilno radio, generator mora imati visoki stupanj iskoristivosti, izdržljivost rotora te postojanost konstrukcija na visoko dinamičkim opterećenjima. [4]

Generatore možemo podijeliti na:

1. generatore za paralelni rad s distributivnom mrežom
2. za samostalni rad
3. za rad sa drugim izvorima

Prema vrsti struje:

1. istosmjerni- rijetko se primjenjuju zbog problema s pouzdanosti
2. izmjenični

Prema načinu okretanja:

1. promjenjiva brzina vrtnje
2. ne promjenjiva brzina vrtnje

Upravljački i nadzorni sustav:

Zadužen za cjelokupno upravljanje i nadzor rada vjetroturbinsko-generatorskog sustava. [5]

Oprema za zakretanje:

Svrha je zakretanje turbinsko-generatorskog sustava. Nalazi se na vrhu stupa odnosno ispod kućišta. [5]

Gondola:

Štiti generatorski sustav sa od okolnih utjecaja, a štiti i okoliš od buke. [5]

Stup:

Postoje različite izvedbe: cjevasti, konusni, teleskopski, rešetkasti, učvršćeni ili povezani. U praksi je najčešća cjevasta konstrukcija jer osim velike čvrstoće ima i veću otpornost na vibracije, a rešetkasta konstrukcija je prikladnija za transport i montažu s obzirom na to da se može rastaviti na manje dijelove. [5]

## 2.3 PREDNOSTI I NEDOSTACI VJETROELEKTRANA:

### PREDNOSTI:

Vjetroelektrane ne crpe gorivo, kemijski i biološki ne zagađuju okoliš, nemaju štetnih emisija, smanjuju ovisnost o uvozu fosilnih goriva, a mogu imati pozitivan utjecaj u smanjenju snage i brzine vjetra u područjima sa velikim naletima vjetra. [6]

### NEDOSTACI:

Vjetroelektrane mogu uzrokovati estetsko zagađenje, ukoliko se grade u naseljenim prostorima. Troškovi održavanja su skuplji, a potreban je i multiplikator koji također poskupljuje izvedbu. Tehnološki je teško savladati velike promjene u snazi vjetra, a nema niti rješenja za akumuliranje energije za razdoblje bez vjetra. [6]

Unatoč nedostacima, dokazano je da su vjetroelektrane najčišći i najisplativiji oblik proizvodnje električne energije, samo je potrebno dobro odabrati lokaciju na kojoj će se vjetroelektrana izgraditi.



Slika 4:

Vjetroelektrane [6]

## **2.4 PROJEKTIRANJE VJETROELEKTRANA:**

Da bismo razvili vjetroelektranu trebamo početi odabirom lokacije za izgradnju. Najbolja lokacija se odabire s obzirom na tehnička, ekološka i ekonomska ograničenja. Početna tehnička analiza uključuje procjenu vjetropotencijala na određenoj lokaciji. Isto tako trebamo provjeriti da li je moguć priključak na prijenosnu ili razdjelnu mrežu gledano i sa tehničke i ekonomske strane. Drugi korak je detaljnije ispitivanje odabrane lokacije. Proučavaju se tehnički zahtjevi, a da bi se odredio najbolji dizajn vjetroagregata, na odabranoj lokaciji se mjeri vjetar te moguća količina proizvodnje energija kao i isplativost sa ekonomske strane. Određuju se i specifična ograničenja uzrokovana okolišem. [7] Ukoliko se prva i druga faza pokažu ekonomski isplative i tehnički i ekološki izvode, nastupa treća faza. Definiramo smještaj vjetroagregata na lokaciji te željeni izgled. Na početku četvrte faze već je detaljno razmotrena prikladnost lokacije, a zatim počinje izgradnja.

