

# Problematika izgradnje vjetroelektrane

---

Maleš, Jakov

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:759873>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-25**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

**Završni rad br. 452/ET/2020**

## **Problematika izgradnje vjetroelektrane**

**Jakov Maleš, 5572/601**

Varaždin, siječanj 2020. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za elektrotehniku

Završni rad br. 452/ET/2020

## Problematika izgradnje vjetroelektrane

**Student**

Jakov Maleš, 5572/601

**Mentor**

doc. dr. sc. Dunja Srpak, dipl.ing.el.

Varaždin, siječanj 2020. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za elektrotehniku		
STUDIJ	preddiplomski stručni studij Elektrotehnika		
PRISTUPNIK	Jakov Maleš	MATIČNI BROJ	5572/601
DATUM	14.01.2020	KOLEGIJ	Uređaji energetske elektronike
NASLOV RADA	Problematika izgradnje vjetroelektrane		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Problems of wind farm construction		
MENTOR	doc.dr.sc. Dunja Srpak	ZVANJE	docent
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. mr. sc. Ivan Šumiga, dipl.ing.el., viši predavač		
	2. Izv. prof. dr. sc. Srđan Skok, dipl.ing.el.,		
	3. doc. dr. sc. Dunja Srpak, dipl.ing.el.,		
	4. doc. dr. sc. Ladislav Havaš, dipl.ing.el., - rezervni član		
	5. _____		

## Zadatak završnog rada

BROJ 452/EL/2020

OPIS

U završnom radu je potrebno istražiti, a zatim opisati Problematiku povezanu sa izgradnjom vjetroelektrana, posebno u Hrvatskoj. Osim toga je potrebno posebno objasniti specifičnosti povezane s određenim tipovima vjetroelektrana i na jednom primjeru pokazati tijek cijelog projekta izgradnje.

U radu je potrebno:

- Istražiti i objasniti zakonsku regulativu povezanu sa izgradnjom vjetroelektrana,
- Detaljno opisati različite tipove vjetroelektrana,
- Na jednom konkretnom primjeru prikazati cijeli tijek realizacije projekta odabira i realizacije izgradnje,
- Opisati i komentirati mogućnosti unaprjeđenja postupka.

ZADATAK URUČEN

17.01.2020.



*[Handwritten signature]*

## SAŽETAK

Danas sve više raste potrošnja energenata. Takve okolnosti dovele su do pitanja racionalizacije u korištenju energenata. Navedena racionalizacija odnosi se i na korištenje energenata iz neobnovljivih izvora energije. Naime, masovno iskorištavanje energije iz neobnovljivih izvora energije dovelo je do njihovog deficita. Stoga su se međunarodne institucije i Europska unija sve više usredotočili na obnovljive izvore energije. Obnovljivi izvori energije su prepoznati kao jedan od vrijednih resursa koji može uvelike smanjiti naglasak na neobnovljivim izvorima energije. Vjetar je jedan od resursa koji je prepoznat kao dobar energetski potencijal. Međutim, gradnja vjetroelektrane je složen i zahtjevan proces koji uključuje aktivnosti prije gradnje, tijekom gradnje i nakon gradnje. Navedeno područje u Hrvatskoj je zakonski regulirano te se u obzir trebaju uzeti podaci o stanju vjetra, utjecaju na okoliš, isplativosti građenja i mogućim prinosima. Stoga se upravo gradnji vjetroelektrane treba pristupiti planski i na temelju konkretnih mjerenja i analiza.

**Ključne riječi:** proces izgradnje, zakonska regulativa, obnovljivi izvori energije, vjetar, vjetroelektrana

## **POPIS KORIŠTENIH KRATICA**

HAWT - Horizontal Axis Wind Turbine

MINGO – Ministarstvo gospodarstva

PEO – Zahtjev za prethodno energetska odobrenje

VAWT - Vertical Axis Wind Turbine

ZPUG - Zakonom o prostornom uređenju i gradnji

# SADRŽAJ

## SADRŽAJ

<u>1. UVOD</u> .....	1
<u>2. ZAKONSKA REGULATIVA</u> .....	4
2.1. <u>Uvjeti za izgradnju vjetroelektrane</u> .....	4
2.2. <u>Ishođenje dozvole</u> .....	7
2.3. <u>Energetsko odobrenje za izgradnju postrojenja</u> .....	11
<u>3. ENERGIJA VJETRA I VJETROELEKTRANE</u> .....	15
3.1. <u>Energija vjetra</u> .....	17
3.2. <u>Vjetroelektrana</u> .....	22
<u>4. RAZVOJ I IZGRADNJA PROJEKTA</u> .....	33
<u>5. ZAKLJUČAK</u> .....	39
<u>LITERATURA</u> .....	41
<u>POPIS SLIKA</u> .....	44





# 1. UVOD

Suvremeni elektroenergetski sustavi najviše su se razvijali tijekom posljednjih pedeset godina. Pritom je ideja vodilja podrazumijevala velike središnje generatore preko transformatora koji injektiraju električnu snagu u visokonaponsku prijenosnu mrežu. Zatim je prijenosni sustav korišten za transport snage što je često podrazumijevalo i velike udaljenosti. Na kraju snaga je iz prijenosnog sustava preko serije distribucijskih transformatora usmjeravana kroz srednjenaponsku i niskonaponsku distribucijsku mrežu prema potrošačima na nižem naponu.

Iz godine u godinu sve se više ulaže u obnovljive izvore energije jer polako shvaćamo da upravo oni postaju osnovni energenti budućnosti, ne kao alternativa neobnovljivima, prije svega nafti, već kao jedina realna opcija. S druge strane, korištenje fosilnih goriva ekološki je gotovo neprihvatljivo budući da se njihovim izgaranjem emitiraju plinovi koji ne samo da onečišćuju atmosferu već ju i zagađuju te pridonose globalnom zagrijavanju. Upravo to su glavni razlozi za prihvaćanje korištenja obnovljivih izvora koji su ekološki prihvatljiviji i dostupniji, ali su ekonomski skuplji. Obnovljivi izvori energije su nepotrošivi te su samim time pogodniji za upotrebu. Primjer njih je energija vode, vjetra, Sunca, biomase, valova, plime i oseke. Problem je u visokoj cijeni izgradnje moderne infrastrukture koja je potrebna za iskorištavanje tih izvora energije, pogotovo za siromašnije zemlje koje će u tom slučaju i dalje ostati vjerne neobnovljivim izvorima energije.

Razvoj obnovljivih izvora energije veoma je bitan zbog nekoliko razloga. Upotreba obnovljivih izvora energije smanjuje emisiju stakleničkih plinova u atmosferu, za razliku od neobnovljivih izvora energije koji se smatraju najvećim zagađivačima. Povećanje udjela obnovljivih izvora energije također pomaže u poboljšanju sigurnosti dostave energije na način da smanjuje ovisnost o uvozu energetske sirovine i električne energije. U budućnosti se smatra da će obnovljivi izvori energije postati ekonomski konkurentni konvencionalnim izvorima energije. [21]

Korištenje energije vjetra putem vjetroparkova treba se paziti na nekoliko čimbenika, a to je buka, učinak na prirodu te vizualni učinak. Često se događa da stanovnici prosvjeduju protiv gradnje vjetroparkova u blizini njihove kuće, no za to nema potrebe.

Ako se vjetroelektrana ne smjesti na dovoljnu udaljenost od naseljenih područja emisija buke za vrijeme pogona vjetroelektrane može predstavljati smetnju lokalnom stanovništvu. Parametri koji bitno utječu na njeno širenje su visina izvora, topografija, koeficijent apsorpcije zvuka tla i okolne vegetacije, meteorološke prilike te, naravno, intenzitet i spektralni sastav zvučnog izvora. Na percepciju buke iz vjetroturbin bitno utječe pozadinska buka (svi zvukovi koji ne

potječu od rada elektrane) kroz maskiranje buke iz vjetroturbine pri čemu umanjuje njezinu zamjetljivost. Najveća razlika između buke iz vjetroturbine i pozadinske buke uočava se kod malih brzina vjetra. Pažljivim odabirom mikrolokacije, ispravnim dizajnom vjetroturbine te redovitim i kvalitetnim održavanjem negativni aspekti buke mogu se bitno reducirati.

Međutim, u novije vrijeme se pojavilo veliko zanimanje za priključenjem proizvodnih objekata na distribucijsku mrežu. Navedena namjera je poznata kao distribuirana proizvodnja električne energije (engl. distributed or dispersed or embedded generation). Konvencionalni ustroj suvremenih elektroenergetskih sustava ima brojne prednosti. Velike proizvodne jedinice mogu biti učinkovitije te su u pogonu s relativno manjim brojem pogonskog osoblja. Povezane visokonaponske prijenosne mreže omogućuju minimiziranje zahtjeva za snagom pričuve generatora. Veliki iznosi snage mogu se prenijeti na velikim udaljenostima uz ograničene gubitke. U tom se slučaju distribucijske mreže mogu projektirati za jednosmjerne tokove snaga i dimenzionirati samo za potrebe potrošačkih opterećenja.

U novije vrijeme pojavilo se više utjecaja čije je kombiniranje dovelo do povećanog zanimanja za distribuiranu proizvodnju iz obnovljivih izvora energije (smanjenje emisije CO<sub>2</sub>, programi energetske učinkovitosti ili racionalnog korištenja energije, deregulacija i natjecanje, diversifikacija energetske izvora, zahtjevi za samo održivošću nacionalnih energetske sustava i dr.). Utjecaj na okoliš je jedan od značajnih čimbenika u razmatranju priključenja novih proizvodnih objekata na mrežu. [1]

Zakon o energiji [2] obnovljive izvore energije definira kao izvore energije koji su sačuvani u prirodi i obnavljaju se u cijelosti ili djelomično. To se ponajviše odnosi na energiju vodotoka, vjetra, neakumuliranu sunčevu energiju, biodizel, biomasu, bioplin, geotermalnu energiju i dr. U obnovljive izvore energije ubrajaju se:

- Kinetička energija vjetra (energija vjetra)
- Sunčeva energija
- Biomasa
- Toplinska energija Zemljine unutrašnjosti i vrući izvori (geotermalna energija)
- Potencijalna energija vodotoka (vodene snage)
- Potencijalna energija plime i oseke i morskih valova

- Toplinska energija mora.

Obnovljivi izvori energije ne zagađuju okoliš u tolikoj mjeri kao fosilna goriva. No, uz korištenje obnovljivih izvora energije, izuzev energije vode, vezan je problem ekonomske isplativosti (trenutno niska tehnološka razvijenost) i male količine dobivene energije [3].

## **2. ZAKONSKA REGULATIVA**

Ciljevi koji se odnose na obnovljive izvore energije u Hrvatskoj su tek zaživjeli donošenjem podzakonskih akata donesen iz 2007. Navedena se godina smatra početkom razvoja investicija u obnovljive izvore energije, uključujući i vjetroelektrane koje su se vrlo brzo pokazale kao najatraktivniji oblik korištenja obnovljivih izvora energije. U to je vrijeme formiran konkretan i primjenjiv sustav proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora.

Za izgradnju vjetroelektrane, kako bi se zadovoljili zakonski uvjeti potrebno je dobiti dvije dozvole:

- građevinsku i
- lokacijsku.

Dvama pravilnicima postavljena je zakonsko-administrativna struktura svim potencijalnim ulagačima i povlaštenim proizvođačima električne energije. Iako je postupak ishoda brojnih dozvola i sklapanja reguliranih ugovora s različitim energetske subjektima od početka bio vrlo složen, navedeno nije odvratilo potencijalne proizvođače od ulaganja u obnovljive izvore energije [4].

Na izgradnju vjetroelektrane koja se smatra građevinom primjenjuju se propisi iz područja prostornog uređenja i gradnje. Nositelji projekata vjetroelektrane obvezni su izraditi detaljne procjene utjecaja na okoliš pa se, posebice u početnoj fazi projekta, primjenjuju propisi iz područja zaštite okoliša. Na pitanje stjecanja prava na zemljištima na kojima se grade vjetroelektrane potrebno je primijeniti opće propise o zasnivanju prava služnosti ili prava građenja na zemljištu u vlasništvu privatnih osoba dok se posebni propisi primjenjuju kod zasnivanja služnosti ili prava građenja na državnom zemljištu [4].

### **2.1. Uvjeti za izgradnju vjetroelektrane**

Preliminarno određivanje potencijalne lokacije radi se na bazi atlasa vjetra, nacionalnog, regionalnog i lokalnog te s najvećom prosječnom brzinom vjetra. Za izradu atlasa vjetra koriste se različiti softveri. Iterativnim postupkom se od nekoliko lokacija bira jedna. Slijedi preliminarna procjena godišnje proizvodnje, a koja se radi na temelju prikupljenih podataka. Potom se radi preliminarna analiza isplativosti. Ako su rezultati zadovoljavajući, donosi se odluka o postavljanju mjernih stupova te započinju mjerenja vjetroenergije na odabranoj lokaciji [5].

Prema propisanoj proceduri podnosi se zahtjev za prethodno energetska odobrenje (PEO) za izgradnju postrojenja, zatim, upis u registar projekata i postrojenja za korištenje obnovljivih izvora energije i kogeneracije te povlaštenih proizvođača. Pravilnikom o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije [6] je propisano koji se dokumenti prilažu uz zahtjev za PEO, kao i razmjer mapa koje se prilažu traženim zahtjevima. Time se dobiva pravo za postavljanje mjernih stupova i uređaja imovinsko-pravnih odnosa ako se radi o zemljištu u vlasništvu Republike Hrvatske.

Zahtjev za izdavanje lokacijske dozvole treba se predati u roku od 36 mjeseci od dobivanja PEO dok mjerenje treba započeti u roku od šest mjeseci. Nakon dobivanja PEO i postavljanja mjernih supova započinje se s mjerenjem koje mora trajati najmanje godinu dana kako bi se dobili reprezentativni podaci. Prikupljeni podaci se statistički obrađuju, a potom je potrebno napraviti korelaciju tih podataka s podacima iz referentne meteorološke postaje da bi se napravila procjena dugoročnog režima vjetra na poziciji mjernog stupa. Treba naglasiti da se u fazi mjerenja najčešće događaju najveće pogreške, a to je vrlo često posljedica neadekvatne i nekalibrirane opreme.

S dugoročnom procjenom režima vjetra i digitalno topografskom mapom terena na lokaciji pristupa se izradi mapa vjetropotencijala. Najčešće se to radi iterativno jer se model strujanja vjetra često mora više puta korigirati. Nakon što se dobiju mape vjetropotencijala određuje se veličina, tip i broj vjetroagregata te se radi optimizacija njihovog položaja na lokaciji. Također, uračunavaju se gubici zbog efekata terena kao i zbog međusobne zaklonjenosti samih agregata. To se, također, najčešće radi iterativno u jednom od softvera za projektiranje i optimizaciju vjetroelektrana.

S izračunatim optimalnim položajem vjetroagregata procjenjuje se godišnja proizvodnja vjetroelektrane. Osim toga, treba napraviti i analizu nesigurnosti procijenjene godišnje proizvodnje. Nakon dobivene procjene godišnje proizvodnje pristupa se pregovorima s dobavljačem vjetroagregata te se kreće s izradom idejnog projekta koji se uz ostalu dokumentaciju (Studija utjecaja na okoliš za vjetroelektranu, prometnice, radni platoi, kabeli) prilaže zahtjevu za izdavanje lokacijske dozvole [5].

Prije nego što se krene s izradom glavnog projekta treba imati lokacijsku dozvolu. U postupku dobivanja lokacijske dozvole treba izraditi stručne podloge te treba prikupiti sve potrebne zahtjeve, potvrde i mišljenja nadležnih tijela i pravnih osoba. Treba napraviti valorizaciju zatečenog stanja na lokaciji i treba napraviti slijedeće studije:

- Studiju o utjecaju na okoliš za vjetroelektranu

- Studiju o utjecaju vjetroelektrane na ornitofaunu
- Konzervatorsku studiju utjecaja na kulturno-povijesnu baštinu za područje izgradnje vjetroelektrane.

Dijelovi glavnog projekta su [5]:

- Opći dio, s potrebnim mapama i uvjetima gradnje iz lokacijske dozvole
- Toranj vjetrogeneratora s temeljem
- Kućište vjetrogeneratora s potrebnom opremom i gromobranskom zaštitom
- Servisni putovi i površine
- Situacija građevine.

U slučaju kada dokumentaciju tornja, kućišta i opreme vjetrogeneratora s temeljem isporučuje inozemni dobavljač nužno je izvršiti nostrifikaciju projekta. Ovlaštene institucija utvrđuje da je projekt u skladu s tehničkim propisima i normama navedenim u:

- Izvješću o nostrifikaciji građevinskog dijela projekta
- Izvješću o nostrifikaciji elektro i strojarskog dijela projekta
- Zakonu o prostornom uređenju i gradnji
- Zakonu o zaštiti na radu
- Zakonu o zaštiti od požara
- Pravilniku o nostrifikaciji projekta.

U građevinskom dijelu dokumentacije nostrificiraju su sljedeći dokumenti [5]:

- tehnički opis konstrukcije,
- tehnički uvjeti izvedbe,
- provjera mehaničke otpornosti i stabilnosti,
- troškovnik
- program kontrole i osiguranja kvalitete

- revizija.

U sklopu projekta izrađuju se [5]:

- Geotehnički elaborat
- Elaborat o zaštiti od buke,
- Elaborat zaštite na radu,
- Elaborat zaštite od požara,
- Program kontrole i osiguranja kvalitete.

Korištenje energije vjetra danas je najbrže rastući sektor energetike u Europi i svijetu. Stopa porasta u Europi zadnjih godina iznosi između 35 % i 40 %, dok je u svjetskim razmjerima oko 30 %. Razvoj u Europi prije svega je ekološki i društveno socijalno induciran, ali eksportne mogućnosti u zemlje trećeg svijeta predstavljaju dodatni stimulans.

Ukupan svjetski kapacitet proizvodnje opreme za korištenje energije vjetra je krajem 2000. godine bio oko 3500 MW/god. Suradnja s poznatim proizvođačima opreme i postepeno usvajanje proizvodnog programa realna je šansa Hrvatske u području obnovljivih izvora. Malo je svjetskih proizvođača, čak i među velikim renomiranim tvrtkama, koje u cijelosti proizvode vlastitu vjetroturbinu. [14]

Ova praksa omogućava maksimalnu kvalitetu, ali i uključivanje novih proizvođača na tržište. S obzirom na postojeće stručno iskustvo (brodogradnja, elektroindustrija, strojarska oprema).

## **2.2. Ishođenje dozvole**

Ishođenje lokacijske dozvole i/ili prethodne elektroenergetske suglasnosti i/ili sklapanje ugovora o priključenju na elektroenergetsku mrežu zahtjeva poduzimanje konkretnih, odnosno propisanih koraka. Riječ je o skupini aktivnosti koje se odvijaju nastavno jedna na drugu, no navedeno se svrstava u jednu cjelinu koja se odvija u četvrtoj fazi procesa.



Pravilnikom o jednostavnim građevinama i radovima [7] određene su građevine i radovi čijem se građenju može pristupiti bez rješenja o uvjetima građenja, potvrđenog glavnog projekta i građevinske dozvole i za koje se ne izdaje lokacijska dozvola. Bez akta kojim se odobrava građenje može se pristupiti građenju:

- Solarnog kolektora
- Priključka kojim se postojeća građevina priključuje na infrastrukturne instalacije (nisko naponsku električnu mrežu)
- Privremene građevine namijenjene za istražna mjerenja na temelju odluke tijela nadležnog za ta mjerenja, a koje se grade prema tipskom projektu za kojeg je izdano rješenje te pod uvjetom najdužeg roka uporabe od tri godine
- Radova na postojećoj građevini kojima se ne mijenja usklađenost građevine s lokacijskim uvjetima, sukladno kojima je izgrađena niti se utječe na ispunjavanje bitnih uvjeta.

Za postrojenja određena Pravilnikom OIEK izdaje se lokacijska dozvola u svakom slučaju te potvrda glavnog projekta ili građevinska dozvola ako je riječ o elektrani instalirane snage 20 MW i veće. Nakon što su postrojenja dovršena, potrebno je ishoditi uporabnu dozvolu. Iznimka su postrojenja koja su ugrađena u građevine druge namjene koja u tim građevinama imaju energetska uloga za tu građevinu. U takvim slučajevima postrojenje se rješava u okviru pravila koja se primjenjuju na cjelokupnu građevinu čiji su sastavni dio:

- Ako je postrojenje sastavni dio zgrade koja ima građevinu (bruto) površinu manju ili jednaku 400 m<sup>2</sup> izdaje se za građenje rješenje o uvjetima građenja, a za uporabu dostavlja investitor nadležnom upravnom tijelu završno izvješće nadzornog inženjera
- Ako je postrojenje sastavio dio zgrade koja ima građevinsku (bruto) površinu veću od 400 m<sup>2</sup>, izdaje se za građenje potvrda glavnog projekta, a za uporabu uporabna dozvola
- Ako je postrojenje sastavni dio građevine za koju lokacijsku i građevinsku dozvolu izdaje MZOPUG, izdaje se građevinska dozvola, a za uporabu uporabna dozvola.

Svaki zahtjev u prostoru treba provoditi u skladu s dokumentima prostornog uređenja, posebnim propisima i lokacijskom dozvolom ako Zakonom o prostornom uređenju i gradnji (ZPUG) nije drugačije određeno. Za lokacijsku dozvolu se može reći da je to upravni akt koji se izdaje na temelju ZPUG-a i propisa donesenih na temelju tog zakona te sukladno s dokumentima prostornog uređenja i posebnim propisima.

Lokacijsku dozvolu izdaje nadležno upravno tijelo. U lokacijskoj dozvoli, ovisno o vrsti zahvata u prostoru, određuju se:

- Oblik i veličina građevne čestice, odnosno obuhvat zahvata u prostoru prikazani na odgovarajućoj posebno geodetskoj podlozi
- Namjena, veličina i građevinska (bruto) površina građevine s brojem funkcionalnih jedinica
- Smještaj jedne ili više građevina na građevnoj čestici, odnosno unutar obuhvata zahvata u prostoru prikazan na odgovarajućoj posebnoj geodetskoj podlozi
- Uvjeti za oblikovanje građevine
- Uvjeti za nesmetani pristup, kretanje, boravak i rad osoba smanjene pokretljivosti
- Uvjeti za uređenje građevne čestice, osobito zelenih i parkirališnih površina
- Način i uvjeti priključenja građevne čestice, odnosno građevine na prometnu površinu, komunalnu i drugu infrastrukturu
- Mjere zaštite okoliša, odnosno uvjeti zaštite prirode utvrđeni procjenom utjecaja na okoliš, odnosno ocjenom prihvatljivosti zahvata za prirodu i dokumentacijom prema posebnim propisima, odnosno način sprječavanja nepovoljan utjecaja na okoliš
- Posebni uvjeti tijela i osoba određenih prema posebnim uvjetima
- Ostali uvjeti iz dokumenta prostornog uređenja od utjecaja na zahvat u prostoru
- Uvjeti važni za provedbu zahvata u prostoru

- Uvjeti za građenje privremene građevine u funkciji organizacije gradilišta i rok za uklanjanje te građevine nakon provedbe zahvata u prostoru za koji se izdaje lokacijska dozvola.

Sastavni dio lokacijske dozvole su idejni projekti izrađeni u skladu s prostornim planom na temelju kojeg se navedena dozvola izdaje. Zahtjevu za izdavanje lokacijske dozvole prilaže se [8]:

- Izvod iz katastarskog plana, odnosno njegova preslika
- Tri primjerka idejnoj projekta čija je situacija prikazana na odgovarajućoj posebnoj geodetskoj podlozi
- Izjavu projektanta da je idejni projekt izrađen u skladu s dokumentom prostornog uređenja na temelju kojeg se izdaje lokacijska dozvola
- Pisano izvješće i potvrdu o nostrifikaciji idejnog projekta ako je projekt izrađen prema stranim propisima
- Dokaz o pravnom interesu podnositelja zahtjeva za izdavanje lokacijske dozvole.

Idejni projekt u skladu s kojim se izdaje rješenje o uvjetima građenja ili je sastavni dio lokacijske dozvole u skladu s kojom se izdaje potvrda glavnog projekta. To je skup međusobno usklađenih nacрта i dokumenata kojima se daju osnovna oblikovno-funkcionalna i tehnička rješenja građevine te smještaj građevine na građevinskoj čestici na odgovarajućoj posebnoj geodetskoj podlozi [8].

Idejni projekt koji je sastavni dio lokacijske dozvole u skladu s kojom se izdaje građevinska dozvola, osim navedenog, sadrži i idejno-tehničko-tehnološko rješenje u skladu s objedinjenim uvjetima zaštite okoliša te druge nacрте i dokumente ako su oni značajni za izradu glavnog projekta. Idejni projekt zajedno s lokacijskom dozvolom ili rješenjem o uvjetima građenja dužan je investitor, odnosno njegov pravni sljednik trajno čuvati [8].

Korištenje energije vjetra putem vjetroparkova treba se paziti na nekoliko čimbenika, a to je buka, učinak na prirodu te vizualni učinak. Često se događa da stanovnici prosvjeduju protiv gradnje vjetroparkova u blizini njihove kuće, no za to nema potrebe.

Ako se vjetroelektrana smjesti na dovoljnu udaljenost od naseljenih područja emisija buke za vrijeme pogona vjetroelektrane može predstavljati smetnju lokalnom stanovništvu.

Parametri koji bitno utječu na njeno širenje su visina izvora, topografija, koeficijent apsorpcije zvuka tla i okolne vegetacije, meteorološke prilike te, naravno, intezitet i spektralni sastav zvučnog izvora. Na percepciju buke iz vjetroturbine bitno utječe pozadinska buka (svi zvukovi koji ne potječu od rada elektrane) kroz maskiranje buke iz vjetroturbine pri čemu umanjuje njezinu zamjetljivost. Najveća razlika između buke iz vjetroturbine i pozadinske buke uočava se kod malih brzina vjetra. Pažljivim odabirom mikrolokacije, ispravnim dizajnom vjetroturbine te redovitim i kvalitetnim održavanjem negativni aspekti buke mogu se bitno reducirati. [12]

Kada dolazi do izrade potrebne dokumentacije i prostornog planiranja uvijek se treba paziti da se ono ne kosi s područjem u kojem se projekt gradi, pa tako i vjetroelektrane koje znaju izazvati bezrazložnu buku među ljudima.

Svaki gospodarski zahvat, pored očekivanih koristi zbog kojih se poduzima, unosi poremećaj u okoliš. Mijenjajući ga više ili manje, posebno u smislu utjecaja na tlo, vodu, floru i faunu, a doseg tih utjecaja može bit lokalni, regionalni, pa čak i u nekim rijetkim i ekstremnim slučajevima i globalni. U području energetike, troškovi čije porijeklo leži u procesima transformacije energije, a nametnuti su okolišu ili široj zajednici tradicionalno se nisu uračunavali u proizvodne troškove pridobivanja korisnih oblika energije. U slučaju vjetroelektrana glavni utjecaj na okoliš koje je potrebno detaljno razmotriti su emisija buke, vizualno uklapanje u okoliš i utjecaj na ornitofaunu te ponegdje utjecaj na prijem elektromagnetskih signala. Prema zakonu Republike Hrvatske vjetroelektrane su izuzete plaćanja naknade za korištenje prostora.