## **2.5 MJERENJE VJETROPOTENCIJALA NA LOKACIJI VJETROELEKTRANE:**

Mjerenja brzine vjetra se obavljaju anemometrom, koji su pričvršćeni na stupove na visinu na kojoj će se nalaziti vjetroagregati. Potrebno je mjeriti barem šest mjeseci, a preporuča se i period od godine dana ili više upravo zbog jake ovisnosti prijenosa energije o brzini vjetra. Kao što je već navedeno, brzina vjetra je glavni parametar pri projektiranju vjetroagregata, a paralelno je ishodište i proračuna o ekonomskoj isplativosti. Uz brzinu potrebno je poznavati i smjerove iz kojih puše vjetar kako bismo mogli odrediti raspored vjetroagregata u svrhu što bolje iskoristivosti. Za što realističniju raspodjelu brzine vjetra koristi se Weibull-ova krivulja, to je matematički izraz koji veoma dobro odgovara raspodjeli vjetra, s tim da ne odgovara uvijek stvarnim uvjetima pa pri primjeni treba biti oprezan. Parametar  $A$  Weibullove raspodjele prikazuje koliko je neka lokacija vjetrovita u prosjeku, a faktor oblika  $k$  govori o karakteru raspodjele brzine vjetra. Raspodjela će imati visoki faktor oblika  $k$  ako vjetar na odabranoj lokaciji puše u određenom intervalu brzina. Uz brzinu vjetra ostali parametri su: gustoća zraka, intenzitet turbulencije vjetra na određenoj lokaciji, potrebno za određivanje opterećenja na vjetroagregat.

Dvije su metode za određivanje vjetropotencijala:

1. uspoređivanje podataka skupljenih na lokaciji sa onim skupljenim otprije sa referentne postaje
2. korištenje podataka samo sa lokacije [7]

Moramo uzeti u obzir da korištenje samo druge metode može dovesti do velikih pogrešaka.

## **2.6 IZRAČUN ENERGIJE**

Osim brzine vjetra potrebno je procijeniti i gubitke zbog zavjetrine, raspored vjetroagregata na lokaciji te njihovu visinu, karakteristike, gustoća zraka, definicija topografije na željenoj lokaciji i okolnom području što se radi programima i alatima za proračun toka vjetra. Svi ostali gubici računaju se ovisno o svakoj vjetroelektrani, a to su: raspoloživost vjetroagregata, efikanost prijenosa energije, promjene na lopaticama rotora, točnost instrumenta za prekid rada, vrijeme održavanja, raspoloživost mreže. Sve to može dovesti do gubitaka između 9% i 12% od ukupne proizvedene energije. Gubici zbog zavjetrine se pojavljuju zbog smještanja vjetroagregata jedan iza drugog. Vjetar zbog toga gubi na snazi tj. brzina mu se smanjuje pa na drugom vjetroagregatu ima manju snagu od one koja je predviđena, a u proračunima to označavamo kao gubitak energije. Do gubitaka zbog zavjetrine dolazi zbog razmještanja vjetroagregata na lokaciji zato što su projekti vjetroelektrana najosjetljiviji na proizvodnju, a puno manje na troškove infrastrukture. U programima se računaju gubici zavjetrine, neki se izvode brže i uz manju preciznost pa treba ipak odabirati one kompliciranije, a ujedno i preciznije. Električna energija koju proizvede vjetroelektrana predaje se u elektroenergetski sustav preko lokalne razdjelne mreže i priključne transformatorske stanice, stoga je potrebno napraviti proračune i projekt za lokalnu razdjelnu mrežu: transformatorske stanice, kabele, vodove i čvorišta. Uz električne gubitke, jalovu snagu i proračun tokova snaga, računaju se i gubici u kabelima i vodovima, a na kraju se izračunava ukupan iznos preuzete i predane energije, uzimajući u obzir i sve gubitke.

## **2.7 PRIKLJUČAK:**

Da bi se proizvedena energija predala tj. prodala, potrošačima tj. kupcima potreban je priključak na elektroenergetski sustav. S obzirom na to da su lokacije vjetroelektrana obično daleko od potrošača, potrebne su promjene u infrastrukturi mreže. Problemi pri priključku vjetroelektrana na

elektroenergetski sustav su: osiguravanje priključka, razmatranja oko vođenja mreže te šira strateška razmatranja u planiranju. Problem s vjetroelektranama je taj što se one mogu izgraditi brže nego li konvencionalne pa se ne stigne ojačati i prilagoditi prijenosna mreža. Također je problem što je proizvodnja teže predvidljiva, teže je odrediti cijenu priključka na mrežu te kao što je već navedeno lokacija vjetroelektrana je često udaljena. Varijabilnost je također problem s kojim se operatori sustava susreću. Operatori sustava prvo trebaju riješiti problem proizvodnje iz većeg broja elektrana, a nakon toga razmotriti za koju se varijabilnost trebaju planirati, a analiza već postojećih podataka omogućuje da se naprave procjene za najnepovoljnije slučajeve. Zadnjih godina napravljeni su veliki pomaci što se tiče predvidljivosti s alatima za predviđanje proizvodnje. Također se može riješiti na temelju vremenske prognoze. 24-48 sati unaprijed s time da treba uračunati grešku koja je javlja pri prognoziranju. Iako se energija vjetra u svijetu vrlo brzo razvija tek je nekoliko mjesta gdje se vjetroelektrane mogu natjecati s konvencionalnim izvorima energije.