### **2.3. Energetsko odobrenje za izgradnju postrojenja**

Za izgradnju postrojenja koje koristi obnovljive izvore energije i visokoučinkovitu kogeneraciju mora se ishoditi energetsko odobrenje koje izdaje Ministarstvo gospodarstva

(MINGO) na zahtjev ovlaštene fizičke ili pravne osobe. Nositelj projekta koji u roku važenja prethodnog odobrenja nije podnio zahtjev za izdavanje odobrenja gubi prava stečena prethodnim odobrenjem te se briše iz Registra OEKPP, a što je definirano Pravilnikom o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije [6].

Za izdavanje odobrenja podnositelj zahtjeva mora priložiti:

- Izvadak iz katastarskog plana za katastarsku česticu na kojoj namjerava izgraditi postrojenje
- Izvadak iz sudskog registra, odnosno za fizičku osobu izvadak iz obrtnog registra u Republici Hrvatskoj ili potvrdu o prebivalištu u Republici Hrvatskoj
- Potvrdu porezne uprave o plaćanju svih dospjelih poreznih obveza i obveza za mirovinsko i zdravstveno osiguranje i druga javna davanja
- Ovjerovljenu izjavu o nekažnjavanju pravne osobe i fizičke osobe u svezi sa sudjelovanjem u kriminalnoj organizaciji, korupciji, prijeviri ili pranju novca, koju daje fizička osoba za sebe i/ili kao odgovorna osoba podnositelja zahtjeva.
- Analizu opravdanosti izgradnje postrojenja i priključaka na elektroenergetsku mrežu s tehnoekonomskim podacima i podacima prostornog uređenja
- Lokacijsku dozvolu, kada je za postrojenje propisana obveza ishođenja lokacijske dozvole.

Za postrojenja vjetroelektrane zahtjevu za izdavanje odobrenja prilaže se i grafički prilog u mjerilu 1:25000 u kojem je nositelj projekta definirao uži i širi prostor vjetropostrojenja prema odredbama Pravilnika. Prostorni podaci koje prilaže podnositelj zahtjeva moraju biti ucrtani na topografsku kartu mjerila 1:25000. Prostor od interesa za gradnju postrojenja za proizvodnju energije mora biti definiran geodetskim točkama, a pozicija točke određena je nizom točke, x koordinatom (u smjeru sjevera) i y koordinatom (u smjeru istoka) te neobavezno koordinatom z (nadmorskom visinom) [8].

Suvremene vjetroturbine su proizvodne jedinice velikih dimenzija koje se radi ekonomskih razloga instaliraju na vjetru izloženim mjestima, često na uzvišenjima, hrptima, vrhovima gorja, platoima, zaravnima i drugim, pogledu otvorenim mjestima. Vizualni dojam vjetroelektrana izaziva reakcije promatrača koje imaju izrazito subjektivan karakter. Čini se da vizualna prihvatljivost vjetroelektrane u velikoj mjeri ovisi o „vizualnoj naviknutosti“ promatrača, ali o

odnosu promatrača prema vjetrotehnologiji uopće, u smislu da prepoznavanje drugih ekoloških dobiti koje sa sobom nosi korištenje energije vjetra stvara pozitivniji stav i prema vizualnom izgledu vjetroelektrana. Ipak postoji cijeli niz elemenata koji objektivno utječu na vizualni dojam i koje je pri planiranju potrebno uzeti u obzir.

Najvažniji i najveći problem gradnje vjetroelektrana su uvijek administracija, no naputcima iz Europske unije reguliran je i taj odnos te se projekti koji imaju nacionalnu važnost, a u ovom slučaju vjetroelektrane zapravo stavljaju u prednost pred drugima.

Pojavom poduzetničkog interesa za ulaganja u izgradnju vjetroelektrana pojavljuje se potreba njihova sagledavanja u prostoru, pa je kao i za ostale zahvate, tako i za izgradnju vjetroelektrane potrebno predvidjeti osnovu u prostornim planovima općina, gradova te županija. U prostorno – planskom smislu bitno je naglasiti da su vjetroelektrane lako uklonjivi objekti koje se bez poteškoća kombiniraju s drugim gospodarskim, poglavito poljoprivrednim sadržajima prostora [13].

Potencijalne lokacije nisu bile predmet razmatranja prostornih planera do izrade najnovije generacije prostornih planova radi nepostojanja sustavnih istraživanja vjetropotencijala. Planiranje vjetroelektrana i njihova integracija u prostorne planove je kontinuirani proces koji ide paralelno s istraživanjima potencijalnih lokacija i razvojem konkretnih projekata. Energetski uvjeti bitno utječu na raspoloženje potencijalnih investitora jer su u direktnoj vezi sa ekonomskom isplativošću projekta, koja, međutim, ovisi i o nizu parametara, pa energetski potencijal i ne mora igrati presudnu ulogu u postupku izrade prostornog plana.

Budućnost obnovljive energije - vjetroenergije - u Hrvatskoj, jednako kao u svijetu, zajamčena je potrebom država za održivim razvojem, zaštitom okoliša i energetskom učinkovitošću. Iskorištavanje vjetra putem vjetrenjača je jedan od popularnijih načina iskorištavanja zemljine energije, koja se putem vjetra i njegove kinetičke energije, uz pomoć turbine, pretvara u električnu energiju i na taj način predstavlja još jedan alternativni i obnovljivi izvor energije [22].

Vjetar je u stvari indirektan oblik solarne energije jer do pojave vjetra dolazi zbog razlike u temperaturama između jače zagrijanih dijelova na Zemlji (ekvator) i slabije zagrijanih dijelova (polovi). Temperaturna razlika stvara razliku u tlakovima što uzrokuje pomicanje zračnih masa. Topli zrak zagrijan oko ekvatora diže se u visinu sve do oko 10 km, a istovremeno putuje prema polovima. Kada zemlja ne bi rotirala topao zrak bi jednostavno samo došao do polova, ohladio se,

potonuo i krenuo nazad prema ekvatoru. Budući da zemlja rotira na vjetar utječe i Coriolisova sila. Naravno i mikroklima ima svoj utjecaj, posebice u područjima uz more.

### 3. ENERGIJA VJETRA I VJETROELEKTRANE

Energija vjetra iznimno je vrijedan potencijal koji se u potpunosti može iskoristiti kao obnovljivi izvor energije. Vjetar je masa zraka u pokretu koja nastaje zbog razlike tlakova na površini zemlje kao posljedica različitog zagrijavanja pod utjecajem sunčeve energije. Na tako nastalu masu zraka u pokretu uvelike utječu rotacija Zemlje (obodna brzina 600 km/h na ekvatoru i 0 na polovima) i konfiguracija tla. Zrak se giba iz područja visokog tlaka u područje niskog tlaka, a vertikalni gradijent tlaka uglavnom se poništava s gravitacijskom silom pa se zrak giba horizontalni.

Energija vjetra je transformirani oblik sunčeve energije. Sunce neravnomjerno zagrijava različite dijelove Zemlje i to rezultira različitim tlakovima zraka, a vjetar nastaje zbog težnje za izjednačavanjem tlakova zraka. Postoje dijelovi Zemlje na kojima pušu takozvani stalni (planetarni) vjetrovi i na tim područjima je iskorištavanje energije vjetra najisplativije. Dobre pozicije su obale oceana i pučina mora. Pučina se ističe kao najbolja pozicija zbog stalnosti vjetrova, ali cijene instalacije i transporta energije koče takvu eksploataciju. Kod pretvorbe kinetičke energije vjetra u mehaničku energiju (okretanje osovine generatora) iskorištava se samo razlika brzine vjetra na ulazu i na izlazu. Albert Betz, njemački fizičar dao je još davne 1919. godine zakon energije vjetra, a koji je publiciran 1926. godine u knjizi "Wind-Energie". Njime je dan kvalitativni aspekt znanja iz mogućnosti iskorištavanja energije vjetra i turbina na vjetar. Njegov zakon kaže da možemo pretvoriti manje od  $16/27$  ili 59% kinetičke energije vjetra u mehaničku energiju pomoću turbine na vjetar. 59% je teoretski maksimum, a u praksi se može pretvoriti između 35% i 45% energije vjetra [23].

Dobra strana iskorištavanja energije vjetra ističe se visoka pouzdanost rada postrojenja, nema troškova za gorivo i nema zagađivanja okoline. Loše strane su visoki troškovi izgradnje kao i promjenjivost brzine vjetra zbog koje se ne može se garantirati isporučivanje energije. Za domaćinstva interesantne su male vjetrenjače snage do nekoliko desetaka kW. Mogu se koristiti kao dodatni izvor energije ili kao primarni izvor energije u udaljenim područjima. Nužno im je dodati baterije (akumulator) u koje se energija sprema kad se generira više od potrošnje. Velike vjetrenjače često se instaliraju u park vjetrenjača i preko transformatora spajaju se na električnu mrežu. Moguća primjena je da se energija dobivena iz vjetra koristi kao sekundarni izvor energije za kućanstvo.

Energija gibanja sadržana u vjetru pretvara se u mehaničku energiju vrtnje korištenjem rotora vjetroatagregata. Mehanička energije vrtnje rotora zatim se putem pogonske osovine prenosi



na električni generator. Pomoću električnog generatora mehanička energija vrtnje pretvara se u električnu energiju. Iako današnji vjetroagregati koriste principe rada poznate od davnina i izgledaju elegantno i jednostavno, njihov zadatak je zapravo vrlo težak. Za proizvodnju električne energije iz energije vjetra koja je prikladna za svakodnevnu upotrebu potrebno je zadovoljiti standarde električne mreže (napon, harmonici, frekvencija), boriti se s promjenjivošću vjetra kao izvora energije i biti tržišno konkurentan ostalim izvorima energije. Svaki vjetroagregat zasebna je proizvodna jedinica koja nema posadu nego se njome upravlja daljinski. Isto tako uvjeti vjetra na lokacijama koje su pogodne za instalaciju vjetroagregata mogu biti izrazito promjenjivi, s izrazitim turbulencijama i udarima vjetra i do 70 m/s. Kod rada vjetroagregata ne može se kontrolirati "gorivo" pa je proizvodnja ovisna o trenutnim uvjetima vjetra na lokaciji. To znači da isporuka električne energije ovisi o vanjskim uvjetima i teško ju je prilagoditi trenutnoj potrošnji, odnosno trenutnim potrebama [12].

Svaki vjetroagregat, bez obzira o kojem se tipu radi sastoji od nekoliko osnovnih dijelova. To su prije svega rotor vjetroagregata i električni generator. Rotor i generator povezani su pogonskim vratilom, a između njih se, ovisno o izvedbi može nalaziti i prijenosni sustav, multiplikator.

Kod vjetroagregata s direktnim pogonom nema multiplikatora, kao ni kod većine malih vjetroagregata. Kako bi se iskoristila energija vjetra, koja je veća na višim visinama, cijeli sklop zatvoren je u gondolu koja se smješta na stup određene visine. Svaki vjetroagregat također ima sustave za kontrolu, upravljanje i hlađenje.

Današnji su vjetroagregati moderni i komplicirani uređaji. Osim spomenutih sastoje još od niza sofisticiranih dijelova koji osiguravaju siguran i pouzdan rad poput sustava oležištenja, sustava za zakretanje i kočenje, elektroničkih uređaja za pretvorbu i prilagodbu električne energije i sustava za regulaciju rada vjetroagregata.

Vjetroelektrane se grade tamo gdje postoji izvor energije koji koriste, a to je vjetar. Za razliku od drugih postrojenja gradnja vjetroelektrana je vrlo brza. Za nekoliko mjeseci može se izgraditi gotovo postrojenje koje je sposobno isporučivati energiju u elektroenergetski sustav. Isto tako, nakon završenog životnog vijeka vjetroagregate je moguće vrlo brzo ukloniti s lokacije i vratiti ih u prvobitno stanje. Vjetroelektrane su energetska postrojenja koja nemaju emisije plinova i ne onečišćuju vodu i tlo. Proizvodnjom električne energije iz vjetra smanjuje se ovisnost o uvozu fosilnih goriva te povećava energetska sigurnost i stabilnost cijena električne energije.

U inženjerskom smislu razumijevanje principa nastajanja vjetra bitno je za pristup evaluaciji potencijalne lokacije vjetroelektrane, dizajn sustava i evaluaciju njegovih operativnih karakteristika [9].

### 3.1. Energija vjetra

Energija vjetra je kinetička energija ovisna o kvadratu brzine vjetra:

$$W = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

Maksimalna teorijska energija vjetra računa se kao:

$$W = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\rho Vv^2 = \frac{1}{2}\rho Av^3 = 0,625Av^3 \quad (2)$$

gdje je:

$\rho$  – gustoća zraka (približno 1,225 kg/m<sup>3</sup>);

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

v – brzina vjetra.