Parametri u ekonomskoj procjeni energije vjetra su:

- cijena investicije
- diskontna stopa
- troškovi održavanja
- životni vijek vjetroagregata
- proizvodnja električne energije

## **2.8 VJETROELEKTRANE U HRVATSKOJ:**

Vjetroelektrane započinju svoj razvoj u Hrvatskoj još 1988. godine. Tada je Končar postavio u brodogradilištu Uljanik prvi vjetroagregat. Ukupno ima 20 vjetroelektrana i to: [8]

1. VE Ravne 1, Pag

Izgradila ju je Hrvatska tvrtka Adria Wind Power 2004. godine, a nalazi se u blizini grada Paga. Instalirana snaga je 5,950 kW, a sastoji se od 7 vestasovih vjetroagregata, promjer lopatica je 52 m.

2. VE Trtar-Krtolin, Šibenik

Sastoji se od 14 vjetroagregata Enercon E-48, ukupne snage 11,2 MW. Promjer lopatica je 48m, a visina 50m. Nalazi se u blizini Šibenika.

3. VE Orlice, Šibenik

Sastoji se od 11 Enerconovih vjetroagregata, ukupne snage 9,6 MW. Također se nalazi u blizini Šibenika.

4. VE Crno brdo, Šibenik

Sastoji se od 7 vjetroagregata Leitwind LTW77 pojedinačne snage 1,5 MW, a promjer lopatica je 77m, visina stupa 80m. Priključena je na distributivnu mrežu HEP-ODSa.

5. VE Vrataruša, Senj

Priključena je na prijenosnu mrežu, 110kV, a ukupna instalirana snaga joj je 42MW. Sastoji se od 14 Vestasovih vjetroagregata V90. Promjer lopatica je 90m, a visina osi 80m.

6. VE Velika Popina, Gračac

Sastoji se od 14 Siemens SWT 93 2,3 MW, a ukupna snaga joj je 9,2 MW.

7. VE Bruška, Benkovac

Priključena na prijenosnu mrežu HEP-ODS. Sastoji se od 16 vjetroagregata Siemens SWT-93, ukupne snage 36,8 MW.

8. VE Pometeno Brdo, Dugopolje

Na igradnji ove VE, prvi puta su korišteni vjetroagregati proizvedeni i dizajnirani u Hrvatskoj, za što je zaslužan Končar. Instalirano je 16 vjetroagregata, ukupne snage 17,5 MW.

9. VE Ponikve, Ston

Nalazi se na poluotoku Pelješcu, mjesto Ponikve, Ston. Ima instaliranu snagu 36,8 MW. Koristi 16 Enercon E-70 vjetroagregata, snage 2,3 MW.

10. VE Jelinak, Trogir

Sastoji se od 20 vjetroagregata, ukupne snage 30MW. Izgradila ju je španjoska tvrtka Acciona.

11. VE Kamensko-Voštane, Trilj

Nalazi se Splitko-dalmatinskoj županiji, na području grada Trilja. Uz tvrtku Siemens u izgradnji su sudjelovale i mnoge druge hrvatske tvrtke.

12. VE Danilo

Najznačajnija VE u Hrvatskoj, a nalazi se u blizini grada Šibenika. Projekt je vrijedan 70 milijuna eura. Sastoji se od 19 vjetroturbinskih generatora ENERCON E-82, ukupne snage 43,7 MW, godišnje proizvede 100 GWh električne energije.

#### 13. VE Zadar 4

Nalazi se uz cestu Benkovac-Karin Donji.

#### 14. VE Zelengrad

Nalazi se u Obrovcu, a ujedno je i druga naša najveća vjetroelektrana.

#### 15. VE Ogorje

Proizvodi 42 MW električne energije, a nalazi se u blizini Splita

#### 16. VE Rudine

Nalazi se u blizini Dubrovnika, a instalirana snaga je 34,2 MW

#### 17. VE Glunča

Nalazi se u blizini Šibenika, ukupne instalirane snage 20,7 MW.

#### 18. VE Katuni

Vjetroelektrana se sastoji od 12 vjetroagregata, ukupne snage 34,2 MW, a nalazi se u blizini Omiša.

#### 19. VE Lukovac

Ukupna instalirana snaga je 48 MW, nalazi se u općini Cista Provo.