To ukazuje na činjenicu da maksimalna teorijska energija vjetra ovisi o brzini vjetra na treću potenciju. Ukupna kinetička energija zraka ne može se sva iskoristiti jer zrak mora dalje strujati da bi načinio mjesto onome koji dolazi. Stoga se može iskoristiti samo energija koja je proporcionalna razlici brzina vjetra na treću:

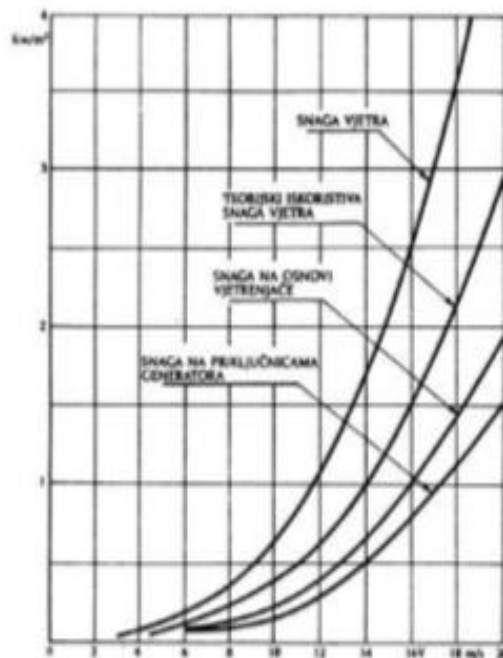
$$W = 0,625 \cdot A \cdot (v_1 - v_2)^3 \quad (3)$$

Maksimalnu snagu koju možemo dobiti pogonom pomoću vjetroturbine iz konstrukcijskih razloga iznosi 16/27, odnosno 0,59259 od teoretske maksimalne moguće snage vjetra. Uzmemo li u obzir i maksimalni stupanj djelovanja zračne turbine koji je 0.65 te stupanj djelovanja generatora 0.8, za maksimalnu energiju vjetroelektrane vrijedi:

$$W = 16/27 \cdot 0,65 \cdot 0,8 \cdot 0,625 \cdot A \cdot v^3$$

$$W = 0,193 \cdot A \cdot v^3 \quad (4)$$

Brzina vjetra je jako promjenjiva brzinu vjetra kako bi se mogle odrediti krivulje frekvencije (statistika vjetra). Navedena se brzina povećava s visinom iznad tla. Može se računati da je omjer brzina razmjernan petom korijenu iz omjera visina nad zemljom. Na Slici 3.1. prikazana je ovisnost maksimalne i teorijske iskoristive snage vjetra te one na temelju vjetroturbine i priključcima generatora u ovisnosti o brzini vjetra [10].



Slika 3.1. Ovisnost snage vjetra o brzini vjetra [10]

Graf koji pokazuje koliko će turbina proizvesti električne energije na različitim brzinama vjetra je krivulja snage. Vjetroturbine su dizajnirane tako da počnu raditi pri brzini vjetra između 3 do 5 metara po sekundi (brzina uključjenja vjetra). Turbina se programira tako da prestane raditi pri velikoj brzini vjetra, pri otprilike 25 m/s, a razlog tome je da se turbina ili okolina turbine ne ošteti. Brzina isključenja vjetra je prestanak brzine vjetra [10].



Slika 3.2. Ovisnost snage vjetrogeneratora o brzini vjetra [10]

Problem krivulje snage je u tome što ukazuje na to koliko snage će proizvesti vjetroturbina pri prosječnoj brzini vjetra. Obujam energije vjetra mijenja se s brzinom vjetra. Koeficijent snage ukazuje na to koliko se energije vjetra pretvori u električnu energiju. Efikasnost turbina je nešto veća od 20%.

Za ukupnu količinu energije koju zračna turbina pretvara u električnu energiju brzina vjetra je vrlo bitna. Energija vjetra odgovara prosječnoj brzini vjetra na treću potenciju. To znači da ako je brzina vjetra dvostruko veća, dobiva se 8 puta više energije. Tablica u nastavku prikazuje iznose snage po kvadratnom metru za različite brzine vjetra [10].

Europska unija i SAD izradile su atlase svojih resursa vjetra za brzine vjetra na 45 metara iznad površine zemlje. Trenutno za Hrvatsku ne postoji takav atlas jer je mjerenje potrebnih brzina vjetra dugotrajan i skup proces. Iz tih karata može se vidjeti da je jedna četvrtina površine Europske unije idealna za instaliranje vjetrenjača. Danska mjeri svoje potencijale vjetra još od 1979. godine. Rezultat toga je da Danska danas ima najpreciznije informacije o vjetru, a to iskorištava za postavljanje novih vjetrenjača. Sjedinjene Američke Države uložile su golemo sredstva u izradu atlasa potencijalne energije vjetra za sva svoja područja [25].

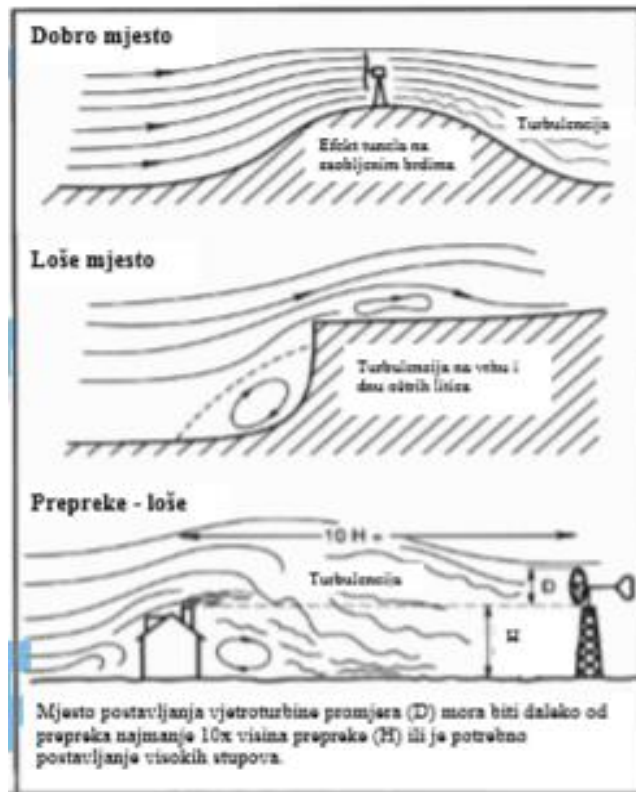
Gotovo 50 % ukupne površine SAD-a izuzetno je povoljno za iskorištavanje energije vjetra. Tu, dakako, dolaze visoki prostori zapadne i jugoistočne obalne fasade, osobito sjeverna područja uz Kanadu, gdje se udio električnih potencijala vjetra kreće od 15% do čak 36%. Taj centralni dio prostora SAD-a odnosi se na goleme površine pod prerijama. Uz geografsko pozicioniranje vjetrenjača, vrlo je bitna i visina tornjeva. Za svakih 10 metara visine tornja cijena

se uvećava za 15 000 dolara. Veće turbine davat će više energije, ali zato različiti promjeri zahtijevaju veću visinu tornja, a oni diktiraju veću ili manju snagu turbine. Tako će za snagu turbine od 225 kW rotor imati raspon 27 metara, za 600 kW 43 metra, a za 1500 kW 60 metara. Danas se smatra da potreban minimum mora biti zadovoljen u pogledu rada vjetrenjače, a to je brzina vjetra od 25 km/h ili 6,9 m/s. U novije vrijeme grade se multi-megavatne turbine, poput one koja je koncem 1999. godine montirana u Danskoj: NEG Micon vjetrenjača od 2 MW ima rotor promjera 72 metra i nalazi se na 68 metara visokom tornju.

Tablica 3.3. Ovisnost snage o jediničnoj površini vjetroagregata o brzini vjetra [10]

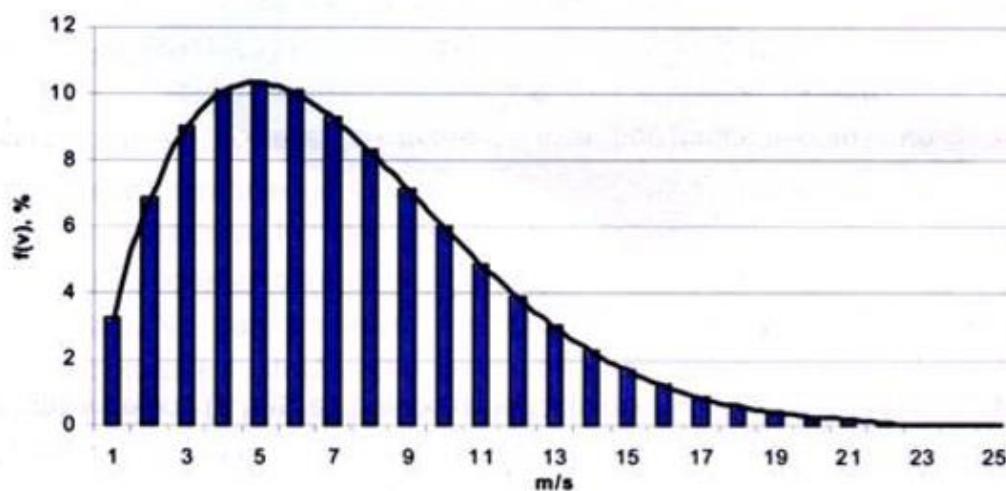
v (m/s)	P (W/m <sup>2</sup> )	v (m/s)	P (W/m <sup>2</sup> )	v (m/s)	P (W/m <sup>2</sup> )
0	0	8	313,6	16	2508,8
1	0,6	9	446,5	17	3009,2
2	4,9	10	612,5	18	3572,1
3	16,5	11	815,2	19	4201,1
4	39,2	12	1058,4	20	4900,0
5	76,2	13	1345,7	21	5672,4
6	132,3	14	1680,7	22	6521,9
7	210,1	15	2067,2	23	7452,3

Svaka vjetroturbina usporava vjetar iza sebe nakon što iz njega izvuče energiju i pretvori je u električnu. Iz navedenog razloga bi turbine trebalo usmjeriti što je moguće dalje jednu od druge [10]. Vjetroturbine su udaljene između 5 do 9 dužina promjera rotora u smjeru dolaska vjetra i između 3 do 5 dužina promjera rotora u smjeru okomitom na smjer vjetra. Gubitak energije zbog zavjetrine koje stvaraju jedna drugoj iznosi otprilike 5%. Na vjetrovitoj strani zgrada ili planina zrak se kompresira i njegova se brzina između prepreka znatno povećava što se naziva „efekt tunela“. Navedeni tunel bi trebao biti što pravilniji.



Slika 3.4. Postavljanje vjetroturbina s obzirom na tok vjetra [10]

Projektanti vjetroelektrana moraju poznavati informaciju promjene brzine vjetra jer na taj način smanjuju troškove izgradnje. Također, sama elektrana ima veću korisnost. Razdioba brzine vjetra na tipičnom položaju dobiva se mjerenjem, a matematički se opisuje Weibullovom razdiobom.



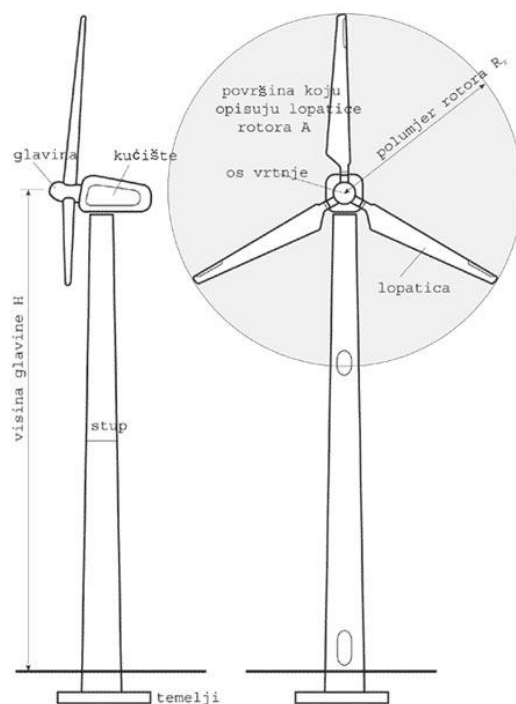
Slika 3.5. Razdioba brzine vjetra (stupci) i pripadajuća Weibullova razdioba (krivulja) [10]

## 3.2. Vjetroelektrana

Vjetroelektrana je elektroenergetski objekt čije je gorivo vjetar. Dijelovi vjetroelektrane su: vjetroatragat, transformatorska stanica, kabel i vodovi [11].

Prijašnje izvedbe vjetrenjača koristile su drvene lopatice ili lopatice od drvene rešetke presvučene tekstilom ili lakim daščicama, koje su bile postavljene na građevinu s mlinom ili pumpom za vodu. Današnje pak vjetrenjače su karakteristične po sastavnim dijelovima kao što su vertikalna cjevasta platforma, odnosno toranj na kojemu se nalaze dvije do četiri lopatice te generator za proizvodnju električne energije. Vjetrenjače su u primjeni još od 10-og stoljeća, a Europom su se rasprostranile u 18-om stoljeću. Četrdesetih godina 20-og stoljeća Njemačka, SAD i Danska postaju značajne po proizvodnji električne energije iz vjetroelektrana, te od tada zapravo započinje masovna proizvodnja kako komponenti tako i vjetroenergetskih sustava. U 19-om stoljeću, točnije 1887. godine Charles Brush je u SAD-u napravio "gigantsku vjetrenjaču" promjera 17m s 144 lopatice od cedrovog drveta. Takva vjetrenjača punila je baterije snagom od 12 kW idućih 20 godina. Suvremene vjetrenjače su, za razliku od onih početnih, karakteristične npr. po rotoru promjera 123m te mogućnošću generiranja 5 - 6 MW energije. Za postizanje optimalnih vrijednosti, današnji proračuni ukazuju na korištenje 3 visoko učinkovite aerodinamike lopatice i to po mogućnosti na što većoj visini, kako bi se lopatice što bolje distancirale od turbulentnog okružja. Budući otprilike 500m visine predstavlja granicu laminarnog sloja zemlje, posljedično se lopatice nastoji postaviti na što je moguće višu poziciju [24].

Najjednostavnije je objasniti princip rada vjetroelektrana kao pretvorbe kinetičke energije vjetra u mehaničku energiju (okretanje osovine generatora). Pretvorba kinetičke energije vjetra u kinetičku energiju vrtnje vratila odvija se pomoću lopatica rotora, vjetrene turbine ili vjetroturbine. Pri tome se rotor i električni generator nalaze na zajedničkom vratilu (točnije, između njih postoji odgovarajući prijenosnik). U generatoru dolazi do pretvorbe kinetičke energije vrtnje vratila u konačnu, električnu energiju pa se cijelo postrojenje često naziva i vjetrogeneratorom. Jedna ili više vjetroturbina s pripadajućom opremom (generator, prijenosnik, kućište, stup, temelji, kućište, regulacija, trafostanica itd.) čini vjetroelektranu. Pri tome se pod nazivom vjetroelektrana podrazumijevaju postrojenja za dobivanje električne energije, dok se pod nazivom vjetrenjača podrazumijevaju postrojenja za dobivanje mehaničkog rada (npr. za mlinove, crpke za vodu). Slika prikazuje princip rada i dijelove vjetroturbine.



Slika 3.6. Shema vjetroelektrane [12].

Rotor vjetroturbine se sastoji od odgovarajućeg broja lopatica spojenih na vratilo preko jedne ili više glavina (posebice kod rotora s okomitom osi). Za primjenu u vjetroelektranama danas se najčešće (u gotovo 90% slučajeva) koriste tzv. propelerski rotori s tri lopatice ('kraka') na čijim se vrhovima postižu brzine od 50 do 70 m/s. Osim trokrakih, koji su se pokazali najučinkovitijima, postoje i dvokraki (čiji je stupanj djelovanja tek za 2 do 3% manji), a i jednokraki rotori (koji se moraju dodatno uravnoteživati). Lopatica je dio na kojemu dolazi do pretvorbe kinetičke energije vjetra u kinetičku energiju vrtnje rotora. Broj i izvedba lopatica uvjetovani su ponajprije samom izvedbom rotora, odnosno turbine (s vodoravnom ili okomitom osi i sl.) te brojnim drugim tehničkim i ne tehničkim čimbenicima. Primjerice, manji broj lopatica znači manje troškove proizvodnje, ali uzrokuje veće brzine vrtnje, a time i veću buku i eroziju ležajeva [15].

Za primjenu kod vjetroturbin s vodoravnom osi najčešće se, zbog tehničkih, ali i estetskih razloga, najčešće koriste rotori s tri lopatice. Glavina je dio rotora preko kojeg su lopatice kruto ili fleksibilno povezane s vratilom. Rotor s vodoravnom osi glavina je samo jedna, dok ih kod rotora s okomitom osi može biti više. U glavini se nalaze ležajevi zakretnih lopatica i sustav za zakretanje lopatica te priključci na instalacije, kao npr. za električne grijače na vrhu lopatice ili za hidraulički pogon zakretanja vrha lopatica i sl. Vratilo služi za prijenos okretnog momenta od glavine do

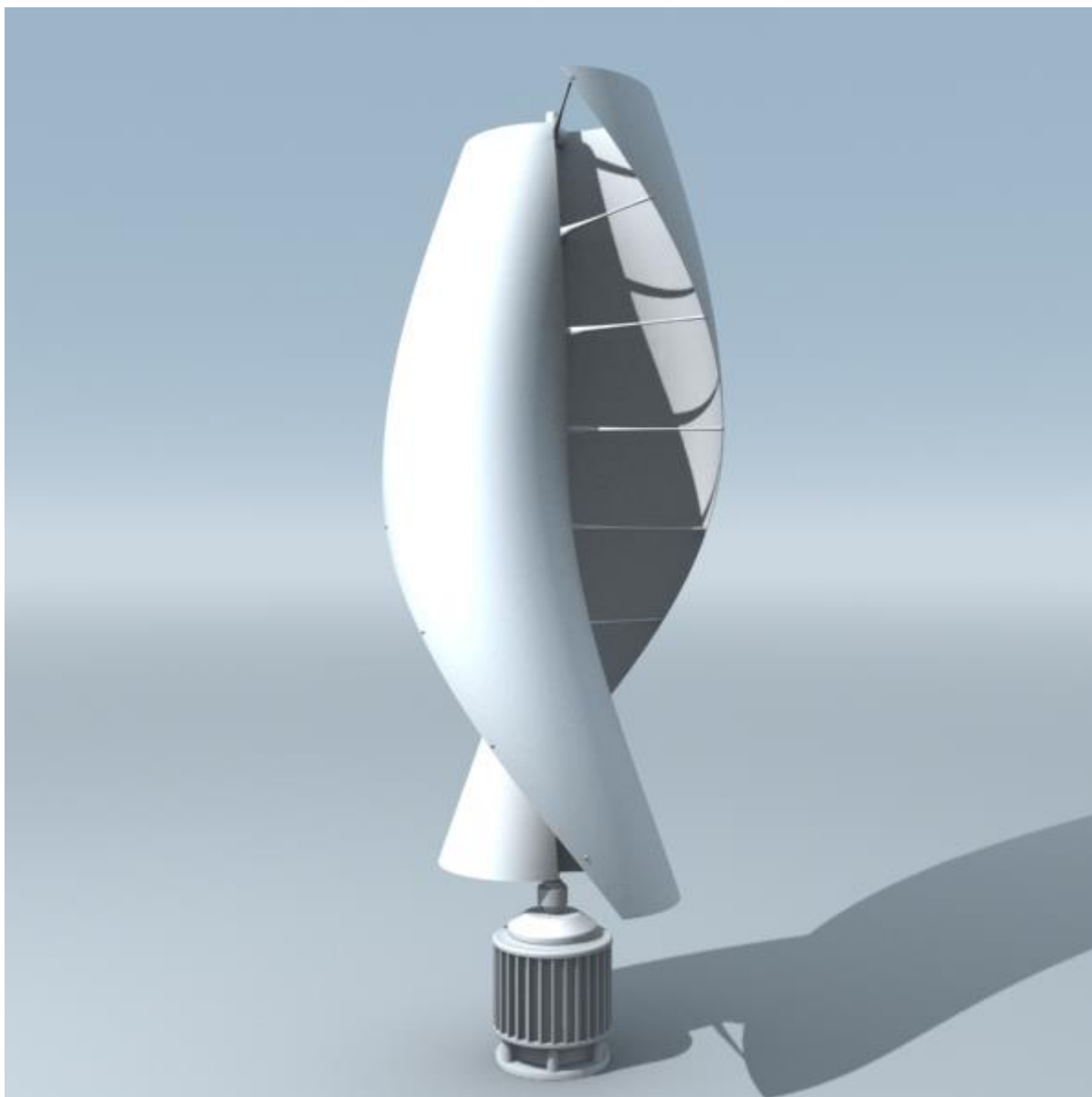


električnog generatora. Na položaju njegove osi osniva se jedna od najvažnijih podjela vjetroturbina, odnosno njihovih rotora pri čemu vratila mogu biti s okomitom ili s vodoravnom osi. Pri tome se, zapravo, radi o dva vratila sporohodnom i brzohodnom koja su međusobno povezana prijenosnikom odnosno multiplikatorom.



*Slika 3.7. Vjetroelektrana [11]*

Razvijena su dva osnovna tipa konstrukcije vjetroatregata: vjetroatregat s horizontalnom osi vrtnje rotora (HAWT – Horizontal Axis Wind Turbine) i vjetroatregat s vertikalnom osi rotora (VAWT – Vertical Axis Wind Turbine). VAWT su danas rijetko zastupljeni poradi slabije iskoristivosti i poradi preslabe brzine vjetra pri tlu. No, VAWT vjetroatregati bi mogli primjenu naći i u budućim pučinskim plutajućim vjetroelektranama.



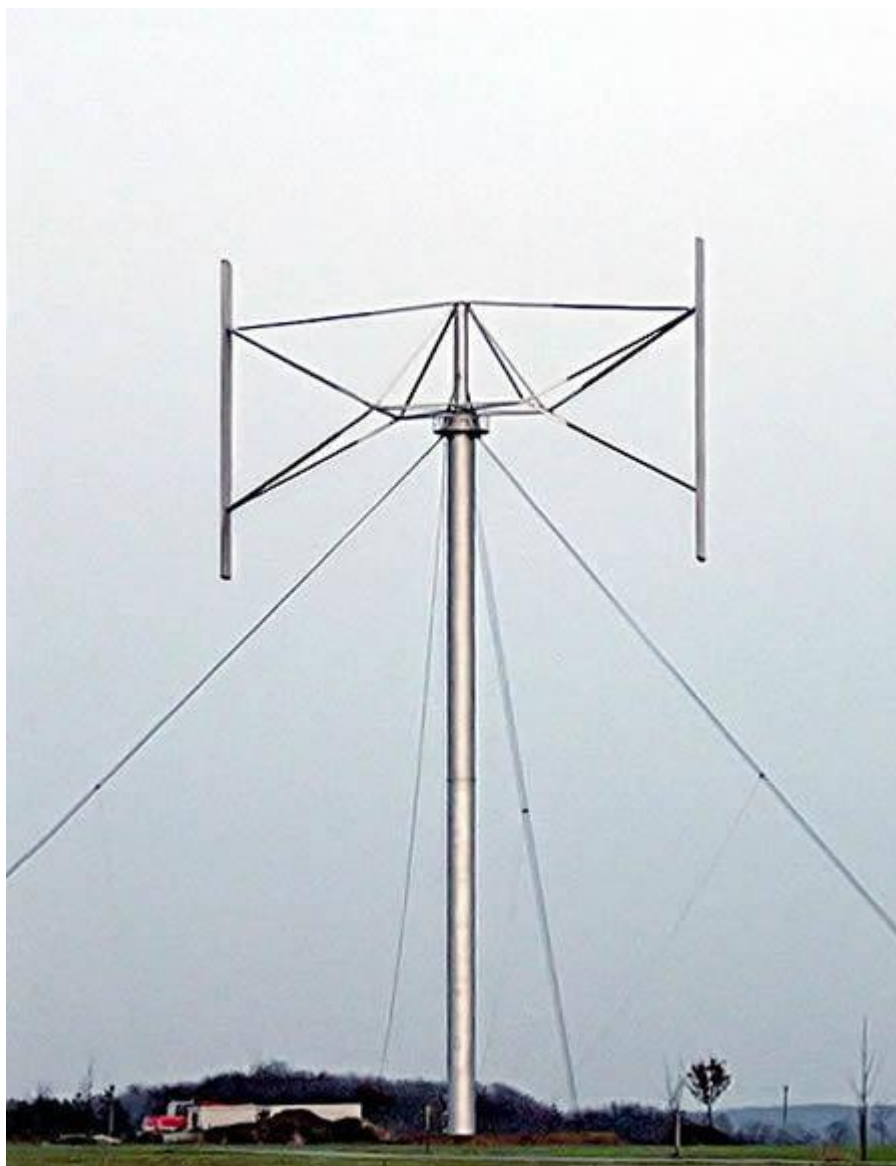
*Slika 3.8. Savonius vjetroagregat [19]*

Postoje i podvrste vjetroagregata, a neke od njih su Savoniusov vjetroagregat, Gromill i Darrieusov vjetroagregat. Darrieusov vjetroagregat ima dobru efikasnost, no, poradi velikih mehaničkih naprezanja ima malu pouzdanost. Giromill je sličan Darrieusovom vjetroagregatu. Glavna razlika je u tome što su loptice ravne dok su kod Darrieusovog agregata zakrivljene te na taj način vjetroagregati postaju pouzdaniji i efikasniji. Savoniusov je VAWT tip vjetroagregata koje energiju vjetra pretvara u moment na rotirajućem trupu. Iako nije iznimno efikasan, jako je pouzdan [12].



*Slika 3.9. Darrieusov vjetroagregat [12]*

Postoje i potpuno novi oblici iskorištavanja energije vjetra koji još uvijek nisu postali komercijalni. Neki od njih su Windbelt koji radi na osnovi vibracija koje nastaju gibanjem vjetra, piezoelektrični vjetroagregati za korištenje s malim električnim uređajima, zračni vjetroagregati koji rade na principu kiteova i „lete“ zrakom na visokim nadmorskim visinama i dr. [12].



*Slika 3.10. Giromill [12]*

Kod HAWT vjetroagregata postoje dvije izvedbe lopatice rotora i to sa zavjetrinske, odnosno s privjetrinske strane stupa. Smještaj sa zavjetrinske strane stupa ima više nedostataka (najveći je uvijanje električnih kabela) te se stoga koristi bitno manje i to samo za jedinice manjih snaga. Broj loptica kod privjetrinske izvedbe je češće neparan, a razlog tome je veća stabilnost u takvoj konfiguraciji. U posljednje vrijeme ponovno se razvijaju privjetrinski vjetroagregati s dvije loptice. Njihova temeljna prednost je da su 20 do 25% jeftiniji te imaju veću pouzdanost i lakše se postavljaju. No, oni proizvode manje električne energije te nisu toliko efikasni.

Također, postoji podjela s obzirom na mjesto gdje se koristi vjetroagregat. U tom kontekstu vjetroagregati se dijele na kopnene, priobalne i pučinske. Kopneni se najduže koriste i najviše su zastupljeni. U posljednjih nekoliko godina bitno se razvijaju priobalni vjetroagregati te se očekuje

da će ih s vremenom biti sve više. Pučinski, odnosno plutajući danas postoje tek kao pilot projekti. Tri osnovne cjeline vjetroagregata s privjetrinske strane su: vjetroturbina, kabina i stup.



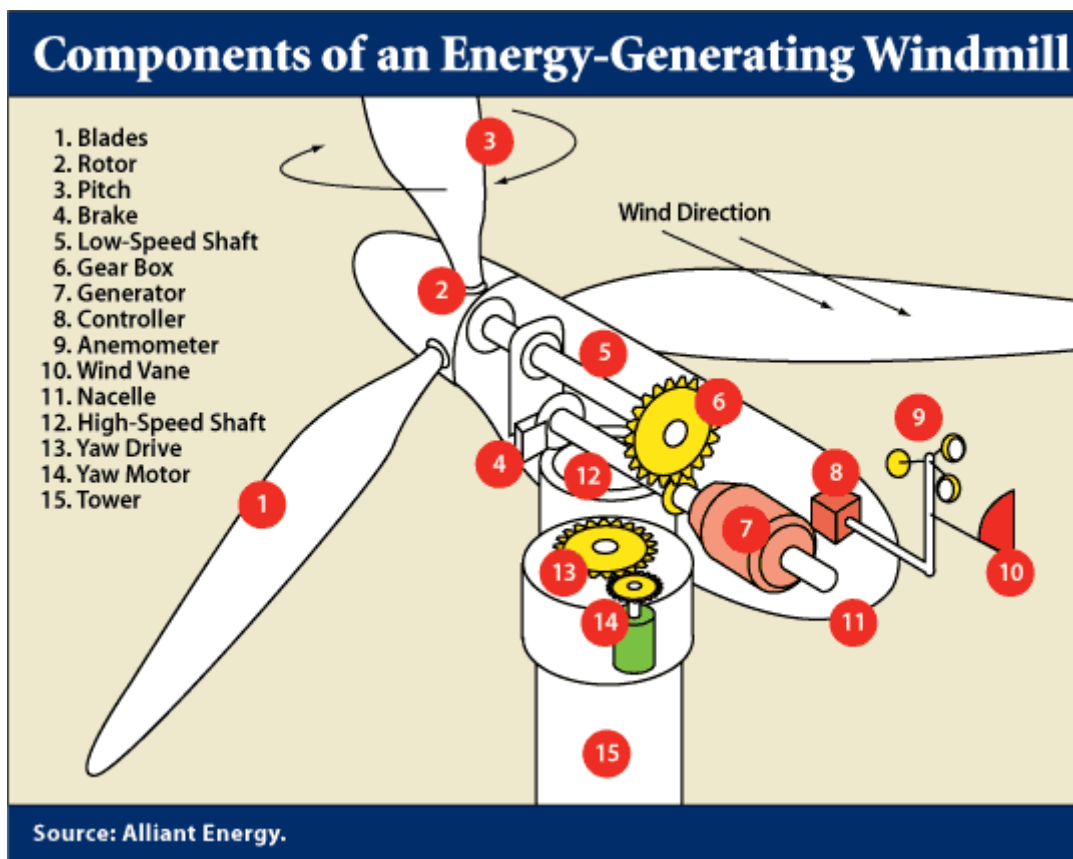
*Slika 3.11. Pučinski vjetroagregat [16]*

Lopatice rotora su oblikovane poput avionskog krila, a pokreće ih aerodinamički uzgon. Imaju prilično visok stupanj pretvorbe energije vjetra u mehanički rad. Koriste se tri lopatice poradi toga što je to najpraktičnija i najisplativija konfiguracija. Ona je s vremenom postala uobičajena za gotovo sve velike proizvođače vjetroagregata. Ako se koriste dvije loptice, brzina vrtnje je znatno veća te navedeno ima brojne negativne posljedice na učinkovitost i opću prihvaćenost vjetroagregata [12].

Broj okretanja rotora se regulira aerodinamičkim kočenjem, a ono se realizira odabirom odgovarajućeg kuta lopatice s obzirom na vjetar. Postoji i radna disk kočnica koja laganim kočenjem regulira broj okretaja rotora. Ona služi kao ispomoć aerodinamičkom kočenju.

Kabina se nalazi na vrhu stupa. Njezini najvažniji dijelovi su: kućište, elementi za uležištenje sporohodnog vratila, zupčanički prijenosnik, brzohodno vratilo s disk kočnicom, generator, kontrolna jedinica, rashladni sustav, motorni pogon za zakretanje kabine s kočnicom i hidraulički pogon.

Zupčanički prijenosnik povećava brzinu vrtnje prijenosnim omjerom 30 do 60 puta. Iz njega izlazi brzohodno vratilo koje pokreće generator. Kod pojedinih tipova vjetroagregata generator je direktno spojen na rotor, odnosno ne koristi se prijenosnik. Elektronički kontrolni sustav pomoću podataka s kontrolne jedinice, koja mjeri podatke o brzini i smjeru vjetra, prati uvjete rada vjetroagregata [12].



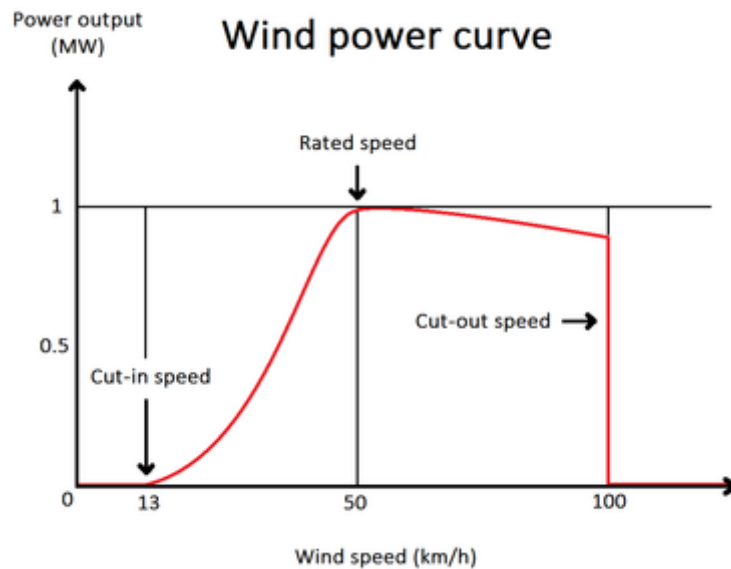
*Slika 3.12. Povezanost sustava [18]*

Stup je najčešće cjevaste izvedbe, no u nekim slučajevima može biti i rešetkasti. Unutar cjevastog stupa se nalaze stube. Kod većih se u nekim situacijama ugrađuje i dizalo. U podnožju se nalazi transformator koji povezuje vjetroagregat sa srednjenaponskom mrežom. Također, nalazi se kontrolna i mjerna jedinica. Transformator se u nekim slučajevima nalazi u zasebnoj građevini u podnožju stupa [12].

Vjetroagregatorski generatori su posebne konstrukcije. Razlog tome je što moraju raditi sa snagom koja je jako varijabilna. Za sve jače vjetroagregate koriste se generatori izmjeničnog napona koji hlade zrakom (puno rjeđe vodom). Ugrađuju se sinkroni ili asinkroni generatori. Sinkroni se najčešće ugrađuju za slabu ili prijenosnu mrežu, a asinkroni za jaku distribucijsku mrežu. U najnovijim izvedbama vjetroagregata sve se više koriste sinkroni generatori s permanentnim magnetima i direktnim pogonom za svoje kompaktne izvedbe i dobre karakteristike rada.

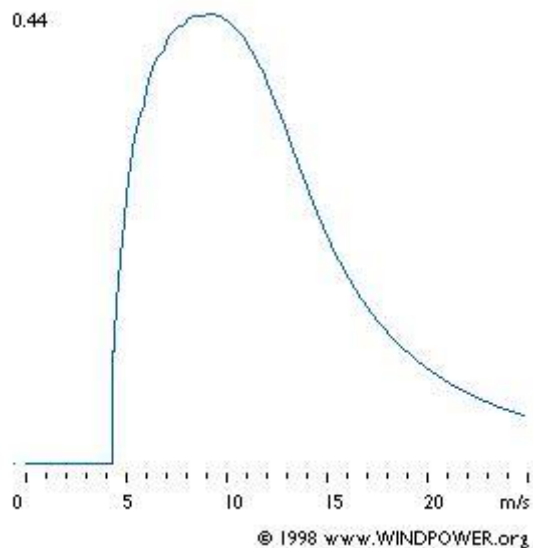
Krivulja izlazne električne snage prikazuje ovisnost proizvedene električne snage o brzini vjetra. Uobičajeno je da vjetroagregati počinju raditi pri brzinama od 3 do 5 m/s, nazivna snaga im

je na 12 do 15 m/s, a obustava rada nastupa pri brzini vjetra između 20 i 25 m/s poradi mogućnosti mehaničkih oštećenja što je prikazano na slici u nastavku.



Slika 3.33. Krivulja ovisnosti snage vjetroturbine o brzini vjetra [20]

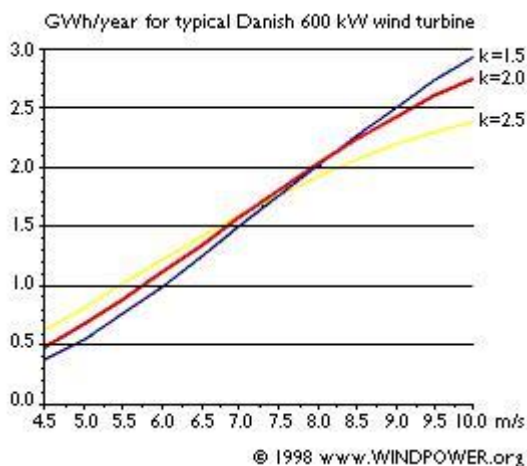
Krivulja stupnja djelovanja vjetroagregata prikazuje promjenu pretvorbe energije vjetra u električnu energiju s obzirom na brzinu vjetra. Ona se dobiva dijeljenjem izlazne električne snage i ulazne energije vjetra. Dobiva se dijeljenjem izlazne električne snage i ulazne energije vjetra. Slika u nastavku prikazuje danski vjetroagregat čija je iskoristivost oko 20% [12].



Slika 3.4. Krivulja stupnja djelovanja [12]

Krivulja godišnje proizvodnje električne energije vjetroagregata prikazuje ovisnost proizvedene električne energije o srednjoj godišnjoj brzini vjetra. Slika u nastavku prikazuje

navedenu krivulju za danski vjetroagregat DeWind od 600 kW, s Weibullovim koeficijentom 1,5, 2 i 2,5 [11].



Slika 3.5. Krivulja godišnje proizvodnje električne energije [12]

Krivulja emisije buke u ovisnosti o udaljenosti od vjetroagregata prikazuje da se povećanjem udaljenosti razina buke vjetroagregata smanjuje po kvadratnoj funkciji.

Ne troše gorivo, tj. energija vjetra je u uvjetno rečeno "besplatna". Vjetroelektrane su poželjan oblik alternativnog izvora nasuprot elektranama na fosilna goriva, jer kemijski i biološki ne zagađuju okolinu. Farma vjetroelektrana može imati umjeren pozitivan utjecaj na smanjenje snage vjetra u područjima koja su inače izložena suviše jakim vjetrovima. Povremenost pogona, zavisno o meteorološkim karakteristikama područja primjene. Nije riješeno efikasno akumuliranje većih količina energije za razdoblje bez vjetra, pa bi se stoga vjetroelektrane trebale vezati na elektroenergetski sustav regije i s njim razmjenjivati energiju.

Kombinacija hidroelektrana i vjetroelektrana je vrlo prihvatljiva, koja bi u razdoblju jačeg vjetra uštedila hidro-akumulaciju, a u razdoblju bez vjetra energiju bi davala hidroelektrana. Kod sitnih vjetroelektrana akumulaciju mogu osiguravati jedino akumulatori, koji ne mogu zadovoljiti potrebe u područjima s manje vjetrovitih dana, ali mogu uštedjeti klasičnu energiju u vjetrovitom razdoblju. Jake varijacije u snazi vjetrova relativno su teže tehnički savladive. Tehnička rješenja moraju spriječiti oštećenje vjetrenjače pri olujnoj snazi i izvlačiti maksimalnu snagu pri slabom vjetru, što komplicira, dakle i poskupljuje ta rješenja [13].

Za usklađivanje broja okretaja vjetroturbine sa brojem okretaja ugrađenog generatora potreban je multiplikator s automatskom regulacijom brzina generatora, što također poskupljuje tehničku izvedbu. Troškovi održavanja znaju činiti značajnu stavku u cijeni dobivene energije vjetra, budući



da je u slučaju vjetroelektrana broj uređaja relativno velik, odnosno snaga je po jednom uređaju je daleko manja nego kod klasičnih elektrana na fosilna goriva.

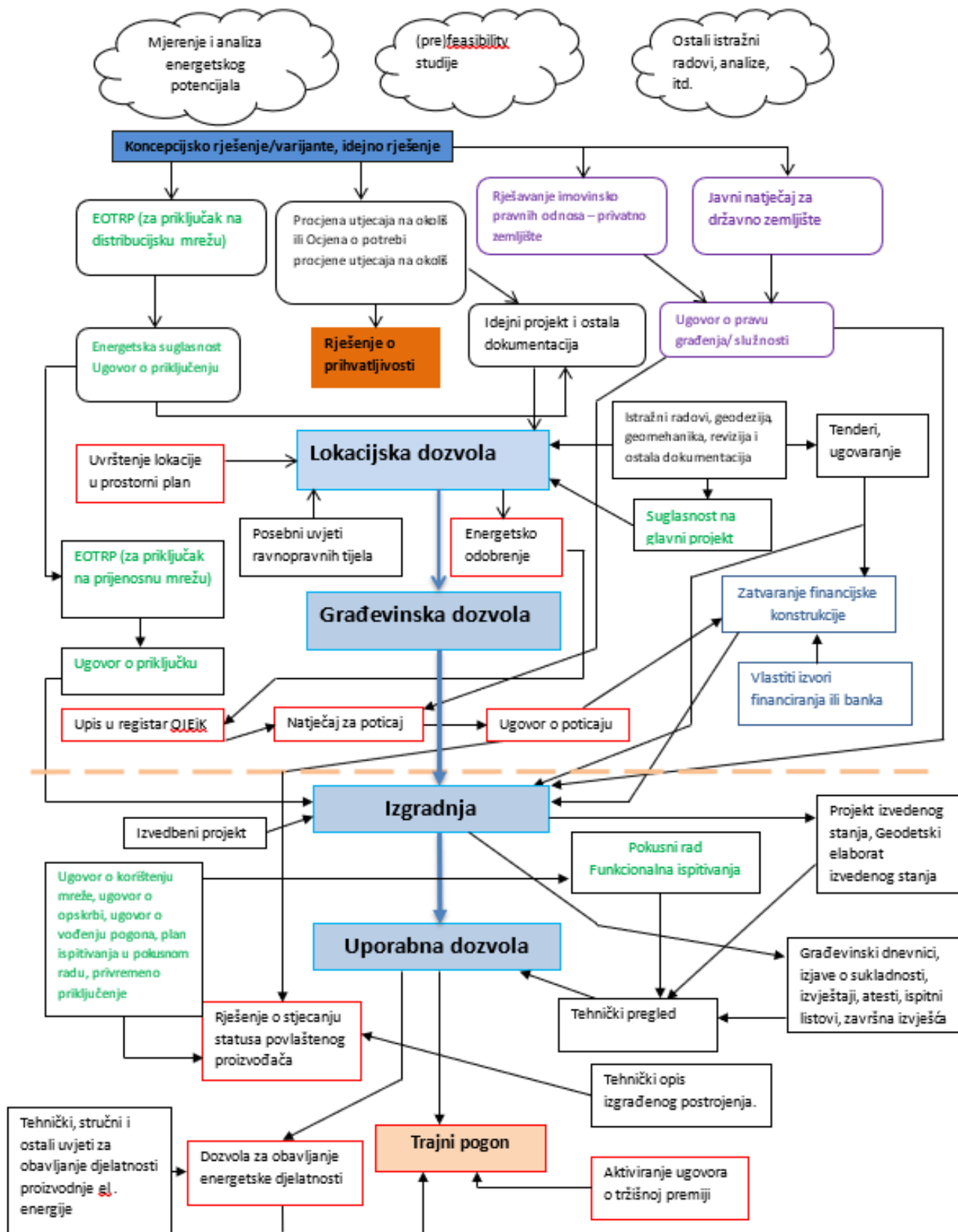
## 4. RAZVOJ I IZGRADNJA PROJEKTA

Prvotno je potrebno odabrati klasu vjetroenergenta, a ona se odabire na temelju izračuna koji se radi prema standardu IEC 61400-1 3rd edition, Amendment 1. Kod procjene mehaničke otpornosti konstrukcije na temelju podataka o vjetru osnovni kriteriji kojima se određuje IEC klasa su:

- Specifičnosti lokacije – kompleksnost orografije
- Uvjeti vjetra na lokaciji – prosječni eksponent vertikalnog provila vjetra treba biti između 0 i 0,2
- Prosječna gustoća zraka treba biti manja od 1,225 kg/m<sup>3</sup> za brzine vjetra veće ili jednake  $V_r$  (minimalna brzina pri kojoj se proizvodi punom snagom)
- Nagib strujanja treba biti manji od 8°
- Procjena ekstremne 10-minutne brzine vjetra s razdobljem povrata od 50 godina treba biti manja od  $V_{ref}$  za odabranu IEC klasu
- Gustoća razdiobe brzine vjetra na visini osi treba biti manja od granične definirane gustoće razdiobe brzine vjetra u intervalu brzina od 0,2  $V_{ref}$  do 0,4  $V_{ref}$
- Efektivna vrijednost standardne devijacije turbulencije treba biti veća ili jednaka od normom definiranih granica za sve vrijednosti brzine vjetra  $V_{hub}$  između 0,2  $V_{ref}$  i 0,4  $V_{ref}$ .

Osim o uvjetima vjetra procjena IEC klase ovisi prvenstveno o rasporedu vjetroagregata i visini rotora. Kod procjene turbulencija tip vjetroagregata može ovisno o rasporedu biti utjecajan kod određivanja dodatnih turbulencija uzrokovanih vrtnjom rotora. Odluka o razvoju i sam razvoj projekta vjetroelektrane ovisi o slijedećim aspektima koji se tiču upravljanja projektima:

- Primjerenosti (dovoljnosti) izloženosti energetske resursu (vjetru) i očekivanoj godišnjoj proizvodnji (ključan element kod procjene rizika ulaganja)
- Trošku razvijanja, građenja i održavanja
- Uvjetima na lokaciji, geografskim značajkama lokacije.



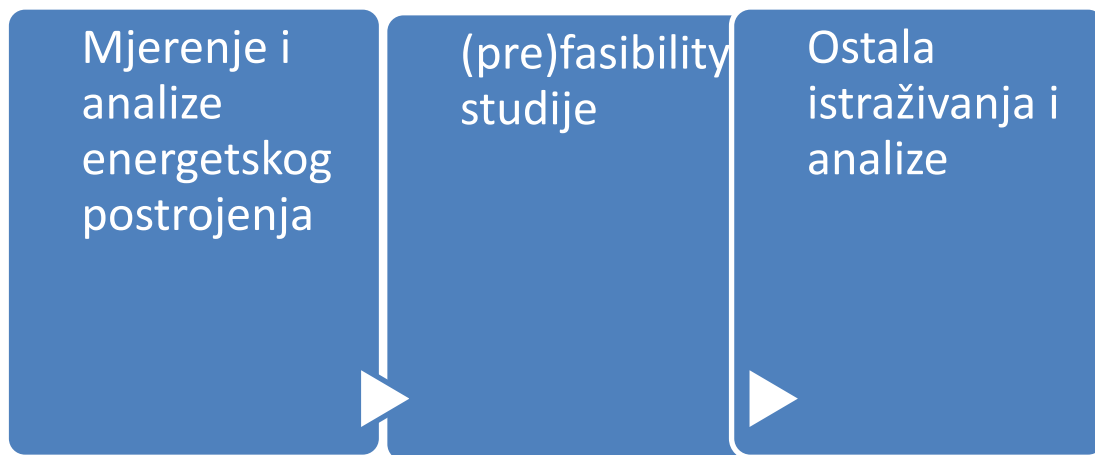
Slika 4.1. Faze izrade

Treba napraviti analizu topografije vezanu uz izgradnju infrastrukture VE da se utvrde nagibi i pokrov terena kako bi se dobio uvid da li predstavljaju prepreku za izgradnju putova između vjetroagregata i ostale infrastrukture. Pristupni putovi do lokacije vjetroelektrane i operativni putovi na lokaciji sastavni su dio zahvata i važan su element ocjene utjecaja na vrijednosti izvornog krajobraza. Iz navedenog razloga u cijelosti moraju biti dio procjene utjecaja na okoliš, moraju se maksimalno trasirati izvan područja zaštitnih šuma i šuma posebne namjene.

Prilikom definiranja načina priključka VE na elektroenergetsku mrežu potrebno je zadovoljiti sljedeće aspekte:

- VE ne smije ugroziti pogon elektroenergetskog sustava, sukladno propisanim kriterijima o sigurnosti pogona sustava
- Mora se osigurati siguran plasman cjelokupne proizvodnje VE u svim pogonskim stanjima okolnog elektroenergetskog sustava, sukladno propisanoj odgovornosti operatora sustava.

Slika u nastavku prikazuje područja koja se sve trebaju uključiti u razvoj i izgradnju projekata VE i SE.



*Slika 4.2.. Područja u razvoju i izgradnji projekta VE i SE*

Da bi se dobilo konceptijsko rješenje, varijante, odnosno idejno rješenje, potrebno je:

- ETOP – za priključak na distribucijsku mrežu, a što se odnosi na dobivanje energetske suglasnosti i Ugovora o priključenju
- Procjena utjecaja na okoliš ili Ocjena o potrebi procjene utjecaja na okoliš, s ciljem dobivanja Rješenja o prihvatljivosti
- Rješenje imovinsko-pravnih odnosa za privatno zemljište odnosno javni natječaj za državno zemljište s ciljem dobivanja Ugovora o pravu građenja/služnosti
- Idejni projekt
- Ostala dokumentacija.

Nakon uvrštavanja lokacije u prostorni plan, dobiva se lokacijska dozvola. Slijedi dobivanje Energetskog odobrenja i upis u registar OIEiK. Suglasnost javnih tijela i suglasnost na glavni projekt prethode dobivanju građevinske dozvole.

Dvije faze koje bi se mogle izdvojiti prije početka gradnje su lokacijska dozvola i priprema za gradnju.

Slijedi faza izgradnje i dobivanja uporabne dozvole.

Proizvođač vjetroagregata u pravilu izrađuje vlastiti proračun statičkih i dinamičkih opterećenja te zamora materijala za ključne komponente vjetroagregata za životni vijek vjetroagregata (20 godina).

Odluka o razvoju i sam razvoj projekata vjetroelektrana ovise o slijedećim aspektima koji se tiču upravljanja projektima:

- primjerena (dovoljna) izdašnosti energetskeg resursa (vjetra) i očekivanoj godišnjoj proizvodnji (ključnim element kod procjene rizika ulaganja,
- trošak razvijanja, građenja i održavanja
- uvjeti na lokaciji, geografske značajke lokacije (tip terena)-jako bitno zbog pristupnih cesta i platoa za transport podizanje vjetroagregata.

Potrebno je izraditi analizu topografije vezane za izgradnju infrastrukture VE da se utvrde nagibi i pokrov terena kako bi se dobio uvid da li predstavljaju prepreku za izgradnju puteva između vjetroagregata i ostale infrastrukture (cestovne, elektroenergetske ili druge a postojeće već na lokaciji ). Ponekad su radi transporta potrebni npr. novi nadvožnjaci, rušenje postojeće infrastrukture i sl.

Pristupni putevi do lokacije vjetroelektrane i operativni putevi na lokaciji sastavni su dio zahvata i važan elemenat ocjene utjecaja na vrijednosti izvornog krajobraza te stoga moraju u cijelosti biti dio procjene utjecaja na okoliš, moraju se maksimalno trasirati izvan područja zaštitnih šuma i šuma posebne namjene, a pokose nasipa i pokose zasjeka potrebno je maksimalno prilagoditi i uklopiti u okolni teren.

Pri definiranju načina priključka VE na elektroenergetsku mrežu potrebno je zadovoljiti sljedeće aspekte:

- s jedne strane, VE ne smije ugroziti pogon elektroenergetskog sustava, sukladno propisanim kriterijima o sigurnosti pogona sustava,
- s druge strane, mora se osigurati siguran plasman cjelokupne proizvodnje VE u svim pogonskim stanjima okolnog elektroenergetskog sustava, sukladno propisanoj odgovornosti operatora sustava.

Pri tom je potrebno sagledati postojeće stanje mreže i sagledivi srednjoročni planirani razvoj elektroenergetskog sustava u okruženju s obzirom na raspoložive sastavne elemente mreže te njihove karakteristike:

- prihvatljivost s prostornog aspekta (da li je lokacija u prostornom planu)-može uzrokovati vremenski zastoje projekta (čak tri godine)
- prihvatljivost s aspekta zaštite okoliša (da li je lokacija u osjetljivom području, zaštićena flora i fauna)-može uzrokovati zastoje projekta i zabranu izgradnje-Zakon o zaštiti okoliša (zaštićenu prirodnu baštinu, ekološku mrežu, rezervati, korištenje i namjenu površina, kulturnu baštinu, vode i krajobraz, buka.)

Vrlo često je veliki dio prostora za VE važno područja za ptice, šišmiše i velike zvijeri te izgradnja vjetroelektrana iziskuje posebnu pažnju. radi dugoročne zaštite i očuvanja populacija te je potrebno:

- provesti detaljna istraživanja ornitofaune, faune šišmiša i velikih zvijeri na područjima na kojima se planira izvedba vjetroelektrana.
- u skladu sa saznanjima dobivenim navedenim istraživanjima, prilikom daljnje razrade projekata vjetroelektrana odrediti broj i razmještaj vjetroagregata (veća međusobna udaljenost, udaljavanje od recimo grebena i sl.);
- provoditi monitoring stanja populacija ptica, šišmiša i velikih zvijeri nakon izgradnje, odnosno tijekom rada vjetroelektrane.

Značajnost i doseg potencijalnih utjecaja te ograničenja/uvjeta moguće je analizirati i utvrditi tek provedbom specijalističkih, ciljanih terenskih istraživanja. Kroz postupak procjene utjecaja zahvata na okoliš utvrdit će se mogući utjecaji, razina njihovog značaja itd.

Područja vjetrometina su važna staništa za biljne i životinjske svojte te je potrebno kod odabira mikrolokacija vjetroelektrana provesti detaljno kartiranje staništa i flore.

U cilju dugoročne zaštite i očuvanja populacija ptica, šišmiša, velikih zvjeri te ugroženih i zaštićenih biljnih vrsta pri izgradnji vjetroelektrana potrebno je:

- u cilju utvrđivanja stanja, tijekom planiranja a prije moguće izgradnje vjetroelektrana, provesti detaljna istraživanja faune ptica i šišmiša u skladu s uputama Smjernica za izradu studija utjecaja na okoliš za zahvate vjetroelektrana
- radi zaštite šišmiša, vjetroagregati se ne bi smjeli postavljati unutar šumovitih područja, te najmanje na 200 m udaljenosti od takvih područja, kao niti na šumovite grebene, jer je za takva područja zabilježena najveća smrtnost šišmiša od vjetroagregata;
- potrebno je izbjegavati područja izraženih krajobraznih elemenata (npr. litice) koji služe kao gnjezdilišta pojedinih ptica grabljivica;
- izgradnju vjetroelektrana trebalo bi potencirati u zonama gdje već postoji određena komunalna infrastruktura i infrastruktura transporta energije odnosno gdje nema zahtjeva ili su minimalni zahtjevi za gradnjom novih objekata.

Pristupni putevi do lokacije vjetroelektrane i operativni putevi na lokaciji sastavni su dio zahvata i važan element ocjene utjecaja na vrijednosti izvornog krajobraza te stoga moraju u cijelosti biti dio procjene utjecaja na okoliš, moraju se maksimalno trasirati izvan područja zaštitnih šuma i šuma posebne namjene, a pokose nasipa i pokose zasjeka potrebno je maksimalno prilagoditi i uklopiti u okolni teren. Da bi se to ostvarilo treba riješiti:

- imovinsko pravni status,
- kumulativni utjecaj sa postojećim VE i planiranih prije.

Generalno, utjecaji buke te treperenja i zasjenjenja pripadaju moguće značajnijim negativnim utjecajima vjetroelektrana te stoga zahtijevaju dužnu pažnju prilikom realizacije takvih projekata, posebno ako se lokacija zahvata nalazi na području osjetljivih receptora poput stanovništva i faune.

## 5. ZAKLJUČAK

Čovjek se oduvijek koristio energijom vjetra. Prije izuma parnoga stroja sva je svjetska trgovina išla morskim putovima, na jedrenjacima koji su se koristili vjetrom kao pogonskom snagom. Kola vjetrenjača rabila su se za navodnjavanje i odvodnjavanje, a vjetrenjače su služile kao mlinovi za žito. Prva nastojanja da se ova tehnologija, koja neznatno šteti okolišu i ne crpi snagu iz konačnih izvora, ponovno oživi, došla je u 50-im godina prošlog stoljeća, no tek su naftne krize i pojačan svijest o zaštiti okoliša pridonijeli ponovnom oživljavanju zanimanja za ovaj obnovljivi izvor energije. Vjetroenergija je od devedesetih godina 20. stoljeća najbrže rastući izvor električne energije u svijetu.

Danas se nastoje sve više skrenuti pažnja na korištenje obnovljivih izvora energije. Razlog tome je činjenica da potrebe za energijom rastu, a neobnovljivi izvori energije se bespovratno koriste. U tom kontekstu države potiču razvijanje obnovljivih izvora energije, a sve kako bi se pozitivno utjecalo na održivi razvoj utemeljen na održivom postupanju s resursima.

Vjetar je jedan od prirodnih izvora energije koji će uvijek biti raspoloživ. Energija vjetra posljednjih godina zauzima sve veće mjesto u proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora te izgleda kao najperspektivniji izvor energije budućnosti. Korištenjem energije vjetra smanjuje se potreba uvoza struje iz stranih zemalja čime se pojačava lokalna ekonomija. Proizvodnja struje iz energije vjetra nema štetnog utjecaja na okoliš. Tehnologija iskorištavanja energije vjetra je sve više dostupna i u neprekidnom je napretku. Zbog sigurnosti i ne štetnosti obnovljivih izvora energije, javnost ima pozitivno mišljenje o ovakvoj vrsti upotrebe energije. Vjetroelektrane pobuđuju zanimanje ne samo malih privatnih investitora, već i svih velikih elektroenergetskih kompanija. Zaslužne su za većinu novoinstalirane snage za proizvodnju električne energije u energetske sektoru i za otvaranje stotina tisuća novih radnih mjesta diljem svijeta.

Vjetroagregati su postali specijalizirani za skoro sve klimatske uvjete i za sve vrste terena, pa ih se može pronaći u tropskim područjima te i u arktičkim uvjetima. Narasli su do skoro nezamislivih dimenzija. Na najvećim svjetskim vjetroagregatima kombinirana visina stupa i lopatice doseže visine i iznad 200 m. Pojedinačna snaga najvećih vjetroagregata prelazi 6 MW. U zadnjih 10 godina standardne dimenzije vjetroagregata su se udvostručile, a snaga se povećala i do tri puta. Sa sve većim razvojem dimenzija, razvijaju se i nove tehnologije i spoznaje o učinku vjetroelektrana na elektroenergetsku mrežu. Sve se više razvijaju i vjetroagregati koji su u mogućnosti pružati potporu mreži, a s time imaju i pozitivan utjecaj na stabilnost sustava. Također,



u razvoju su i napredni prognostički modeli vjetra kojima je točnost i do nekoliko dana unaprijed. Komponente vjetroturbina su ponovo iskoristive te se lako sastavljaju i rastavljaju.

Energija vjetra prepoznata je kao iznimno vrijedna, odnosno kao dobar obnovljivi izvor električne energije. Iz navedenog razloga u novije se vrijeme potiče gradnja vjetroelektrana. Navedena se gradnja posebno potiče na područjima gdje su prepoznati potencijali vjetra kao izvora energije.

Međutim, treba istaknuti kako je gradnja vjetroelektrana složen i zahtjevan proces koji iziskuje brojne pripremne radnje, ispitivanja, istraživanja, praćenja, ishodovanja dozvola i sl. Također, prije početka gradnje potrebno je izraditi studije slučaja kako bi se utvrdila sama isplativost gradnje. Nadalje, gradnja treba biti usklađena s načelima održivog razvoja i društveno odgovornim poslovanjem.

Hrvatska je puna prirodnih bogatstava, imamo potencijala te bi to trebali iskoristiti. Plan je da Hrvatska do 2050. godine iskoristi puni potencijal iz obnovljivih izvora energije. Trenutno koristimo tek jednu desetinu energije koju nam priroda nudi. Trebalo bi potaknuti investitore na ulaganje u vjetroelektrane. Imamo dosta administrativnih problema, koje trebamo ukloniti kako bi mogli investitore privući. Poticanjem obnovljivih izvora energije, potičemo i gospodarstvo. Vjetroelektrane imaju puno više pozitivnih strana nego negativnih, a s novim tehnologijama one će se još dodatno smanjiti. One ne troše gorivo, ne zagađuju okoliš, a i besplatna je energija vjetra. Problem su povremenost pogona, a i veliki su troškovi izgradnje i održavanja. Treba napomenuti i problematiku regulacije napona i frekvencije u sustavu nakon izgradnje i puštanja u pogon, a što je dodatna tema koju bi trebalo analizirati.[25-27]

U Varaždinu 5. veljače 2020.

## • LITERATURA

[1] Šljivac, Damir; Šimić, Željko: Obnovljivi izvori energije, 2009.

<http://oie.mingorp.hr/UserDocsImages/OIE%20Tekst.pdf>, dostupno 20. 10. 2019.

[2] Zakon o energiji, NN 120/12, 14/14, 95/15, 102/15, 68/1

[3] Jankoski, Zlatko: Kolegij „Obnovljivi izvori energije“,

[https://www.oss.unist.hr/sites/default/files/file\\_attach/Obnovljivi%20izvori%20energije%20-%20Zlatko%20Jankoski.pdf](https://www.oss.unist.hr/sites/default/files/file_attach/Obnovljivi%20izvori%20energije%20-%20Zlatko%20Jankoski.pdf), dostupno 21. 10. 2019.

[4] Simeunović, Danijela: Aktualna regulativa i stanje investicija u projekte vjetroelektrane u Hrvatskoj, Zbornik radova Pravnog fakulteta u Splitu, god. 52, 3/2015., str. 641.- 663.

[5] Šikanić, Aco; Grgurić, Tripo; Dančević, Nenad: Iskustva u razvoju i realizaciji projekta vjetroelektrane 42 MW, Hrvatski ogranak međunarodne elektrodistribucijske konferencije, 2010., 2(8), 16-19.

[6] Pravilnik o korištenju obnovljivih izvora energije i kogeneracije (NN 67/07),

[7] Pravilnik o jednostavnim i drugim građevinama i radovima, NN 112/2017, NN 34/2018, NN 36/2019

[8] Tilošanec, Ivan: Zakonodavni okvir i administrativna procedura za obnovljive izvore i kogeneraciju u Republici Hrvatskoj 2009.

[9] Obnovljivi izvori i napredne tehnologije, <https://www.fer.unizg.hr/predmet/oimt>, dostupno 25. 10. 2019.

[10] Lovrić, Maja; Lovrić, Dražen: Obnovljivi izvori energije u Hrvatskoj: prednosti i nedostaci, Zaštita okoliša, 62: 7-8., (2013.)

[11] Vjetroelektrane, [http://ipaq.petagimnazija.hr/wp-content/uploads/2013/10/Obnovljivi\\_Vjetar.pdf](http://ipaq.petagimnazija.hr/wp-content/uploads/2013/10/Obnovljivi_Vjetar.pdf), dostupno 27.10.2019.

[12] Vjetroelektrane, <https://www.vjetroelektrane.com/naslovnica>, dostupno 28. 11. 2019.

[13] Benković, Tomislav: Procjena potencijala energije vjetra u Republici Hrvatskoj; Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu; Zagreb (2009.)

- [14] Horváth, Laszlo: ENWIND – program korištenja energije vjetra, nove spoznaje i provedba; Energetski institut „Hrvoje Požar“, Zagreb, (2009.)
- [15] Osnove energije vjetra, <https://www.hrastovic-inzenjering.hr/primjena-energije/energetski-clanci/energijske-tehnologije/item/336-osnove-energije-vjetra.html>, dostupno 17.12.2019.
- [16] <https://www.virahaber.com/offshore-ruzgar-santrali-ihalesi-ekimde-48842h.htm>, dostupno 15.1.2020.
- [17] Vjetroturbine, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroturbine>, dostupno 15.1.2020.
- [18] Parts of a Windmill, <https://app.emaze.com/@ATIIZOWO#2>, dostupno 15.1.2020.
- [19] Savonius Wind Turbine, <https://www.turbosquid.com/3d-models/3ds-max-helical-savonius-wind-turbine/804711>, dostupno 15.1.2020.
- [20] Energy Education, [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Wind\\_power](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Wind_power), dostupno 15.1.2020.
- [21] Obnovljivi izvori energije, <https://www.zicer.hr/Poduzetnicki-pojmovnik/Obnovljivi-izvori-energije>, dostupno 15.12.2019.
- [22] Energija vjetra, <http://novaenergija.hr/>, dostupno 15.12.2019.
- [23] Energija vjetra, <https://eko.zagreb.hr/energija-vjetra/84>, dostupno 15.12.2019.
- [24] Energetske transformacije, [http://enerpedia.net/index.php/ENERGETSKE\\_TRANSFORMACIJE](http://enerpedia.net/index.php/ENERGETSKE_TRANSFORMACIJE), dostupno 15.1.2020.
- [25] Šikanić, Aco; Šilić, Đorđe: Mogućnost domaće industrije u proizvodnji uređaja i korištenju obnovljivih izvora energije; Zagreb,(2004)
- [26] Srpak, Dunja; Polajžer, Boštjan: The impact of wind-power generation on the planning of regulating reserve. // Tehnički vjesnik : znanstveno-stručni časopis tehničkih fakulteta Sveučilišta u Osijeku, 24 (2017), 2; 375-382 doi:10.17559/TV-20170424023606
- [27] Srpak, Dunja; Havaš, Ladislav; Polajžer, Boštjan: Regulating Reserve Dynamic Scheduling and Optimal Allocation in Systems with a Large Share of Wind-Power Generation. // Energies, 12 (2019), 2; 1-14 doi:.org/10.3390/en12020212
- [28] Srpak, Dunja; Havaš, Ladislav; Skok, Srđan; Polajžer, Boštjan: Reducing Wind Power Forecast Error Based on Machine Learning Algorithms and Producers Merging. // Conference Proceedings 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE

Industrial and Commercial Power Systems Europe / Araneo, Rodolfo ; Martirano, Luigi (ur.).  
Genoa, Italy: IEEE, 2019. str. 1483-1488

## • POPIS SLIKA

<i>Slika 3.1. Ovisnost snage vjetra o brzini vjetra [10]</i> .....	18
<i>Slika 3.2. Ovisnost snage vjetrogeneratora o brzini vjetra [10]</i> .....	20
<i>Slika 3.3. Ovisnost snage o jediničnoj površini vjetroagregata o brzini vjetra [10]</i> .....	21
<i>Slika 3.4. Postavljanje vjetroturbina s obzirom na tok vjetra [10]</i> .....	21
<i>Slika 3.5. Razdioba brzine vjetra (stupci) i pripadajuća Weibullova razdioba (krivulja) [10]</i>	23
<i>Slika 3.6. Shema vjetroelektrane [12]</i> .....	24
<i>Slika 3.7. Vjetroelektrana [12]</i> .....	24
<i>Slika 3.8. Savonius vjetroagregat [19]</i> .....	25
<i>Slika 3.9. Darrieusov vjetroagregat [17]</i> .....	26
<i>Slika 3.10. Giromill [12]</i> .....	27
<i>Slika 3.11. Pučinski vjetroagregat [16]</i> .....	28
<i>Slika 3.12. Povezanost sustava [18]</i> .....	29
<i>Slika 3.13. Krivulja ovisnosti snage vjetroturbine o brzini vjetra [12]</i> .....	30
<i>Slika 3.14. Krivulja stupnja djelovanja [12]</i> .....	30
<i>Slika 3.15. Krivulja godišnje proizvodnje električne energije [12]</i> .....	31
<i>Slika 4.1. Područja u razvoju i izgradnji projekta VE i SE</i> .....	34
<i>Slika 4.2. Detaljan prikaz faza prije početka granje</i> .....	35



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, Jakov Maleš pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom Problematika izgradnje vjetroelektrane te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:  
(*Jakov Maleš*)

  
(vlastoručni potpis)

Sukladno 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.

Ja, Jakov Maleš neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom završnog rada pod naslovom Problematika izgradnje vjetroelektrane čiji sam autor.

Student:  
(*Jakov Maleš*)

  
(vlastoručni potpis)