#### 20. VE Poštak

Sagrađena je na području općine Gračac, ukupne instalirane snage 44,2 MW.





Slika 6: Vjetroelektrana Danilo [8]

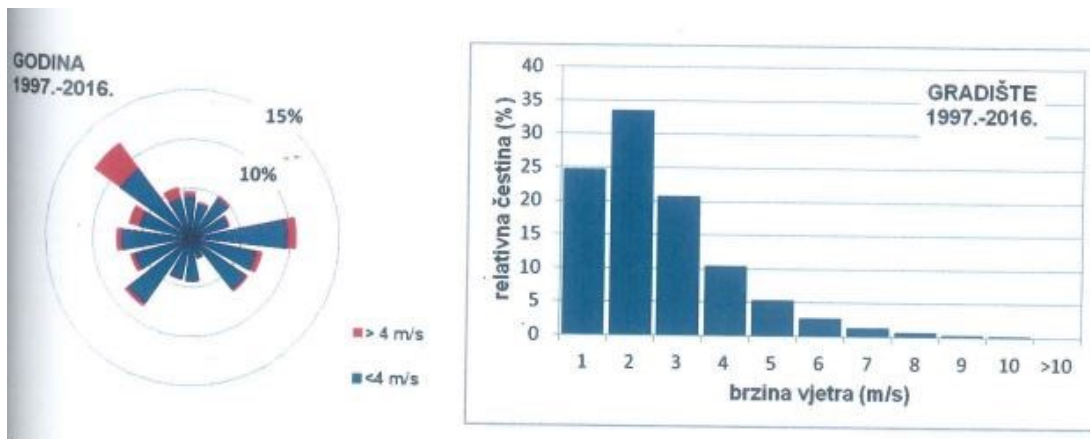
### 3. VJETROELEKTRANA U OPĆINI GRADIŠTE:

Općina Gradište nalazi se u istočnoj Slavoniji, Vukovarsko srijemska županija, u blizini granice sa Bosnom i Hercegovinom. U sklopu ovog završnog rada pronađena su mjerenja brzine vjetra od 1997.-2016. godine te specifičnosti anemometra u ovoj općini. Tvrtka za koju su se radila mjerenja je veliki potrošač električne energije (otprilike 940 MWh )

Analiza vjetra na lokaciji Gradište zasniva se na kontinuiranom mjerenju smjera i brzine vjetra na lokaciji glavne meteorološke postaje na Radarskom centru. [9]



Slika 7: karakteristike srednje brzine vjetra na visini 60 m u mjestu Gradište [9]



Slika 8: Godišnja razdioba relativne čestine pojedinog smjera (ruža vjetrova-lijevo) i brzine vjetra (histogram-desno) na meteorološkoj postaji Gradište za razdoblje (1997.-2016.) [9]

Tijekom analiziranog razdoblja 1997.-2016. prevladavao je vjetar sjeverozapadnih smjerova (WNW-W-NNW) koji je zabilježen u 24% slučajeva. Vjetar je čest i istočnih smjerova tijekom zime. U proljeće, brzine vjetra veće su od 4 m/s (15-19 %) kada područjem Slavonije često prolaze poremećaji praćeni pojačanim vjetrom najčešće sa sjevera i sjeverozapada. [9]

## ANEMOMETAR U OPĆINI GRADIŠTE:

Prema vrsti instrumenta anemometar je impulsni sa MikroM mjernim sustavom. Za brzinu vjetra koristi rotirajuće polulopte, a smjer određuje šestobitnom vjetruljom. Uzorkovanje traje 1s, opseg mjerenja brzine vjetra je od 0,2 do 70 m/s, a točnost i rezolucija 0,1 m/s. Izlazni signal mu je impulsni, a osrednjavanje 10 minutno. Opseg mjerenja smjera vjetra je od 0° do 360°, rezolucija je 6°, a točnost 3°.

**Tablica 1:** Srednje mjesečne (V), maksimalne 10-minutne V10x, maksimalne trenutne brzine, na lokaciji Gradište u razdoblju 1997.-2016.

mjesec	V (m/s)	V10x (m/s)	Vmx (m/s)
siječanj	2,07	12,2	20,09
veljača	2,32	14,1	20,08
ožujak	2,65	16,6	25,9
travanj	2,55	15,1	27,7
svibanj	2,23	15,1	27,7
lipanj	1,97	13,6	25,1
srpanj	1,98	13,3	23,9
kolovoz	1,75	15,7	24,8
rujan	1,83	14,1	23,4
listopad	1,78	15,7	25,6
studeni	1,88	13,8	25,2
prosinac	13,8	14,8	21,6
GOD	2,07	16,6	27,7

Iz tablice vidimo da je ukupna srednje mjesečna brzina vjetra 2,07 m/s, a najveća u mjesecu ožujku, dok je maksimalna 10 minutna ukupna 16,6 m/s, također najveća u mjesecu ožujku. Maksimalna trenutna brzina je ukupno 27,7 m/s, najveća u mjesecima travanj i svibanj. S obzirom na to da je os vjetroagregata najčešće smještena 80-100m iznad tla, podaci se moraju interpolirati na tu visinu, no kako je općina Gradište na ravnom području, godišnja razdioba smjera vjetra na visini od 10m gotovo je jednaka i onoj od 80m.

**Tablica 2:** Relativna učestalost smjera vjetra, prosječna brzina vjetra ovisno o smjeru, A i k parametri Weibullove razdiobe i gustoća snage vjetra za godinu u cjelini na 80m iznad tla na lokaciji meteorološke postaje Gradište u razdoblju od 1997.-2016.

	RČ (%)	A	k	V (m/s)	P (W/m <sup>2</sup> )
N	4,7	3,6	1,62	3,19	48
NNE	3,7	3,1	1,81	2,78	28
NE	5,1	3	1,74	2,69	26
ENE	4,1	3,1	1,91	2,73	25
E	10,7	3,7	1,93	3,28	43
ESE	7,4	3,6	2	3,22	39
SE	7	3	1,92	2,7	24
SSE	2,2	2	1,73	2,04	12
S	4,5	2,8	1,94	2,45	18
SSW	4,4	3	1,93	2,62	22
SW	8,5	3,2	1,78	2,84	30
WSW	6,4	3,3	1,69	2,92	35
WSW	7,6	3,4	1,85	3,05	36
WNW	6,5	4,4	1,88	3,91	75
NW	12,1	5,3	1,91	4,7	127
NNW	5,3	4,7	1,78	4,23	100
SVE		<b>3,6</b>	<b>1,65</b>	<b>3,25</b>	<b>50</b>

**Tablica 3:** Vjerojatnost da brzina vjetra premaši zadanu vrijednost na visini od 80 m iznad tla na lokaciji meteorološke postaje Gradište u razdoblju od 1997.-2016.

	4	7	10	12	15	>15
<b>Vjerojatnost (%)</b>	69,1	25,4	4,6	0,4	0,1	0

Nakon prikupljenih podataka i analiza, potrebno je odabrati vjetroagregat sukladno sa raspoloživim kapitalom. Vjetroagregati (VA) su općenito rađeni za veće brzine uz nazivne brzine vjetra od oko 11 m/s i uključivanje u rad tek oko 3,5 m/s, što odgovara danskim i skandinavskim uvjetima. Također su tipično snage od 2-3 MW. Za ovu lokaciju tražimo posebno dizajnirane za tzv. IEC klasa III vjetra i ima ih nekoliko na tržištu, a za ciljanu snagu od 500 MW, izdvojeni su sljedeći modeli:

1. EWT DW54-250 kW
2. EWT DW54-500 kW
3. EWT DW61-1,0 MW
4. ENERCON E-48 800 kW



Slika 10: EWT DW54-250 kW [10]

**Tablica 4:** Specifičnosti vjetroagragata EWT DW61-1,0 MW

<b>EWT DW61 1000HH69</b>				
<b>Proizvodnja energije po turbini</b>		<b>Vjetar</b>		<b>Vjetroturbina</b>
Gustoća zraka: 1,225		Referentna brzina 4,33		Visina [m] 69.00
Sati max snage	969	Referentna visina 69.00		Površina rotora [m <sup>2</sup> ] 2913
E <sub>sp</sub> [kWh/m <sup>2</sup> ]	333	A [m/s] 4.89		Promjer [m] 60.9
Energija [kWh/god]	968 891			Snaga [kW] 1000
<b>Brzina [m/s]</b>	<b>Snaga [kW]</b>	<b>Weibull [%]</b>	<b>Vrijeme</b>	<b>Energija [MWh]</b>
0	0	0.7%	60.6	0.000
1	0	6.6%	581.2	0.000
2	0	13.4%	1170.0	0.000
3	12.0	17.6%	1541.3	18.495
4	41.0	18.3%	1604.4	65.781
5	92.0	15.9%	1397.2	128.539
6	181.0	11.9%	1042.1	188.622
7	289.0	7.7%	673.3	194.593
8	432.0	4.3%	379.1	163.753
9	597.0	2.1%	186.5	111.329
10	732.0	0.9%	80.3	58.770
11	853.0	0.3%	30,30	25.817
12	941.0	0.1%	10.0	9.401
13	992.0	0,00%	2,9	2.863
14	1000.0	0,00%	0.7	0.729
15	1000.0	0,00%	0.2	0.161
16	1000.0	0,00%	0	0.031
17	1000.0	0,00%	0	0.005
18	1000.0	0,00%	0	0.001
19	1000.0	0,00%	0	0.000
20	1000.0	0,00%	0	0.000
		100,00%	8760 [h/god]	968.891

Iz tablice 4 vidimo da vjetroagregat započinje rad brzinom 3 m/s, a maksimalnu vrijednost postiže na 14 m/s. Mjerenje je preračunato na visinu od 69 metara od tla te ukupna energija iznosi 968,89 MWh. Iako i vjetroagregat sa slike 12, također, rad započinje sa brzinom od 3 m/s, a maksimalnu vrijednost postiže brzinom od 14 m/s, podaci se razlikuju jer je mjereno na različitim visinama (slika 12, visina od 75 m), a isto tako se razlikuje i snaga turbine. Veća snaga turbine je na vjetroagregatu sa slike 11, te je tako i ukupna energija veća. [10]

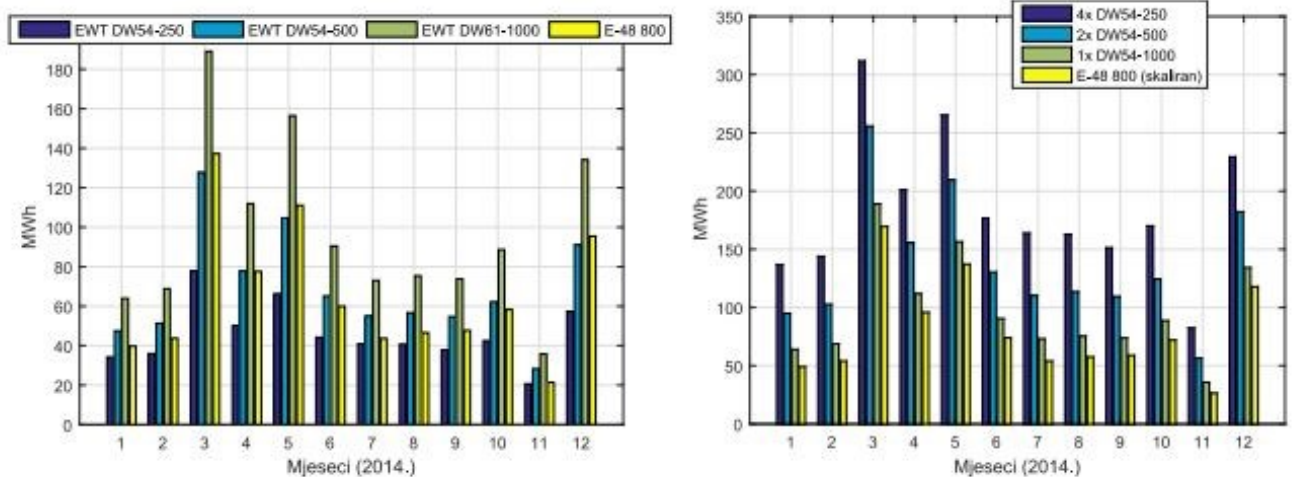
**Tablica 5:** Specifičnosti vjetroagregata EWT DW54

EWT DW54 900HH75				
Proizvodnja energije po turbini		Vjetar		Vjetroturbina
Gustoća zraka:	1,225	Referentna brzina	Visina [m]	
		4,33	75.00	
Sati max snage	969	Referentna visina	Površina rotora [m <sup>2</sup> ]	
		69.00	2290	
E_sp [kWh/m <sup>2</sup> ]	333	A [m/s]	Promjer [m]	
		4.95	54.0	
Energija [kWh/god]	810 580		Snaga [kW]	
			900	
Brzina [m/s]	Snaga [kW]	Weibull [%]	Vrijeme	Energija [MWh]
0	0	0.7%	59.0	0.000
1	0	6.5%	566.0	0.000
2	0	13.1%	1144.4	0.000
3	12.0	17.3%	1515.4	18.184
4	39.0	18.1%	1589.5	61.990
5	78.0	16.0%	1589.5	109.072
6	138.0	12.1%	1042.1	145.805
7	222.0	7.9%	1398.4	153.951
8	337.0	4.5%	1056.6	134.032
9	477.0	2.3%	693.5	95.364
10	605.0	1.0%	397.7	53.369
11	733.0	0.4%	199.9	25.058
12	827.0	0.1%	88.2	9.623
13	884.0	0,00%	34.2	3.074
14	900.0	0,00%	11	0.821
15	900.0	0,00%	3	0.189
16	900.0	0,00%	0.9	0.038
17	900.0	0,00%	0.2	0.007
18	900.0	0,00%	0	0.001
19	900.0	0,00%	0	0.000
20	900.0	0,00%	0	0.000
		100,00%	8760 [h/god]	810.580

Svi modeli su tzv. direct-drive koncept koji nema prijenos (prijenos ima svoje nedostatke – to je komponenta koja se najčešće kviri i zahtijeva podmazivanje) – upravo ovakav koristi i Končar (potencijalno domaće održavanje koje je plus po pitanju kadra brzine). Enercon je njemačko



poduzeće i jedan od najvećih proizvođača, a ovi modeli kod nas konkretno se nalaze na lokaciji Krka-Skradin. Poduzeće EWT relativno je novo nizozemsko poduzeće i usmjereno je upravo na područje VA u poljima i kontinentalnom dijelu, a imaju preko 1000 postavljenih vjetroagregata.



Slika 11: Godišnja proizvodnja po mjesecima za pojedinačne modele (lijevo) i proizvodnja svih modela skaliranih na 1 MW (desno). [10]

Iz slike 11, desno, proizlazi da bi najbolja proizvodnja bila za EWT 2x250 kW kao najučinkovitije rješenje, ali cjenovno je jedan VA od EWT 500 kW isplativiji pa je on i odabran za ovaj projekt. Dakle, s obzirom na to da jedan vjetroagregat od 1 MW ostvaruje proizvodnju 970 GWh godišnje, a tvrtka troši 940 MWh godišnje, pokrio bi cjelokupnu potrošnju. Kako je već spomenuto vjetar jeste slabiji nego li na moru, ali uz određene subvencije vjetroelektrana bi bila isplativa. Na vjetroagregat EWT 1 MW, prijevoz, najam dizalice i postavljanje smatra se da će se potrošiti 74 % od ukupnog kapitala, na temelje 14,8 %, na kabele 3,7 % od ukupnog kapitala, a na trafostanicu 7,4 %.

#### **4.ZAKLJUČAK:**

S obzirom na to da budućnost Zemlje ovisi o prirodnim izvorima energije, a vjetar je svakako jedan od izvora koji je uvijek raspoloživ s obzirom na to ne začuđuje činjenica da se sve više koristi u proizvodnji električne energije. Vjetroelektrane nemaju štetnih emisija te kemijski i biološki ne zagađuju okoliš, a ujedno smanjuju ovisnost o uvozu fosilnih goriva za razliku od konvencionalnih tehnologija. Kako ne bi narušile prirodnu floru i faunu potrebno je odabrati dobru lokaciju. Provodile su se različite studije da bi se pokazao utjecaj vjetroelektrana na ptice i divljač. Došlo se do zaključka da se divljač brzo privikava na turbine, a ptice se zalijeću u rotor, manje od očekivanog jer one percipiraju predmete koji se pokreću i izmiču se. S razvojem tehnologije vjetroelektrane je moguće graditi na svim područjima bez obzira na klimu, tako je i u ovom završnom radu pokazana priprema za izgradnju vjetroelektrane u Gradištu, te odabir vjetroagregata uz usporedbu par različitih modela. Uz odgovarajuća mjerenja i analize dolazi do zaključka da se vjetroelektrana na ovoj lokaciji isplati, no uz određenu subvenciju. Iako su vjetroelektrane poželjne te u usporedbi sa neobnovljivim izvorima energije ne zagađuju okoliš i nemaju štetnih utjecaja, a i pozitivno utječu na ekonomiju jer smanjuju uvoz struje iz stranih zemalja, ipak ne treba zaboraviti da ni one nisu potpuno bezazlene jer ukoliko turbini otkazu kočnice, može se slobodno vrtiti dok ne dođe do požara ili raspada. Također, zabilježeno je oko 40 smrtnih slučajeva tijekom izgradnje i održavanja vjetroelektrana. Ne treba zaboraviti ni to da vjetroelektrane nisu dio prirode, već samo objekt.

## SAŽETAK:

U ovom završnom radu obrađena je tematika vjetroelektrana. Objašnjen je pojam vjetra, energija vjetra te vjetroelektrane. Nakon definicije ruže vjetrova objašnjena je i izrada spomenute. Opisani su dijelovi vjetroelektrana, njihova podjela te njihovi prednosti i nedostaci. Također, navedene su i vjetroelektrane u Hrvatskoj te njihov rast i razvoj.

U radu je posebno obraćena pažnja na projektiranje vjetroelektrana, uzimajući u obzir sam početak tj. odabir lokacije na temelju tehničkih, ekonomskih i ekoloških ograničenja. Nakon toga detaljnije se ispituje lokacija. Anemometrom se mjeri brzina vjetra, a da mjerenja nebi odstupala potrebno ih je mjeriti najmanje 3 godine. Na temelju mjerenja brzine vjetra i smjerova na meteorološkoj postaji Gradište, preuzetih iz Hrvatskog hidrometeorološkog zavoda odabran je vjetroagregat za spomenutu lokaciju. Uz podatke potrošnje električne energije jedne lokalne tvrtke, napravljena je procjena za odabir vjetroagregata koji bi zadovoljio sve kriterije koje naručitelj (lokalna tvrtka) zahtjeva, kao što su ekonomska i tehnološka isplativost. Uz usporedbu par vjetroagregata, proizvođača Enercon i EWT zaključak je da bi potrebe naručitelja zadovoljio jedan vjetroagregat EWT 500 kW. S obzirom na prikupljene podatke mjerenja i analize pokazano je da vjetroelektrane ne moraju zaobići ni istočnu Slavoniju.

## SUMMARY:

This thesis covers the subject of wind power stations. The terms *wind*, *wind energy* and *wind power station* are elaborated. After the definition of the term *wind rose* its construction is also explicated. This thesis includes a description of wind power stations, their classification and their advantages and shortcomings as well. In addition, all wind power stations in Croatia are listed, as well as their growth and development. Special attention was given to the designing of wind power stations, taking into consideration the inception of the project, or rather, the location choice based on technical, economical, and ecological restrictions. This is followed by a more detailed location inspection. The wind velocity is measured by an anemometer, and to avoid deviations in measurements it is necessary to measure velocities for a period of at least 3 years. Based on wind velocity and direction measurements taken at the weather station Gradište, and taken from the Croatian Meteorological and Hydrological Service, a wind turbine was selected for the aforementioned location. Along with the data on electrical energy consumption of a local

company, an estimate was drawn up for the selection of a wind turbine to satisfy all the criteria demanded by the client (local company), such as economic and technological effectiveness. By comparing a pair of wind turbines, manufactured by Enercon and EWT it was concluded that the needs of the client would be satisfied by a wind turbine of 500kW. Considering all data collected by measurements and analysis, it was demonstrated that there is no reason to bypass wind power station construction in Eastern Slavonija.

## Literatura:

- [1] Damir Šljivac, Zdenko Šimić: „Osnove energetike i ekologije“, „Dopunski izvori energije“, predavanja, ETF Osijek, 2004. – 2007. godine
- [2] Božidar Udovičić: Energetika, Školska knjiga, Zagreb, 1993.
- [3] Lajos Jozsa: Energetski procesi i elektrane, udžbenik ETF Osijek, 2006. godine
- [4] Skalicki B., Grilec J.: „Električni strojevi i pogoni“, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2005.
- [5] L. Jerkić "Moderni vjetroagregati i pretvorba energije"
- [6] " Energija vjetra u energetici; Edo Jerkić"  
<http://www.vjetroelektrane.com/> (18.08.2019.)
- [7] Bajić A. i dr., 1997. Meteorološka podloga za proračun moguće proizvodnje energije vjetra na odabranim makrolokacijama u RH, DHMZ
- [8] "Vjetroelektrane u Hrvatskoj"  
[https://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroelektrane\\_u\\_Hrvatskoj](https://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroelektrane_u_Hrvatskoj) (23.09.2019.)
- [9] Analiza vjetra i trajanje sijanja Sunca na meteorološkoj postaji Gradište
- [10] "Wind turbines" <https://ewtdirectwind.com/turbines/> (20.08.2019.)

## **ŽIVOTOPIS**

Mia Kalaica rođena je 23.10.1992. u Vinkovcima, s prebivalištem u Jarmini. Školovanje započinje u osnovnoj školi Matija Gubec Jarmina. Srednju školu pohađala je u Vinkovcima, Gimnazija Matija Antun Reljković, smjer prirodoslovno-matematički. Nakon završetka srednje škole, upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija.