

# Potencijal iskorištavanja energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji

---

**Horvat, Andrijana**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:412151>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-31**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



**Andrijana Horvat**

**Potencijal iskorištavanja energije vjetra u  
Splitsko-dalmatinskoj županiji**

**Diplomski rad**

**Zagreb  
2019.**



**Andrijana Horvat**

**Potencijal iskorištavanja energije vjetra u  
Splitsko-dalmatinskoj županiji**

**Diplomski rad**

predan na ocjenu Geografskom odsjeku  
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu  
radi stjecanja akademskog zvanja  
magistre edukacije geografije

**Zagreb  
2019.**

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija *Geografija; smjer: nastavnički* na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof. dr. sc. Dražena Njegača



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geografski odsjek

Diplomski rad

## Potencijal iskorištavanja energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji

Andrijana Horvat

**Izvadak:** Energija vjetra jedan je od najvažnijih obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj te ima ključnu ulogu u ispunjenju ciljeva energetske i klimatske politike. Iako se energija vjetra ističe kao ekološki najprihvatljiviji, najbrže rastući i najekonomičniji obnovljivi izvor energije, suboptimalna lokacija vjetroelektrana može se negativno odraziti na ljude i okoliš, a može dovesti u pitanje i ekonomsku isplativost projekta. Glavni cilj ovoga istraživanja je upotrebom GIS-a i multikriterijske analize razviti model za što precizniju procjenu geografskog potencijala energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji. U model je uključeno 13 različitih ekonomskih, socijalnih i okolišnih kriterija te su na temelju njih izdvojene najpogodnije lokacije za izgradnju vjetroelektrana.

81 stranica, 26 grafičkih priloga, 7 tablica, 63 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: energija vjetra, lokacije vjetroelektrana, GIS, multikriterijska analiza

Voditelj: prof. dr. sc. Dražen Njegač

Povjerenstvo: prof. dr. sc. Dražen Njegač  
izv. prof. dr. sc. Aleksandar Toskić  
doc. dr. sc. Ružica Vuk

Tema prihvaćena: 8. 2. 2018.

Rad prihvaćen: 7. 2. 2019.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

|                          |
|--------------------------|
| BASIC DOCUMENTATION CARD |
|--------------------------|

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geography

Master Thesis

## Wind energy potential in Split-Dalmatia County

Andrijana Horvat

**Abstract:** Wind energy is one of the most important renewable energy sources in Croatia, that has the key part in fulfilling of energetic and climate goals. Even though the wind energy is asserted as the most ecologically accepted, the fastest growing and the most economical renewable energy source, the suboptimal location of the wind farms can be negatively reflected on people and environment, but also encourage the thought about the economical profitability of the project. The main goal of this research is, with the use of GIS and multicriteria analysis, to develop a model for the precise estimate of geographical wind energy potential in Split-Dalmatia County. 13 different economical, social and environmental criteria are included in the model, based on which the most suitable locations for wind farms are selected.

81 pages, 26 figures, 7 tables, 63 references; original in Croatian

Keywords: wind energy, wind farm locations, GIS, multi-criteria analysis

Supervisor: Dražen Njegač, PhD, Full Professor

Reviewers: Dražen Njegač, PhD, Full Professor  
Aleksandar Toskić, PhD, Associate Professor  
Ružica Vuk, PhD, Assistant Professor

Thesis title accepted: 08/02/2018

Thesis accepted: 07/02/2019

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia



## Sadržaj

|  |    |
|--|----|
| 1. UVOD.....   | 1  |
| 1.1. Iskorištavanje energije vjetra .....  | 2  |
| 1.1.1. Negativni utjecaj vjetroelektrana na ljude i okoliš .....   | 3  |
| 1.2. Planiranje razvoja energije vjetra .....  | 6  |
| 1.3. Pregled dosadašnjih istraživanja .....  | 7  |
| 1.4. Predmet, zadatci i hipoteze istraživanja.....   | 11 |
| 1.5. Metodološki okvir istraživanja .....  | 12 |
| 1.6. Prostor istraživanja .....  | 14 |
| 2. ENERGIJA U HRVATSKOJ .....  | 16 |
| 2.1. Iskorištavanje energije vjetra .....  | 20 |
| 2.1.1. Iskorištavanje energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji.....  | 23 |
| 3. MULTIKRITERIJSKA ANALIZA .....  | 25 |
| 3.1. Odabir kriterija .....  | 25 |
| 3.1.1. Ekonomski kriteriji .....   | 27 |
| 3.1.2. Socijalni kriteriji .....   | 31 |
| 3.1.3. Okolišni kriteriji .....  | 34 |
| 3.2. Izvor i obrada podataka .....   | 37 |
| 3.3. Preklapanje slojeva .....   | 43 |
| 3.4. Analiza ekonomskog modela.....  | 45 |
| 3.5. Analiza socijalnog modela.....  | 49 |
| 3.6. Analiza okolišnog modela .....  | 52 |
| 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....   | 56 |
| 4.1. Analiza lokacija postojećih vjetroelektrana.....  | 58 |
| 4.2. Analiza makrolokacija za izgradnju vjetroelektrana određenih Prostornim planom Splitsko-dalmatinske županije..... | 61 |
| 5. OGRANIČENJA ISTRAŽIVANJA.....   | 64 |

|   |    |
|---|----|
| 6. SMJERNICE ENERGETSKOG I GOSPODARSKOG RAZVOJA ..... | 66 |
| 7. ZAKLJUČAK.....                                     | 69 |
| Literatura .....                                      | 71 |
| Izvori.....   | 78 |
| Popis slika i tablica.....                            | IX |
| Popis priloga.....                                    | XI |

## **Zahvale**

Najveću zahvalu upućujem svom mentoru, prof. dr. sc. Draženu Njegaču, na vodstvu, pomoći i potpori tijekom izrade ovog rada. Hvala Vam na svim korisnim savjetima, na tome što ste uvijek našli vremena i imali strpljenja za moja pitanja te na tome što ste vjerovali u mene.

Velike zahvale također pripadaju i izv. prof. dr. sc. Aleksandru Toskiću i doc. dr. sc. Ružici Vuk na pomoći oko diplomskog rada, ali i tijekom cijelog studija. Vaš način rada, savjeti i potpora imali su veliki utjecaj na mene.

Zahvaljujem se i svojim profesorima geografije iz osnovne i srednje škole, Anti Kovačeviću i Zvonku Korparu, koji su pobudili moj žar za geografijom i koji su me godinama uspješno vodili geografskim stazama.

Zahvaljujem se i svojim roditeljima koji su mi omogućili da slijedim svoj san.

Od srca HVALA svima !

Bez vas ispunjenje mojih snova ne bi bilo moguće.

## 1. UVOD

Energija je postala ključan element u društvenom i gospodarskom razvoju svake zemlje te je bez nje nemoguće zamisliti život u modernom dobu. Globalna potražnja za energijom iz dana u dan sve više raste, što povećava pritisak na iskorištavanje fosilnih goriva na kojima se trenutno temelji oko 80 % svjetske energetske proizvodnje (Renewables, 2018). Međutim, globalne rezerve fosilnih goriva su ograničene i neravnomjerno raspoređene, što bi u skoroj budućnosti moglo dovesti do znatnog povećanja njihove cijene, ali i ozbiljnih političkih i ekonomskih problema (Dincer, 2011; Uyan, 2013). Kao sve veći problem ističe se i efekt globalnog zatopljenja koji je uglavnom uzrokovan izgaranjem fosilnih goriva, a tu su i brojni drugi negativni utjecaji na okoliš (Janke, 2010; Delucchi i Jacobson, 2013). S ciljem ostvarenja energetske sigurnosti, konkurentnosti gospodarstva te očuvanja okoliša, velik broj država razvio je nove energetske politike temeljene na obnovljivim izvorima energije (Villacreses i dr., 2017). Obnovljivi izvori energije (energija vodotoka, vjetra, neakumulirana sunčeva energija, geotermalna energija, biodizel, biomasa, bioplin, geotermalna energija, itd.) sačuvani su u prirodi te se obnavljaju u cijelosti ili djelomično. S obzirom na to da su neiscrpni, široko dostupni i daleko povoljniji za okoliš nego konvencionalni izvori energije, obnovljivi izvori bilježe brz razvoj te će u budućnosti zasigurno imati veliku ulogu u energetskej opskrbi (Uyan, 2013). Razvoj obnovljivih izvora energije postao je i jedan od strateških ciljeva Europske unije. Ulaskom u Europsku uniju, Hrvatska je preuzela obvezu povećanja proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, te bi prema Direktivi 2009/28/EZ udio obnovljivih izvora u potrošnji energije do 2020. godine trebao dosegnuti 20 % (Renewable Energy Prospects for the EU, 2017).

Jednu od ključnih uloga u ispunjenju postavljenih ciljeva ima energija vjetra, koja se ističe kao ekološki najprihvatljiviji, najbrže rastući i najekonomičniji obnovljivi izvor energije (Renewables, 2018; Latinopoulos i Kechagia, 2015). Međutim, iskorištavanje energije vjetra ima i niz ograničavajućih faktora te prostori s najvećom brzinom vjetra nisu uvijek pogodni za izgradnju vjetroelektrana. Suboptimalna lokacija vjetroelektrana može se negativno odraziti na ljude i okoliš, ali i dovesti u pitanje ekonomsku isplativost projekta (Harrison, 2012; Yang, 2013). Stoga je pravovremena procjena potencijala energije vjetra ključan korak njegova održiva socio-ekonomskog i ekološkog razvoja (Aydin i dr., 2010; Höfer i dr., 2015; Sliz-Szkliniarz i Vogt, 2011; Noorollahi i dr., 2016).

## 1.1. Iskorištavanje energije vjetra

Energija vjetra prepoznata je i korištena još od najstarijih civilizacija, prvo za pogon brodova na jedra, a potom i za pogon mlinova te za navodnjavanje. Iako je koncept iskorištavanja energije vjetra poznat već tisućljećima, tek 1880-ih godina izumom vjetroagregata<sup>1</sup> omogućena je pretvorba kinetičke energije vjetra u električnu energiju (Dincer, 2011). Spor razvoj iskorištavanja energije vjetra u počecima bio je vezan uz veliku dostupnost i nisku cijenu energije proizvedene iz fosilnih goriva, kao i uz ubrzan razvoj nuklearne energije nakon Drugog svjetskog rata. Tek s prvom naftnom krizom 1973. godine, tj. naftnim embargom arapskih proizvođača nafte i naglim poskupljenjem energije, otvara se put za značajniji razvoj iskorištavanja energije vjetra (Radoš, 2017).

Pionirima razvoja komercijalne energije vjetra smatraju se Danci, a već 1980-ih godina intenzivnije su se u razvoj vjetroenergetskog sektora uključile Njemačka i SAD, tijekom 1990-ih Indija, Španjolska, Kina, itd. Danas više od 90 država svijeta iskorištava energiju vjetra za proizvodnju električne energije, među kojima je i Hrvatska koja svoju prvu komercijalnu vjetroelektranu gradi tek 2004. godine (Wind in Power, 2017). Do kraja 2017. godine u svijetu je bilo instalirano preko 350 000 vjetroagregata s ukupnom instaliranom snagom od 539 581 MW, koja pokriva više od 5 % globalne potražnje za električnom energijom (Renewables, 2018).

Energija vjetra nudi mnoge prednosti, što objašnjava zašto je to jedan od najbrže rastućih energetske izvora. Za razliku od elektrana s pogonom na fosilna goriva koje kemijski i biološki zagađuju okoliš, prilikom rada vjetroagregata ne dolazi do stvaranja štetnih tvari niti emisije štetnih plinova u atmosferu (osim u fazi proizvodnje i instalacije opreme), što čini energiju vjetra jednom od ključnih elemenata politike održivog razvoja i borbe protiv globalnog zatopljenja. Nadalje, iskorištavanjem lokalnih resursa vjetra, koji su, uvjetno rečeno, besplatni i neograničeni, države smanjuju ovisnost o uvozu fosilnih goriva, ostvaruju diverzifikaciju proizvodnje i sigurnost opskrbe, što u konačnici pozitivno utječe na razvitak gospodarstva (Chamanepour i dr., 2017; Latinopoulos i Kechagia, 2015). Brz razvoj vjetroelektrana potaknut je i značajnim tehnološkim napretkom u posljednjih 30 godina.

---

<sup>1</sup> Često dolazi do konfuzije i neispravne upotrebe sljedećih termina:

**Vjetroagregat** – rotirajući stroj koji se sastoji od vjetroturbine (pretvara kinetičku energiju vjetra u mehaničku) i vjetrogeneratora (koji mehaničku energiju pretvara u električnu) koji su smješteni na istom vratilu.

**Vjetrenjača** – naprava koja pretvara kinetičku energiju vjetra u mehaničku energiju.

**Vjetroelektrana** – energetska postrojenje sastavljeno od niza blisko smještenih vjetroagregata (najčešće istog tipa) te transformatorskih stanica, kablova i vodova putem kojih su priključeni na elektroenergetsku sustav.

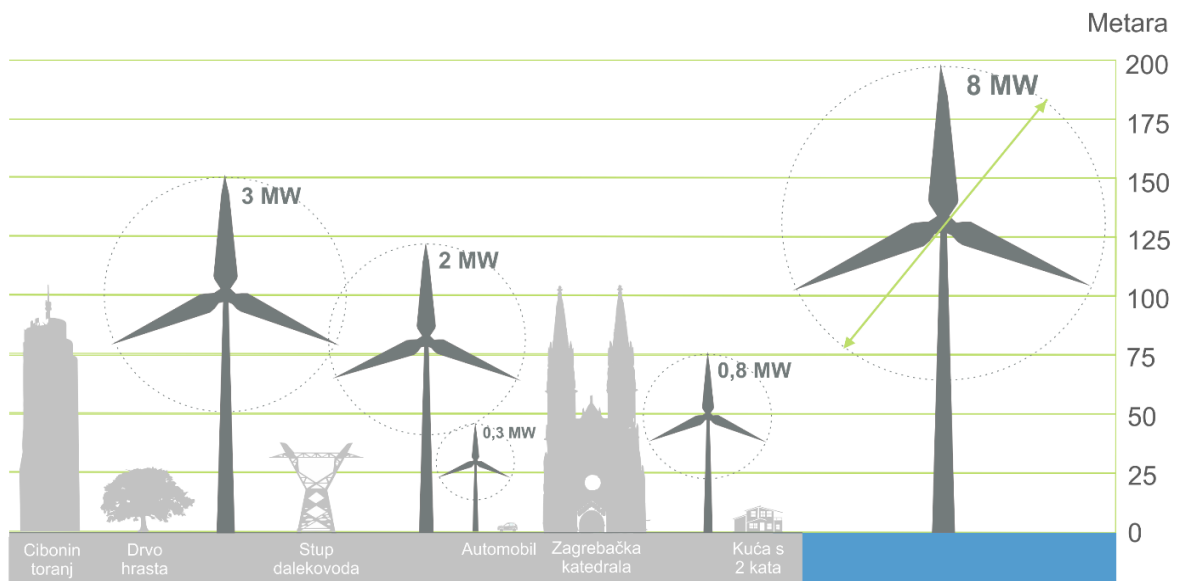
Prosječna snaga vjetroagregata na kopnu povećana je s 55 kW iz 1980-ih godina na više od 3 MW danas, dok vjetroagregati na moru imaju prosječnu snagu oko 6 MW. Istodobno je došlo do drastičnog pada troškova izgradnje što je, uz relativno niske troškove rada i održavanja, učinilo energiju vjetra najisplativijim obnovljivim izvorom energije. A uz brojne poticajne mjere, energija vjetra postala je konkurentna i konvencionalnim izvorima energije čime je privukla veliki interes investitora (Herbert i dr., 2007).

### **1.1.1. Negativni utjecaj vjetroelektrana na ljude i okoliš**

Iako je energija vjetra prepoznata i globalno prihvaćena kao čist, održiv, efikasan i siguran izvor energije, nekoliko istraživanja (Bell i dr., 2005; Huber i Horbaty, 2012; Wolsink, 2007) pokazuje da postoji znatna razlika u globalnom i lokalnom stavu prema iskorištavanju energije vjetra. Na lokalnoj razini, gdje se stanovnici izravno suočavaju s planiranim projektima gradnje vjetroelektrana, pojavljuje se sindrom „not in my backyard“, odnosno, prisutni su negativan stav i česti protesti protiv izgradnje vjetroelektrana. Rezultat je to najčešće zahtjeva investitora da se vjetroelektrane smjesti na ekonomski najisplativije lokacije, kako bi se osigurao povratak velikih početnih investicija i ostvarila ekonomska dobit, dok se pri tome zanemaruje mogući negativni utjecaj vjetroelektrana na lokalno stanovništvo (Noorolahi i dr., 2016). Negativni stavovi najčešće su uzrokovani bukom koju emitiraju vjetroagregati i njihovim snažnim vizualnim utjecajem, uz što se navode i efekt treperenja sjene, refleksija sunčeve svjetlosti, noćna signalizacija te sigurnosni aspekt. Osim na ljude, vjetroelektrane mogu imati i negativan utjecaj na floru i faunu, posebno na ptice i šišmiše (Bobeck, 2017; Höfer i dr., 2016).

**Vizualni utjecaj** podrazumijeva privremene i trajne promjene u izgledu krajolika koje su nastale izgradnjom vjetroelektrana. Dok jedan dio stanovništva vjetroelektrane smatra vizualno atraktivnima, drugi dio smatra da vizualno degradiraju krajolik što navode kao glavni razlog protivljenja njihovoj izgradnji (Wolsink, 2007; Wróziński i dr., 2016). Znatno veći vizualni utjecaj vjetroelektrana, u odnosu na ostale elektroenergetske pogone, proizlazi iz njihovih velikih vertikalnih i horizontalnih dimenzija, koje su u konstantnom porastu (sl. 1). Naime, porast produktivnosti vjetroagregata je najvećim dijelom temeljen na povećanju površine, odnosno promjera elisa te visine stupa koje dosežu i do 180 metara na kopnu te do 220 metara na moru. Istraživanja su pokazala da je vizualni utjecaj najjači unutar 10 kilometara, do udaljenosti od 20 kilometara se značajno smanjuje, a nakon 26 kilometara vizualni utjecaj vjetroelektrana smatra se nepostojećim, iako one potencijalno mogu biti

vidljive i širem prostoru (Molina-Ruiz i dr. 2011 prema Crill, 2010). Osim o visini agregata i udaljenosti od promatrača, jačina vizualnog utjecaja ovisi i o karakteristikama krajolika, položaju promatrača, osvjetljenju, atmosferskim uvjetima te vizualnim značajkama postrojenja (broju, rasporedu, boji, izvedbi stupa i sl.) te se točno može odrediti tek detaljnijom analizom (Wróżyński i dr., 2016). S ciljem smanjenja vizualnog utjecaja, vjetroelektrane je potrebno graditi na što većim udaljenostima od prostora visoke estetske vrijednosti, kao što su zaštićeni dijelovi prirode, arheološka nalazišta i turistički atraktivni prostori, itd. (Voivontas i dr., 1998), a procjena vizualnog utjecaja jedan je od osnovnih zahtjeva prilikom izrade projekata izgradnje vjetroelektrana.



Sl. 1. Vizualni utjecaj vjetroelektrana na prostor

**Buka** podrazumijeva šumove nastale uslijed opstrujavanja zraka oko lopatica i stupa (aerodinamička buka) i šumove pri gibanju zupčanika (mehanička buka). Jakost šuma ovisi o brzini vjetra, udaljenosti od vjetroagregata, pozadinskih šumova te izvedbi i veličini agregata (Wind Energy Guideline, 2016). Protivnici izgradnje vjetroelektrana ističu da je buka štetna za zdravlje okolnog stanovništva, no stručnjaci su dokazali da iako može izazvati iritaciju kod određenog dijela stanovništva, buka ne predstavlja rizik od gubitka sluha niti bilo kojeg drugog štetnog učinka na zdravlje ljudi. S tehnološkim napretkom u dizajnu znatno je smanjena razina buke koju emitiraju vjetroagregati, a pažljivim smještajem vjetroagregata na lokacije dovoljno udaljene od naselja moguće je eliminirati njezin utjecaj (Crill, 2010).

**Treperenja sjene** definiraju se kao izmjenjujuće promjene intenziteta svjetlosti, tj. prisutnost i odsutnost sjene koje uzrokuju rotirajuće lopatice turbine u sunčanim uvjetima. U umjerenim geografskim širinama treperenje sjene ne predstavlja veliki problem te ga je lako eliminirati, dok mu se znatno veća pažnja pridodaje u višim geografskim širinama gdje je Sunce nisko na horizontu. To značajno pojačava efekt, posebno zimi kada su znatno više brzine vjetra. Treperenje sjene može uzrokovati stres, distrakciju za vrijeme vožnje, glavobolju pa i vrtoglavice i napadaje kod fotoosjetljivih ljudi. Slične probleme može izazvati i **odsajaj**, tj. refleksija sunčevih zraka od lopatice vjetroagregata (Harrison, 2012; Wind Energy Guideline, 2016).

**Utjecaj na floru i faunu** nešto je veći tijekom izgradnje vjetroelektrana, dok se pri njezinom radu može govoriti tek o značajnijem utjecaju na ptice i šišmiše. Negativan utjecaj na biljni svijet očituje se kroz privremeno ili trajno uništavanje vegetacije tijekom izgradnje vjetroelektrana. Uništavanjem vegetacije dolazi do promjene izgleda autohtonih staništa, njihove fragmentacije te smanjenja veličine i raznolikosti. Drugim riječima, smanjuju se površine koje su životinjama potrebne za hranjenje, lov i reprodukciju (Siyal i dr., 2015). Tijekom izgradnje dolazi i do uznemiravanja životinja koje napuštaju područje građenja, no zbog lokalnog karaktera i kratkog trajanja radova te migracije su najčešće privremene, pa se životinje vraćaju u neposrednu okolicu vjetroelektrana, posebno ptičje vrste. Utjecaj na ptice i šišmiše može se razmatrati kroz direktni utjecaj, a to je stradanje prilikom sudara s rotirajućim elisama vjetroagregata te indirektni utjecaj koji obuhvaća njihovo vizualno i zvučno ometanje. Naime, rotirajuće elise vjetroagregata uzrokuju zamućenje slike u očima ptica koje to interpretiraju kao siguran prolazak, što dovodi do direktnog sudara s elisama vjetroagregata (Aydin i dr., 2010). Prema provedenim istraživanjima (Miller 2008 prema van Haaren i Fthenakis, 2011) jedan vjetroagregat u prosijeku usmrti 2,4 ptice i 12,2 šišmiša svake godine. S ciljem očuvanja ovih populacija, vjetroelektrane treba graditi izvan migracijskih puteva te područja na kojima obitava velik broj ptica i šišmiša. Određene negativne utjecaje, posebno na gmazove i ribe, mogu izazvati i vibracije nastale radom vjetroagregata (Wind Energy Guideline, 2016).

**Sigurnosni aspekt** također treba uzeti u obzir kod razmatranja potencijalnih negativnih utjecaja izgradnje vjetroelektrana. Prilikom rada vjetroagregata može doći do otkidanja fragmenata lopatica ili rušenja vjetroagregata, izlivanja ulja, maziva i zapaljivih tekućina, udara munje, pojave požara ili, što je i najčešće, nakupljanja leda. Nakupljeni led pod utjecajem aerodinamičnih i centrifugalnih sila biva odbačen s lopatica vjetroagregata što može predstavljati potencijalnu opasnost za ljude, životinje i okoliš u neposrednoj blizini



vjetroagregata. S obzirom na to da su vjetroagregati opremljeni različitim sustavima za detektiranje neželjenih posljedica pod utjecajem velike brzine vjetra, zaleđivanja lopatica itd., nesreće su vrlo rijetke te su uglavnom uzrokovane lošim održavanjem i nepoštivanjem sigurnosnih razmaka između vjetroagregata i drugih infrastrukturnih objekata u blizini, naprimjer, cesta, dalekovoda, naselja itd. (Studija o utjecaju na okoliš, 2016; Aydin i dr., 2010).

## 1.2. Planiranje razvoja energije vjetra

Iako su negativni učinci vjetroelektrana znatno prihvatljiviji u odnosu na konvencionalne izvore energije, oni mogu biti dodatno smanjeni ili potpuno uklonjeni pravovremenim strateškim planiranjem njezina razvoja (Baban i Parry, 2001; Aydin i dr., 2010). Glavna zadaća strateškog planiranja je omogućiti brz razvoj iskorištavanja energije vjetra na širokom prostoru uz minimalne posljedice za okoliš, odnosno organizirati prostor za skladan odnos između ljudi i okoliša te osiguranje održivog razvoja, što bi zauzvrat trebalo omogućiti samoj industriji transparentniji i stabilniji okvir za rast i širenje. Primjeri iz Njemačke, Danske, Španjolske i Ujedinjenog Kraljevstva dokazuju da je odabir lokacije, odnosno procjena geografskog potencijala, ključan korak u uspješnom implementiranju vjetroelektrana u prostor (EU Guidance, 2011; Wang, 2014).



Sl. 2. Različite razine procijene potencijala energije vjetra

Izvor: Hoogwijk i dr., 2004; Mentis, 2013; Zhang, 2015

Procjena geografskog potencijala prvi je korak u reduciranju teoretskog potencijala energije vjetra (sl. 2), a odnosi se na određivanje ukupne površine dostupne za izgradnju vjetroagregata uzimajući u obzir fizičko-geografska, ekonomska, tehnička, socijalna i okolišna ograničenja. S obzirom na potrebu usklađivanja međusobno sukobljenih interesnih skupina, odabir optimalnih lokacija je vrlo kompleksan proces koji zahtijeva analizu brojnih faktora te je najčešće rezultat kompromisa, a ne jednoglasne odluke (Gigović i dr., 2017; Mari i dr., 2011; Harrison, 2012).

Zbog mogućnosti upravljanja, prikupljanja, obrade, analize, modeliranja, kombiniranja i vizualizacije velikog broja različitih prostornih podataka, geografski informacijski sustav (GIS) posljednjih godina pokazao se kao najučinkovitiji alat u procesu odabira optimalnih lokacija vjetroelektrana (Wang, 2014; Janke, 2010; Iyappan i Kasinatha, 2012; Latinopoulos i Kechagia, 2015). Naime, jedna od temeljnih značajki GIS-a su slojevi podataka koji predstavljaju različite karakteristike nekog prostora, a njihovim vrednovanjem i preklapanjem moguće je identificirati mjesta koja najbolje udovoljavaju svim kriterijima. Međutim, sam GIS ne pruža sustavni pristup donošenju složenih odluka, već služi kao alat te je nužna njegova kombinacija s modelom višekriterijske analize (Harrison, 2012). Višekriterijska analiza je metoda procjene koja rangira varijante rješenja ili određuje ocjenu varijanti u odnosu na veći broj kriterija, pri čemu se svaka varijanta vrednuje u odnosu na svaki kriterij (atribut) primjenom odgovarajuće mjere (Deluka-Tibljaš i dr., 2013). Prema tome, implementacija višekriterijske analize u GIS okruženje tvori moćan alat za odabir lokacija vjetroelektrana, a osim za procjenu geografskog potencijala može biti korišten i za procjenu tehničkog, ekonomskog i implementacijskog potencijala energije vjetra, ali i ostalih energetskih resursa te je snažna podrška procesu strateškog planiranja energetskog razvoja nekog prostora.

### **1.3. Pregled dosadašnjih istraživanja**

Učinkovitost implementacije multikriterijske analize u GIS okruženje s ciljem procjene geografskog potencijala energije vjetra prvi put su dokazali Baban i Parry (2001). Oni su na temelju 14 različitih ekonomskih, socijalnih i okolišnih kriterija uspješno odredili potencijalne lokacije za izgradnju vjetroelektrana na istoku grofovije Lancashire. Razvoj GIS tehnologije, povećanje dostupnosti prostornih podataka, sve veći interes za razvoj energije vjetra te povećanje svijesti o važnosti pravovremenog planiranja njegova razvoja potaknuli su brojna slična istraživanja u različitim dijelovima svijeta: u Turskoj (Aydin i

sur., 2010), Grčkoj (Latinopoulos i Kechagia, 2015), Danskoj (Hansen, 2005), SAD-u (Crill i dr., 2010; Yang, 2013; Harrison, 2012), Njemačkoj (Höfer i dr., 2016), Poljskoj (Sliz-Szkliniarz i Vogt, 2011), Švedskoj (Siyal et al., 2015), Japanu (Whang i dr., 2014), Indiji (Mathew, 2014), Srbiji (Pamučar i dr., 2017) i drugim državama i regijama. Zanimljivo je istaknuti da se posljednjih godina javljaju i istraživanja u zemljama koje su izrazito bogate fosilnim gorivima, naprimjer u Iranu (Chamenehpur, 2017), Saudijskoj Arabiji (Basser, 2017) i Ujedinjenim Arapskim Emiratima (Saleous i dr., 2016), što govori o važnosti razvoja alternativnih, čistih i održivih izvora energije. Zbog kompleksnosti, istraživanja geografskog potencijala većinom se provode na regionalnoj razini, dok su ona na nacionalnoj razini manje detaljna i uključuju znatno manji broj kriterija. Postoji značajna razlika u kriterijima koji utječu na odabir lokacija vjetroelektrana na moru i kopnu, što onda uvjetuje i različit skup prostornih podataka. Većina istraživanja je usmjerena na kopno zbog znatno većeg interesa za gradnju kopnenih vjetroelektrana te su primjeri procjene potencijalnih lokacija vjetroelektrana na morskim površinama znatno rjeđi (Saleous i dr., 2016). Stoga je i u ovom istraživanju pozornost usmjerena isključivo na potencijal razvoja vjetroelektrana na kopnu.

Gotovo svi autori kao najvažniji korak u procesu procjene geografskog potencijala energije vjetra ističu odabir relevantnih kriterija. Pregledom kriterija korištenih u dosadašnjim istraživanjima (Prilog 1.) jasno je vidljivo da ne postoje ujednačeni kriteriji za odabir optimalnih lokacija vjetroelektrana, kao ni da kriteriji, odnosno zone ograničenja, nisu jednako kvantificirani. Značajno variranje zone ograničenja određenih kriterija (naprimjer, udaljenost od naselja, cesta, elektroenergetske mreže, način korištenja zemljišta) može se obrazložiti različitim obilježjima istraživanih prostora te različitim zakonskim regulativama čiji je glavni cilj zaštita njegovih vrijednosti. Međutim, iznenađujuća je činjenica da i zone ograničenja nekih fizičko-geografskih kriterija kao što su brzina vjetra i nagib padina, za koje se očekuje da budu ujednačeni u svim prostorima, značajno variraju.

Najvažniji i najčešće korišteni kriterij za odabir lokacija vjetroelektrana je prosječna brzina vjetra (van Haaren i Fthenakis, 2011; Sliz-Szkliniarz i Vogt, 2011; Siyal i sur., 2015; Janke, 2010). No, s obzirom na veliku horizontalnu i vertikalnu varijabilnost vjetra, pouzdane podatke o brzini vjetra je teško dobiti. Razlog tome je prvenstveno relativno rijetka mreža meteoroloških postaja te činjenica da je standardna visina meteorološkog stupa za mjerenje brzine vjetra 10 metara. Stupovi na svim modernim vjetroagregatima su znatno viši od 10 metara, najčešće od 50 do 120 metara na kopnu, dok oni na morskim površinama dosežu i do 200 metara. Iako neka istraživanja jednostavno definiraju minimalnu brzinu vjetra pri tlu, takva metoda je manje točna jer odnos brzina nije linearan te je snažno

uvjetovan topografijom terena, vodenim tijelima, vremenskim uvjetima, načinom korištenja zemljišta i mnogim drugim čimbenicima (Noorollahi i dr., 2016). Stoga je veliki broj radova usmjeren na razvoj novih ili evaluaciju postojećih metoda interpolacije i ekstrapolacije brzina vjetra na različite visine (Lou i dr., 2008). Također, velik broj radova usmjeren je i na procjenu teoretskog potencijala energije vjetra na nekom prostoru, najčešće na regionalnoj i nacionalnoj (Nawri i dr., 2014; Promsen i dr., 2014), ali i na globalnoj razini (Grassi i dr., 2015), pri čemu se također uvelike koristi GIS. S obzirom na brojnost navedenih istraživanja, u procesu procjene optimalnih lokacija vjetroelektrana autorima su najčešće već dostupni podatci o srednjim brzinama vjetra na različitim visinama, dok su neki autori prisiljeni samostalno provesti ekstrapolaciju brzina vjetra kako bi njihova istraživanja bila što pouzdanija. Najčešće se procjene rade za vjetroagregate s visinom stupa od 50 ili 80 metara, dok neki autori procjene provode i na više različitih visina (Rodman i Meentemeyer, 2006), što daje potpuniju sliku. Međutim, samo srednja brzina vjetra nije dovoljna kako bi se preciznije izračunala proizvodnja energije iz vjetroagregata, odnosno da bi se opisala energija vjetra na nekoj lokaciji. Drugi važni parametri koji utječu na proizvodnju vjetroagregata su smjer vjetra, gustoća zraka, intenzitet turbulencije vjetra te razdioba brzine vjetra i vjerojatnost pojave neke brzine vjetra tijekom nekog razdoblja (Radoš, 2017). S obzirom na to da su takvi podatci vrlo rijetko dostupni za veći prostor, većina istraživanja zaustavlja se na geografskom potencijalu, što je slučaj i u ovom istraživanju. Mali broj istraživanja ide korak dalje i procjenjuje tehnički potencijal energije vjetra (Koffer, 2012), dok su procjene ekonomskog te implementacijskog potencijala vrlo rijetke, te su uglavnom usmjerene na jednu ili nekoliko pojedinačnih lokacija.

Istraživanja koja u procjenu geografskog potencijala energije vjetra ne uključuju neke od ključnih kriterija, kao što su brzina vjetra, udaljenost od dalekovoda, ceste ili naselja, izložena su snažnim kritikama te se dovodi u pitanje pouzdanost njihovih rezultata. Osim nepotpunog skupa kriterija, često se kao slabost velikog broja istraživanja ističe i prevelika subjektivnost autora prilikom njihova odabira te određivanja njihove relativne važnosti na konačni rezultat. Najvrednija su istraživanja onih autora (Höfer i dr., 2015, Pamučar i dr., 2017; Sunak i dr., 2015) koji su u proces definiranja kriterija i njihove važnosti uključili stručnjake iz područja energetike, prostornog planiranja, ekonomije i zaštite okoliša.

S obzirom na to da nemaju svi kriteriji jednaku važnost pri odabiru lokacija vjetroelektrana, već s prvim pokušajima (Babban i Parry, 2001) odbačena je metoda preklapanja slojeva prema kojoj svi kriteriji imaju istu važnost. Daleko učinkovitija se pokazala metoda ponderiranog preklapanja slojeva koja pri stvaranju konačnog rezultata u

obzir uzima relativnu važnost odabranih kriterija, no to je otvorilo pitanje načina određivanja težinskih koeficijenata. Dok neki proizvoljno određuju težinske koeficijente za odabrane kriterije, većina autora koristi različite jednostavnije ili složenije metode više kriterijske analize, od kojih su najprihvaćenije i najčešće korištene AHP (eng. *Analytic Hierarchy Process*) metoda (Chamenehpour i dr., 2017; Harrison, 2012) i *fuzzy* logika (Aydin i dr., 2010; Bobeck, 2017; Latinopoulos i Kachinga, 2000; Farajzadeh i Taghilo, 2013).

S obzirom na velike razlike u odabiru i kvantifikaciji kriterija, kao i u određivanju njihovih težinskih koeficijenata, nije moguće međusobno uspoređivati rezultate provedenih istraživanja. Međutim, u svim istraživanjima se mogu uočiti dva osnovna koraka u procesu preklapanja slojeva. U prvom koraku je glavni cilj na temelju definiranih zona ograničenja identificirati one prostore koji su nepogodni za izgradnju vjetroelektrana, što se najčešće ostvaruje tako da se prostor istraživanja prema svakom kriteriju klasificira u dvije kategorije izražene u binarnim brojevima (0 – nepogodno, 1 – pogodno), a slojevi preklope pomoću matematičkih ili Booleovih operatora. Iako preostali prostor udovoljava postavljenim kriterijima, nisu svi jednako pogodni. Stoga se u sljedećem koraku preostali prostor ponovo klasificira u nekoliko stupnjeva pogodnosti s ciljem detaljnije analize te se u konačnici izdvaja najpogodnije lokacije za izgradnju vjetroelektrana. Pri tome nije nužno koristiti iste one kriterije koji su korišteni u prvom koraku.

Gotovo identični modeli koriste se i za procjenu potencijala energije sunca i biomase (Janke, 2010), a osobito su vrijedna istraživanja koja uz energiju vjetra procjenjuju i potencijal drugih obnovljivih izvora energije (Uyan, 2013) te time daju cjelovitiju sliku o energetsom potencijalu istraživanog prostora.

Za razliku od velikog broja istraživanja u stranoj literaturi, u Hrvatskoj su rijetki radovi koji se konkretno bave odabirom lokacija vjetroelektrana. Krpan i dr. (2012) teoretski su razradili model za preliminarni odabir lokacija vjetroelektrana u Primorsko-goranskoj županiji, a jedini pronađeni primjer konkretne procijene geografskog potencijala energije vjetra (Međimorec i dr., 2011) proveden je za cijelu Hrvatsku te uključuje samo četiri kriterija (srednja brzina vjetra, način korištenja zemljišta, zaštićena područja i ekološka mreža), što nameće potrebu za detaljnijim istraživanjima u budućnosti.

#### 1.4. Predmet, zadatci i hipoteze istraživanja

Predmet istraživanja ovog rada je geografski potencijal energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji, koja se ističe kao jedna od županija s najvećim teoretskim potencijalom energije vjetra. Prema tome, postoji veliki interes za izgradnju vjetroelektrana na tom prostoru, ali i opasnost od neprimjerenog odabira lokacija što može negativno utjecati na stanovništvo tog prostora i okoliš.

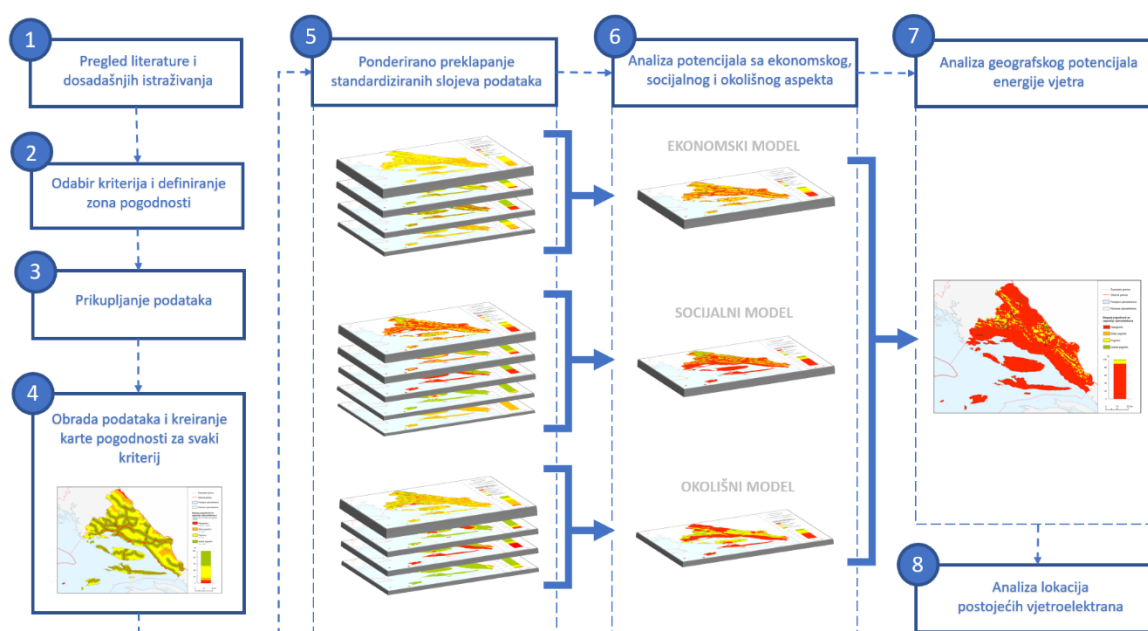
Glavni cilj ovog istraživanja je razviti model za što detaljniju i točniju procjenu geografskog potencijala energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji, tj. model koji omogućava odabir pogodnih lokacija za izgradnju vjetroelektrana koje zadovoljavaju brojne ekonomske, socijalne i okolišne kriterije. Kroz istraživanje će se pokušati odgovoriti na sljedeća pitanja: Postoji li potreba za gradnjom vjetroelektrana? Postoje li i ako postoje, gdje se nalaze prostori pogodni za gradnju vjetroelektrana u Splitsko-dalmatinskoj županiji? Jesu li otoci Splitsko-dalmatinske županije pogodni za gradnju vjetroelektrana? Zadovoljavaju li postojeće vjetroelektrane sve ekonomske, socijalne i okolišne kriterije? Jesu li makrolokacije namijenjene izgradnji vjetroelektrana u Prostornom planu Splitsko-dalmatinske županije određene u skladu s postavljenim kriterijima?

Hipoteze postavljene u ovom istraživanju su:

- H1. U Splitsko-dalmatinskoj županiji postoje prostori koji su pogodni za izgradnju vjetroelektrana, odnosno postoje lokacije koje zadovoljavaju svim postavljenim ekonomskim, socijalnim i okolišnim kriterijima.
- H2. Najveći udio površina pogodnih za izgradnju vjetroelektrana nalazi se u zaleđu Splitsko-dalmatinske županije.
- H3. Na većim otocima Splitsko-dalmatinske županije postoje lokacije pogodne za izgradnju vjetroelektrana.
- H4. Postojeće vjetroelektrane u Splitsko-dalmatinskoj županiji izgrađene su u skladu s ekonomskim, socijalnim i okolišnim kriterijima.
- H5. Prilikom određivanja makrolokacija za izgradnju vjetroelektrana u Prostornom planu Splitsko-dalmatinske županije uglavnom su slijeđeni ekonomski kriteriji.

## 1.5. Metodološki okvir istraživanja

U skladu s uobičajenom praksom u istraživanju geografskog potencijala energije vjetra, ovo istraživanje koristi sposobnost GIS-a i multikriterijske analize u procesu donošenja složenih prostornih odluka. Model primijenjen u ovom istraživanju strukturiran je kroz različite korake koji su sažeti i prikazani na sl. 3. Istraživanje započinje opsežnim pregledom literature s ciljem definiranja ekonomskih, socijalnih i okolišnih kriterija koji su relevantni za odabir lokacija vjetroelektrana u Splitsko-dalmatinskoj županiji. Izboru kriterija posvećena je maksimalna pažnja, jer izravno utječu na rezultat istraživanja. Na odabir kriterija, kao i na krajnji rezultat, utječu i dostupnost, točnost i detaljnost podataka, koji su prikupljeni u sljedećem koraku istraživanja.



Sl. 3. Model istraživanja

Osnovna ideja multikriterijske analize je da se složeni problem rastavi na jednostavnije probleme, koji se individualno analiziraju te u posljednjem koraku integriraju u jedno rješenje, što se u prostornim analizama postiže preklapanjem različitih slojeva podataka. Prema tome, svaki od odabranih kriterija analiziran je zasebno, tj. izrađena je karta koja prikazuje pogodnost istraživanog prostora za izgradnju vjetroelektrana prema tom kriteriju. Tako svaki kriterij predstavlja jedan sloj podataka čijim će preklapanjem u konačnici biti generirana karta geografskog potencijala energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji. Za svaki sloj je određen i težinski koeficijent, koji označava relativni utjecaj određenog

kriterija na konačni rezultat, a prilikom preklapanja korištena je rasterska struktura podataka. Rasterski podatci su pogodniji za analizu kontinuiranih obilježja (kao što su, naprimjer, nagib padina i brzina vjetra) te ih je moguće znatno brže i efikasnije procesuirati u odnosu na vektorske podatke, posebno kada je u analizu uključen veći broj kriterija. Odabrana veličina ćelija rastera je 200x200 metara, što je u skladu s uobičajenom praksom prema kojoj se prostorna rezolucija istraživanja prilagođava najmanjoj rezoluciji izvornih podataka.

Za razliku od prethodnih istraživanja u kojima su najprije bili isključeni nepogodni prostori, a zatim ponovnim preklapanjem slojeva detaljnije procijenjena pogodnost preostalih prostora za izgradnju vjetroelektrana, u ovom istraživanju je razvijena drugačija shema preklapanja slojeva (sl. 3). Naime, primjenom nešto naprednijih tehnika u GIS-u omogućeno je spajanje navedenih dvaju koraka u jedan, a prije generiranja konačne karte prikladnosti, slojevi se integriraju u okolišni, socijalni i ekonomski model. Na taj način omogućeno je promotriti potencijal i ograničenja istraživanog prostora s različitih aspekata, što doprinosi boljem razumijevanju njegovih mogućnosti i problema za iskorištavanje energije vjetra. Napredak u odnosu na prethodna istraživanja napravljen je i time što prostor istraživanja nije u potpunosti izoliran iz okolice, već su prilikom pojedinačne analize kriterija uključeni i podatci iz susjednih županija u zoni od 10 kilometara koji mogu potencijalno utjecati na pogodnost rubnih prostora. U posljednjoj fazi provedena je analiza rezultata istraživanja, kao i usporedba postojećih vjetroelektrana te makrolokacija predviđenih za izgradnju vjetroelektrana koje su definirane u Prostornom planu. Svi navedeni koraci i procesi detaljnije su opisani u sljedećim poglavljima rada.

Zbog bitno različitih kriterija koji utječu na odabir lokacija vjetroelektrana na kopnu i na moru, istraživanje ne obuhvaća procjenu geografskog potencijala iskorištavanja energije vjetra na moru već isključivo na kopnu, a zbog odabrane prostorne rezolucije, iz istraživanja je bilo potrebno isključiti i male otoke. S obzirom na to da je zakonom zabranjena gradnja vjetroelektrana unutar 1000 metara od obale, kako bi se u središtu otoka mogao izgraditi jedan vjetroagregat, njegova površina teoretski mora biti najmanje 3,14 km<sup>2</sup>. Stoga su svi otoci s manjom površinom ocijenjeni kao nepogodni te su isključeni iz daljnje analize. S obzirom na to da vjetroagregati imaju različitu visinu, koja može utjecati na određene kriterije te time i na pogodnost prostora za njihovu izgradnju, istraživanje je provedeno za vjetroagregate s visinom stupa od 100 metara što otprilike odgovara jačini od 3 MW. Prema tome, nije u potpunosti pouzdano za određivanje lokacija vjetroagregata čije visine značajnije odstupaju od definirane.



## 1.6. Prostor istraživanja

Splitsko-dalmatinska županija smještena je u Južnom hrvatskom primorju te čini najveći dio regije Srednje Dalmacije (sl. 4). Prostire se od Vrlike na sjeveru do Vrgorskog polja na jugu. Na istoku graniči s Bosnom i Hercegovinom, a zapadnu granicu čine granice teritorijalnog mora Republike Hrvatske. Površina kopnenog dijela županije iznosi 4540 km<sup>2</sup>, a pripada joj i 9582,64 km<sup>2</sup> morske površine (Statistički ljetopis RH, 2017).

Smještaj na obalama toplog Jadranskog mora duž kojeg se usporedno pruža dinarski masiv, glavni je indikator velikog teoretskog potencijala energije vjetra na prostoru Splitsko-dalmatinske županije. Reljef ovog prostora najvećim je dijelom oblikovan za vrijeme alpske orogeneze, kada dolazi do izdizanja visokih planinskih i gorskih masiva, karakterističnog smjera pružanja sjeverozapad-jugoistok. Dominantan vapnenački sastav terena te oskudica plodnog tla i površinskih tokova snažno su se odrazili na razvoj ovog prostora, u kojem su oblikovane tri bitno različite cjeline: zaleđe, priobalje i otočni prostor. Najveći dio županije čini prostor zaleđa, koji je od priobalja odvojen planinskim nizom Vilaje (739 m), Kozjaka (779 m), Mosora (1339 m), Biokova (1762 m) i Rilića (920 m). U unutrašnjosti se izdižu Svilaja (1508 m) i Moseć (838 m), a granicu s Bosnom i Hercegovinom čine grebeni Dinare (1743 m) i Kamešnice<sup>2</sup> (1500 m). Ovo je ekonomski siromašan prostor, a za život stanovništva veliku važnost ima plodno tlo u krškim poljima. Važnošću se ističu Cetinsko, Hrvatačko, Dugopoljsko, Dicmansko, Imotsko, Vrgorsko te površinom najveće Sinjsko polje (64 km<sup>2</sup>) (ur. Cvitanović, 1974; Magaš, 2013). Najmanji (oko 14 % površine županije), ali ujedno i najnaseljeniji te gospodarski najatraktivniji dio županije je priobalje, koje je smješteno u uskom pojasu između mora i priobalnog planinskog niza. Otočni prostor sastoji se od 74 otoka i 57 hridi i grebena, od kojih se veličinom ističu Brač, Šolta, Čiovo, Hvar i Vis. Županiji pripada i najudaljenije hrvatsko otočje Palagruža. Danas je naseljeno svega 8 otoka, a duga tradicija stočarskih naselja uspjela je preobraziti krški ogoljeli krajolik u danas izuzetno vrijedan agrarni krajolik (Razvojna strategija SDŽ, 2011).

Snažan utjecaj na razvoj županije ima vrlo pogodna klima koju karakteriziraju duga i suha ljeta te kratke, blage i kišovite zime. Priobalje i otočni prostor imaju mediteransku klimu (Csa), dok je klima zaleđa nešto oštrija umjereno topla vlažna klima (Cfa). Najveći utjecaj na diferencijaciju klime imaju planinski lanci koji svojom visinom i pružanjem sprečavaju prodor maritimnog utjecaja dublje u unutrašnjost, ali i hladnog kontinentalnog

---

<sup>2</sup> Naveden je najviši vrh na prostoru Splitsko-dalmatinske županije.

utjecaja na priobalni prostor. Prema tome, idući od zapada prema istoku srednje siječanjske temperature opadaju s  $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dok su prosječne srpanjske temperature uglavnom iznad  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Cijeli prostor Splitsko-dalmatinske županije karakterizira i vrlo veliki broj sunčanih sati ( $>1400$ ), posebice na otocima gdje dosežu vrijednosti i od 2700 sunčanih sati godišnje. Pod utjecajem orografije, najveća količina padalina zabilježena je u obalnom pojasu i višim dijelovima zaleđa (900-1100 mm) (Zaninović, 2008).



Sl. 4. Geografski smještaj i položaj Splitsko-dalmatinske županije

Županija je administrativno organizirana u 55 jedinica lokalne samouprave, odnosno u 16 upravnih gradova (Hvar, Imotski, Kaštela, Komiža, Makarska, Omiš, Sinj, Solin, Split, Stari Grad, Supetar, Trogir, Trilj, Vis, Vrgorac i Vrlika) i 39 općina unutar kojih je 2011. godine živjelo 454 798 stanovnika, tj. 8 % ukupnog stanovništva Republike Hrvatske. Županijsko sjedište nalazi se u gradu Splitu, drugom po veličini gradu u Hrvatskoj koji, prema popisu stanovništva iz 2011. godine, ima 167 121 stanovnika (Statistički ljetopis RH, 2017).

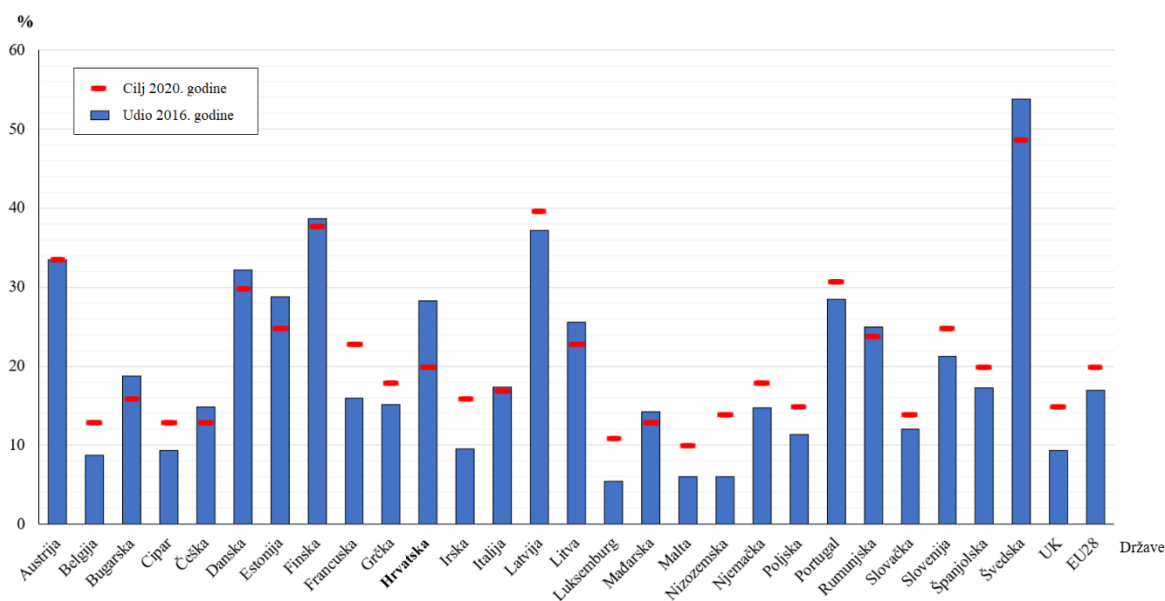
## 2. ENERGIJA U HRVATSKOJ

Hrvatski energetska sustav po veličini je jedan od najmanjih u Europi te je snažno ovisan o uvozu energije iz drugih zemalja. Danas Republika Hrvatska uvozi preko 50 % svojih energetska potreba, a u strukturi potrošnje primarne energije dominiraju nafta i naftni derivati s oko 40 %, te prirodni plin s oko 25 %. Procjenjuje se da će potrošnja navedenih energetska resursa rasti, dok će zbog iscrpljenja ležišta domaća proizvodnja opadati, što će utjecati na daljnje povećavanje ovisnosti o uvozu energije, a pogotovo ako ne dođe do znatnih promjena u strukturi energetska proizvodnje (Strategija energetska razvoja RH, 2009).

Suočena s velikom nestabilnošću cijena energije na svjetskom tržištu i obavezama preuzetim potpisivanjem Sporazuma o stabilizaciji i pridruživanju Europskoj uniji te Kyotskog protokola, Republika Hrvatska je usvojila Strategiju energetska razvoja do 2020. godine. Tri osnovna cilja Strategije energetska razvoja RH su: sigurnost opskrbe energijom, konkurentnost energetska sustava i održivost energetska razvoja, a temelji se na iskorištavanju vlastitih resursa i potencijala, učinkovitoj uporabi energije, raznolikosti korištenih energetska izvora, tehnologija i dobavnih pravaca te posebno na uporabi obnovljivih izvora energije. Postavljeni ciljevi su u skladu s Direktivom 2009/28/EZ Europskog parlamenta i Vijeća o poticanju uporabe energije iz obnovljivih izvora, unutar koje su određeni obvezni nacionalni udjeli iz obnovljivih izvora energije u konačnoj bruto potrošnji za svaku državu članicu. Prema tome, Republika Hrvatska se, između ostalog, obvezala do 2020. godine povećati udio obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji na 20 % te s druge strane smanjiti emisiju stakleničkih plinova i ukupnu potrošnju energije za 20 % u odnosu na 1990. godinu (Strategija energetska razvoja RH, 2009).

Ciljani udio obnovljivih izvora energije od 20 % u konačnoj bruto potrošnji energije temelji se na udjelu od 12,6 % u 2005. godini. Već na kraju 2016. godine taj udio je porastao na 28,3 %, što je znatno iznad prosjeka Europske unije (sl. 5). Iako se čini da je Hrvatska u velikoj mjeri postigla svoj cilj, korekcijom nacionalnih energetska bilanci zbog podataka prikupljenih o potrošnji biomase u kućanstvima za grijanje tijekom popisa stanovništva 2011. godine, bilo je potrebno izvršiti i korekciju postavljenih ciljeva. Korekcijom nacionalne energetska bilance udio obnovljivih izvora energije u 2005. godini iznosio je 23,8 %, a ne 12,6 %. Primjenom iste metodologije, korigirani cilj za 2020. godinu bio bi 31,2 % udjela obnovljive energije u konačnoj bruto potrošnji energije. Prema tome, Hrvatska još

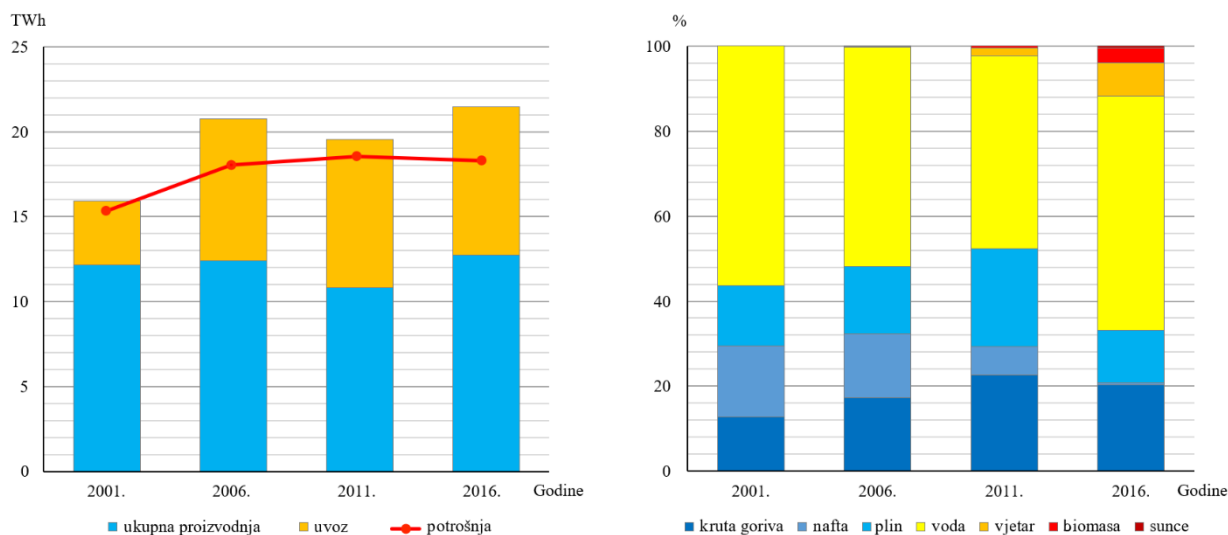
uvijek nije dostigla korigirani cilj, a prema dosadašnjim trendovima razvoja obnovljivih izvora energije, može se očekivati da će Hrvatska taj cilj ispuniti (Country Reports, 2018).



Sl. 5. Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji 2016. godine i cilj 2020. godine po državama Europske unije

Izvor: Renewable Energy Prospects for the European Union, 2017

Unutar Strategije postavljeni su i ciljevi za pojedine energetske sektore. U sektoru električne energije udio obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji trebao bi do 2020. godine dosegnuti 39,0 %, u sektoru grijanja i hlađenja 19,6 % te unutar prometnog sektora 10 %. Prema podacima Eurostata, ciljevi u sektoru električne energije (46,7 %) te grijanja i hlađenja (37,6 %) su već 2016. godine znatno premašeni, dok je u prometnom sektoru (1,3 %) nerealno očekivati ispunjenje ciljeva do 2020. godine. Energija iz obnovljivih izvora najvećim je dijelom generirana iz energije biomase (65 %) i vode (30 %), dok se vrlo mali udio primarne energije dobiva iskorištavanjem vjetra (4,3 %) i sunca (0,8 %) (Energy statistic, 2018). Iskorištavanje energije vjetra moguće je samo unutar sektora električne energije čija je bilanca i struktura prikazana na sl. 6. U Hrvatskoj je 2016. godine potrošeno ukupno 18293 GWh električne energije, što predstavlja porast od 19,3 % u odnosu na 2001. godinu. U istom razdoblju porasla je i proizvodnja, ali svega 4,7 %, što je znatno povećalo ovisnost Hrvatske o uvozu energije. Unatoč tome, Hrvatska je uspjela povećati izvoz energije čak 5,4 puta (3160,0 GWh u 2016. godini), no uvoz energije je i dalje gotovo tri puta veći od izvoza, te Hrvatska ostvaruje deficit u energetskej razmjeni prema svim susjednim državama.



Sl. 6. Energetska bilanca električne energije (lijevo) i struktura proizvodnje električne energije (desno) 2001, 2006, 2011. i 2016. godine u Republici Hrvatskoj

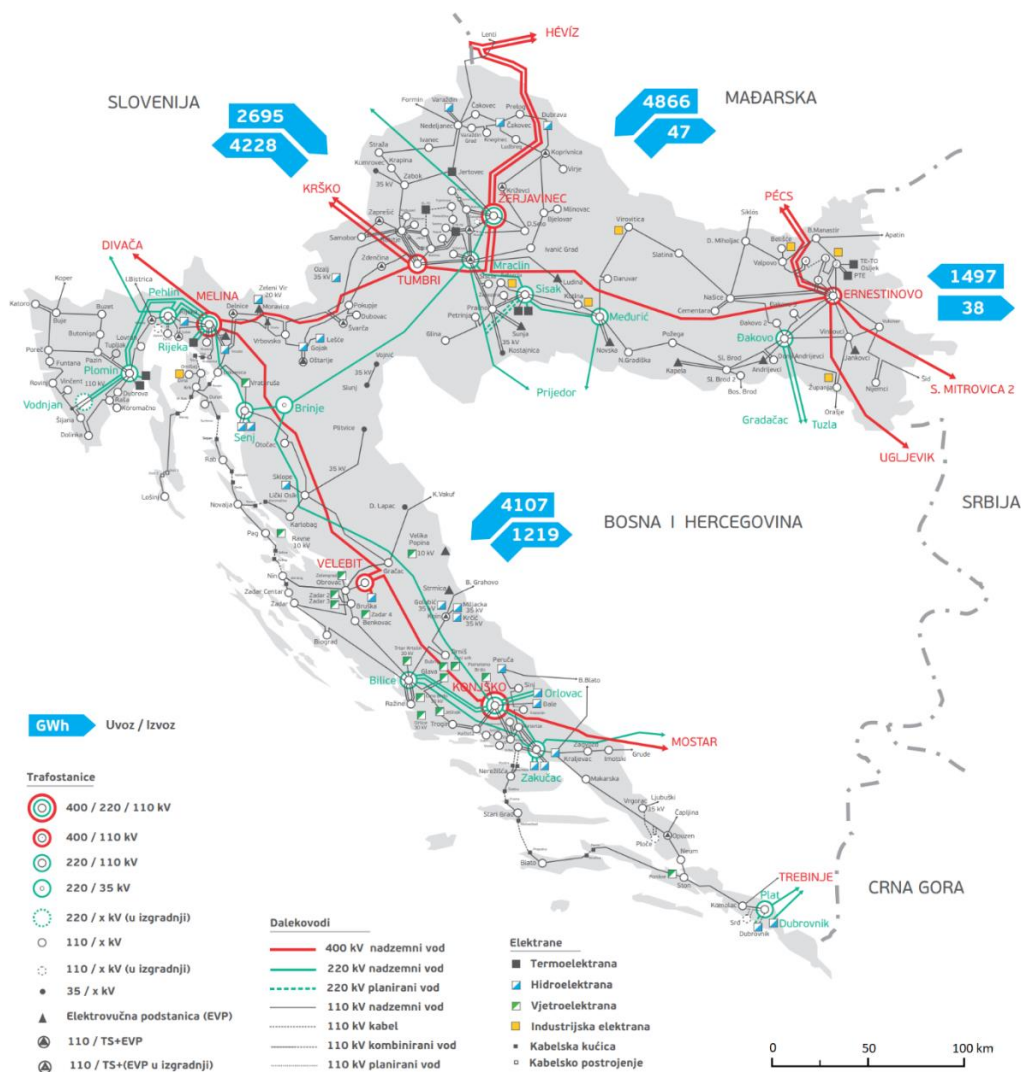
Izvor: Energija u Hrvatskoj, 2005; Energija u Hrvatskoj, 2007., Energija u Hrvatskoj, 2012; Hrvatska u brojkama, 2017

Relativno visok udio obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije najvećim se dijelom temelji na iskorištavanju energije vodotoka. Hrvatska je jedna od prvih država u svijetu koja je počela iskorištavati hidroenergiju (prva hidroelektrana izgrađena je na rijeci Krki 1895. godine), a danas raspolaže s 2205 MW instaliranih kapaciteta hidroelektrana. S obzirom na to da proizvodnja hidroelektrana snažno ovisi o klimatskim uvjetima (prvenstveno o količini kiše), njihov udio u ukupnoj proizvodnji električne energije varira od 40 do 70 %, što onda utječe i na ukupan udio obnovljivih izvora energije, za koji se može reći da generalno bilježi trend povećanja. O proizvodnji hidroelektrana ovisi i korištenje krutih goriva i prirodnog plina za dobivanje električne energije u termoelektranama. Njima se nadomješta smanjena proizvodnja hidroelektrana. S druge strane, udio nafte konstantno opada. Nakon Luksemburga i Austrije, Hrvatska je članica Europske unije s najmanjim udjelom fosilnih goriva u proizvodnji električne energije u 2016. godini (Energy statistic, 2018).

Međutim, uvrštavanje postojećih velikih hidroelektrana u definiciju obnovljivih izvora energije nailazi na brojne kritike, zbog njihova izraženijeg utjecaja na lokalni krajolik. Stoga se sve više teži razvoju malih hidroelektrana i “novih” obnovljivih izvora energije koji se u Hrvatskoj počinju iskorištavati tek u novije vrijeme. U 2016. godini iz energije vjetra je proizvedeno 7,9 % električne energije, iz energije biomase 3,4 %, a iz energije sunca svega 0,5 %, što je daleko ispod prosjeka Europske unije (9,3 % iz energije vjetra, 5,5 % iz energije

biomase i 3,4 % iz energije sunca). Iako bilježe značajan porast u ukupnoj proizvodnji, s obzirom na izrazito veliki potencijal koji prema procjenama (Analiza mogućnosti korištenja OIE u RH, 2015) može nekoliko puta pokriti potrebe za energijom u Hrvatskoj, energija vjetra, biomase i sunca je gotovo potpuno neiskorištena. To se posebno odnosi na energiju sunca, ako imamo u vidu da države poput Njemačke (5,9 %), Austrije (1,6 %) ili Latvije (1,6 %) već desetljećima uspješno crpe Sunčevu energiju, iako njome raspolažu u manjim količinama od Hrvatske (Energy statistic, 2018).

Međutim, resursi obnovljivih izvora su neravnomjerno raspoređeni na teritoriju Hrvatske. Gotovo sve hidroelektrane i vjetroelektrane izgrađene su u Hrvatskom primorju koje ima izrazito veliki potencijal za iskorištavanje obnovljivih izvora, dok je potencijal panonsko-peripanonskog prostora znatno oskudniji, te se električna energija uglavnom dobiva iz termoelektrana (sl. 7).

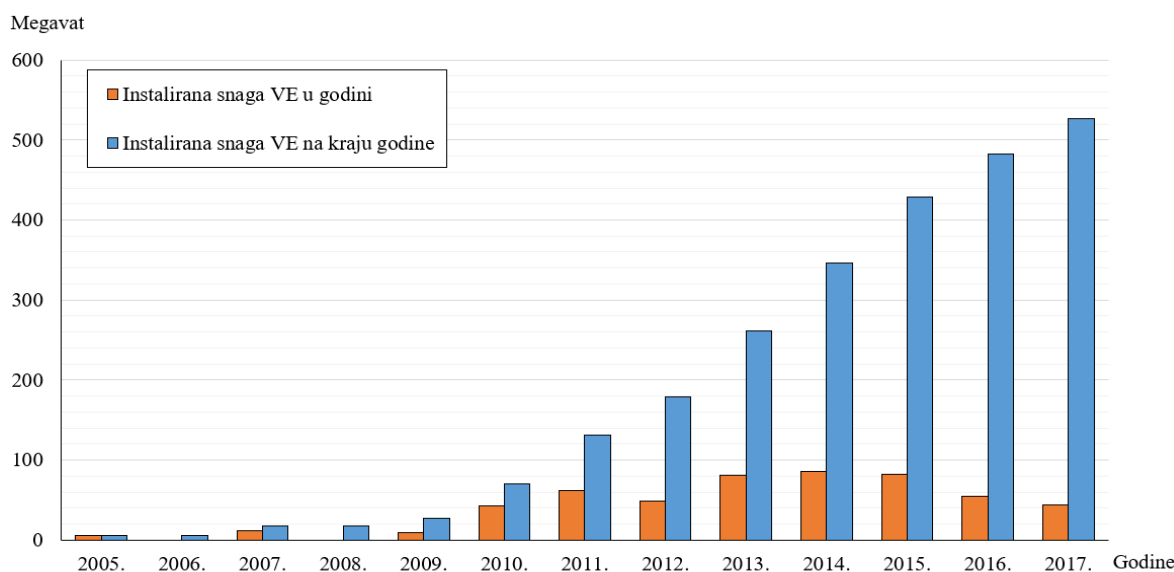


Sl. 7. Shema elektroenergetske opskrbe Republike Hrvatske u 2015. godini

Izvor: HOPS – Godišnje izvješće, 2016

## 2.1. Iskorištavanje energije vjetra

Prva vjetroelektrana u Hrvatskoj puštena je u pogon 2005. godine (VE Ravne 1 na otoku Pagu). U idućih nekoliko godina izgradnja vjetroelektrana je tekla usporeno, pa su do kraja 2009. godine izgrađene i puštene u pogon još samo dvije vjetroelektrane, od ukupno 26,8 MW instalirane snage (sl. 8). U narednim godinama ostvaren je značajniji napredak te je u razdoblju od 2010. do 2017. godine u redovni pogon godišnje ulazilo prosječno 62,6 MW novih instaliranih kapaciteta. Ubrzan razvoj najvećim je dijelom rezultat brojnih poticajnih mjera za izgradnju vjetroelektrana koje su pozitivno utjecale na interes investitora. U Hrvatskoj se proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije do kraja 2015. godine poticala putem zajamčenih otkupnih cijena (engl. Feed-in tariffs), odnosno potpisivanjem dugoročnih ugovora i stjecanjem statusa “povlaštenog proizvođača”. Hrvatski operator tržišta energije (HROTE) jamčio je otkupnu cijenu koja je nekoliko puta veća od tržišne cijene električne energije (ovisno o vrsti postrojenja i tarifnim sustavima koje određuje Vlada). Od 2016. godine poticajna mjera se promijenila u sustav tržišnih premija (eng. *Feed-in premium*), prema kojem povlašteni proizvođači električnu energiju moraju prodavati na tržištu, a dodatak na tu cijenu, tzv. premiju, dobivat će od operatora tržišta električne energije. Sustav tržišne premije olakšava vođenje i planiranje rada elektroenergetskog sustava, ali donosi veći rizik za proizvođače, što se negativno odrazilo na dinamiku izgradnje vjetroelektrana (Matijašević, 2017).



Sl. 8. Dinamika izgradnje vjetroelektrana u Hrvatskoj od 2005. do 2017. godine

Izvor: Godišnji izvještaj o proizvodnji vjetroelektrana u Hrvatskoj, 2017

Do kraja 2017. godine u redoviti pogon je pušteno 19 vjetroelektrana (tab. 1), ukupne instalirane snage 527,3 MW. U probnom pogonu bila je vjetroelektrana VE Lukovac, koja će puštanjem u redoviti pogon biti najveća vjetroelektrana (48,8 MW) u elektroenergetskoj mreži Hrvatske. Posebnost izgradnje vjetroelektrana u Hrvatskoj je njihova mala geografska raspršenost. Sve vjetroelektrane nalaze se u priobalju u samo pet županija, a najveća udaljenost između dviju vjetroelektrana iznosi 300 km.

Tab. 1. Izgrađene vjetroelektrane u Hrvatskoj do kraja 2017. godine

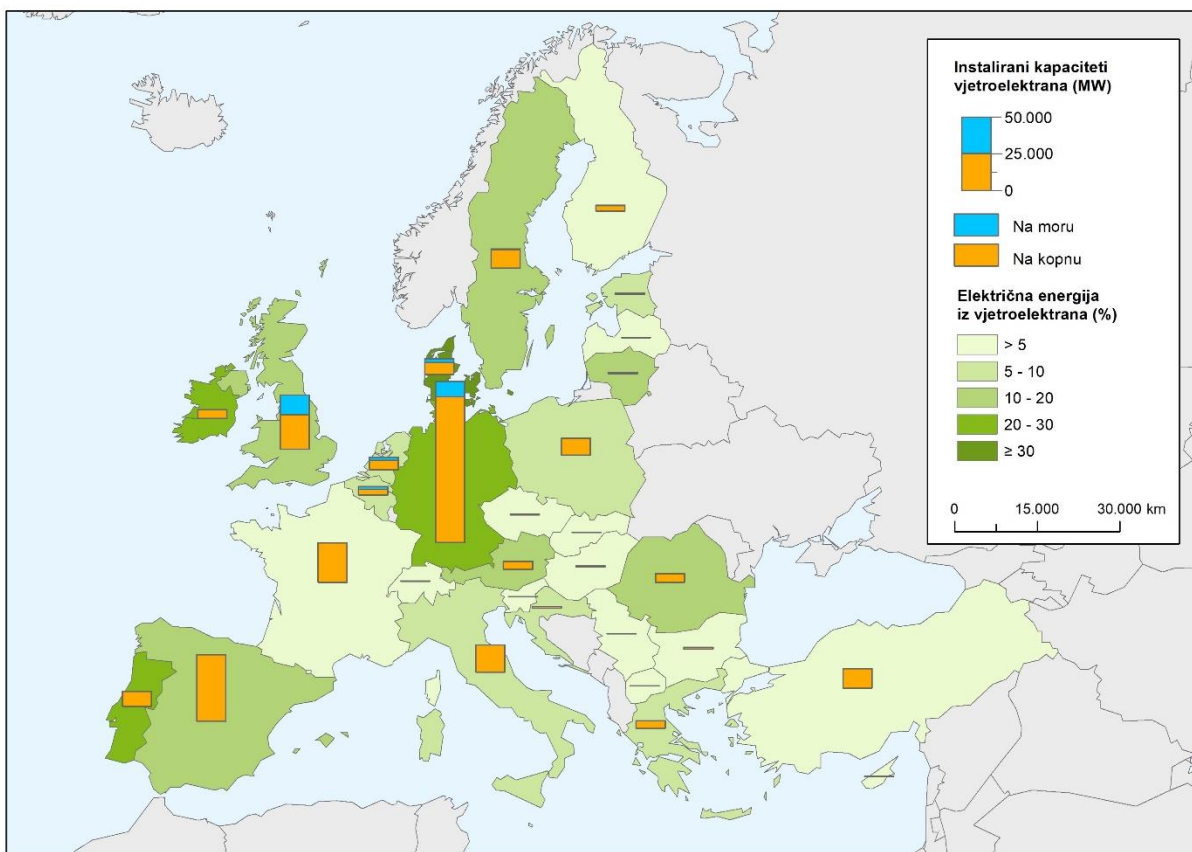
| Naziv vjetroelektrane   | Instalirana snaga (MW) | Godina puštanja u redovni pogon | Županije                        |                                   |
|-------------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|                         |                        |                                 | Naziv                           | Ukupni instalirani kapacitet (MW) |
| VE Lukovac              | 48,8                   | Testni rad                      | Splitsko-dalmatinska županija   | 220,0                             |
| VE Ogorje               | 45,0                   | 2015.                           |                                 |                                   |
| VE Voštane              | 42,0                   | 2013.                           |                                 |                                   |
| VE Katuni               | 34,2                   | 2016.                           |                                 |                                   |
| VE Jelinak              | 30,0                   | 2013.                           |                                 |                                   |
| VE Pometno brdo         | 20,0                   | 2015.                           |                                 |                                   |
| VE Velika Popina (ZD6P) | 44,2                   | 2017.                           | Zadarska županija               | 147,4                             |
| VE Zelengrad            | 42,0                   | 2014.                           |                                 |                                   |
| VE Bruška               | 36,8                   | 2011.                           |                                 |                                   |
| VE Velika Popina        | 9,2                    | 2011.                           |                                 |                                   |
| VE Zadar                | 9,2                    | 2013.                           |                                 |                                   |
| VE Ravne                | 6,0                    | 2005.                           |                                 |                                   |
| VE Velika glava         | 43,7                   | 2014.                           | Šibensko-kninska županija       | 95,7                              |
| VE Glunča               | 20,7                   | 2016.                           |                                 |                                   |
| VE Trtar-Krtolin        | 11,2                   | 2007.                           |                                 |                                   |
| VE Crno brdo            | 10,5                   | 2011.                           |                                 |                                   |
| VE Orlice               | 9,6                    | 2009.                           |                                 |                                   |
| VE Ponikve              | 36,8                   | 2012.                           | Dubrovačko-neretvanska županija | 71,0                              |
| VE Rudine               | 34,2                   | 2015.                           |                                 |                                   |
| VE Vrataruša            | 42,0                   | 2010.                           | Ličko-senjska županija          | 42,0                              |

Izvor: Godišnji izvještaj o proizvodnji vjetroelektrana u Hrvatskoj, 2017



Unatoč pozitivnim trendovima, teško se može očekivati ispunjenje cilja od 1200 MW ukupnih instaliranih kapaciteta vjetroelektrana do 2020. godine, koji su definirani Strategijom energetske razvoja RH. Ispunjenje navedenog cilja, ali i cilja postavljenog do 2030. godine (2000 MW), zahtijevat će vrlo brz razvoj, što može imati negativne posljedice na okoliš i stanovništvo, pogotovo ako ne bude pravovremeno planiran.

U razvoju iskorištavanja energije vjetra, Hrvatska bi trebala slijediti primjer Njemačke, Ujedinjenog Kraljevstva, Finske ili Belgije koje godišnje uspješno implementiraju više od 400 MW novih kapaciteta vjetroelektrana. Tijekom 2017. godine na cijelom je teritoriju Europske unije bilo instalirano 15 600 MW novih vjetroelektrana, čime je energija vjetra postala najbrže rastući i drugi po veličini izvor električne energije u Europi (Energy statistic, 2018).



Sl. 9. Instalirani kapaciteti vjetroelektrana i udio energije vjetra u proizvodnji električne energije u državama članicama Europske unije i kandidatima za članstvo u 2016. godini

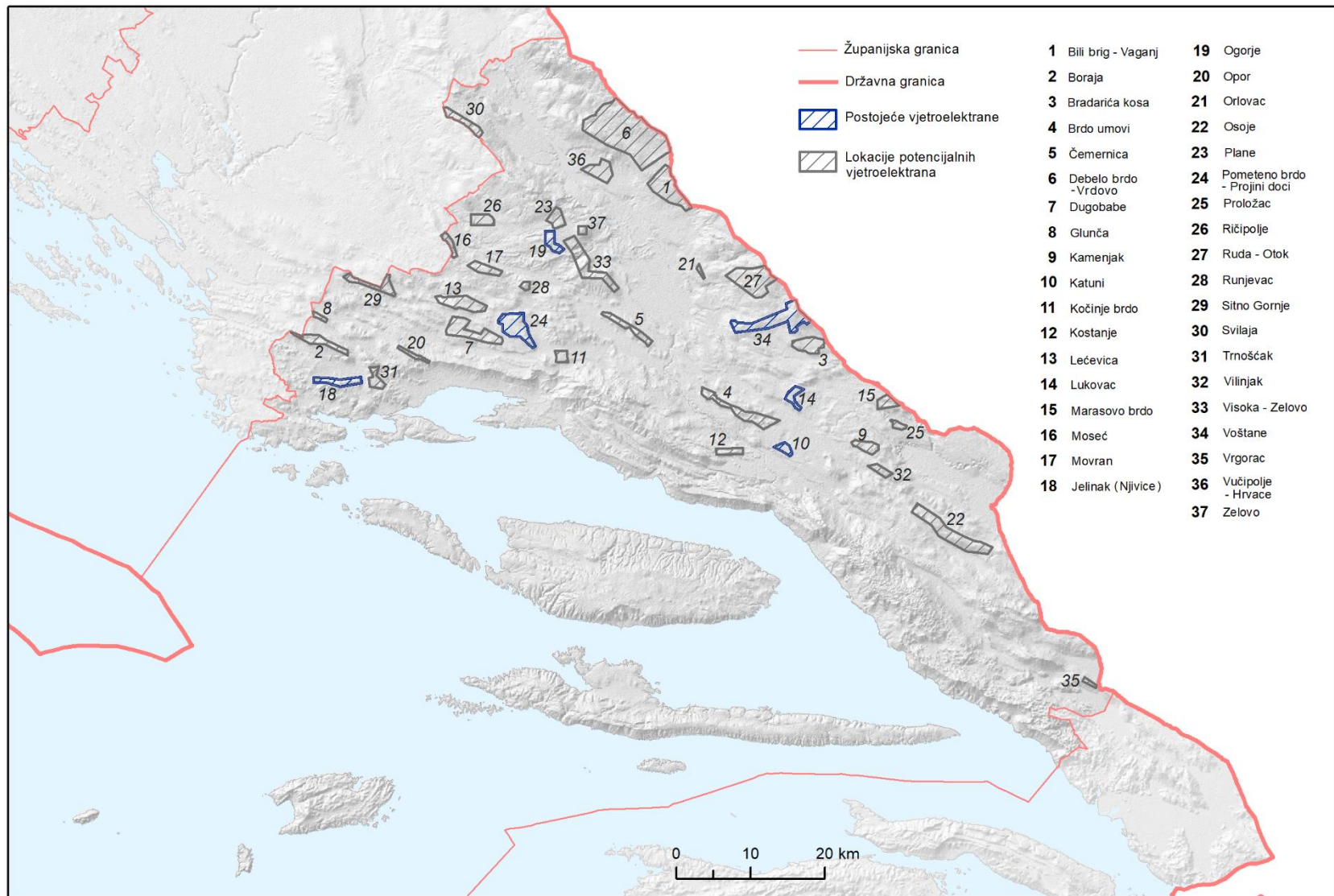
Izvor: Wind in power, 2017; Energy statistic, 2018

Ukupno instalirani kapaciteti vjetroelektrana u Europskoj uniji su početkom 2017. godine iznosili 154,3 GW, od čega je čak 72,5 % instalirano u četiri vodeće države po iskorištavanju energije vjetra (Njemačka, Španjolska, UK i Francuska). U Hrvatskoj je instalirano svega 0,3 % kapaciteta, a ako se u obzir uzme i različita površinu država, Hrvatska je na 17. mjestu (11,4MW na 1000 km<sup>2</sup>) po iskorištavanju energije vjetra u Europskoj uniji (34,9 MW na 1000 km<sup>2</sup>). O velikom potencijalu energije vjetra u Europi govori i činjenica da su u Danskoj vjetroelektrane jedan dan proizvele dovoljnu količinu električne energije za cijelu državu, dok su na godišnjoj razini 2016. godine zadovoljile 44,4 % potreba za električnom energijom, što je daleko iznad 7,9 % ostvarenih u Hrvatskoj (Energy statistic, 2018).

### **2.1.1. Iskorištavanje energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji**

Splitsko-dalmatinska županija vlastitom energetsom proizvodnjom pokriva tek manji dio potrošnje energije, a proizvodnja električne energije uglavnom se svodi na pet velikih hidroelektrana (HE Peruća, HE Orlovac, HE Đale, HE Zakučac i HE Kraljevica)), ukupne instalirane snage 919,2 MW, što čini oko 43 % ukupne instalirane snage hidroelektrana u RH (Razvojna strategija SDŽ, 2011). S obzirom na to da potražnja za energijom i dalje raste, a hidropotencijal je velikim dijelom već iskorišten, Splitsko-dalmatinska županija se sve više okreće iskorištavanju energije sunca i vjetra, čiji je veliki potencijal neupitan.

Prve vjetroelektrane u Splitsko-dalmatinskoj županiji grade se tek 2013. godine (VE Jelinak i VE Voštane), nakon čega slijedi nešto brži razvoj (tab. 1). Do 2017. godine izgrađene su još četiri vjetroelektrane (VE Ogorje, VE Pometno Brdo, VE Katuni, VE Lukovac) čime je postala vodeća županija po broju i ukupno instaliranom kapacitetu vjetroelektrana (220,0 MW). S ciljem što uspješnijeg integriranja vjetroelektrana u prostor, unutar Prostornog plana Splitsko-dalmatinske županije definirane su osnovne smjernice i zakonska ograničenja izgradnje vjetroelektrana na prostoru županije koje su detaljnije razmotrene prilikom definiranja kriterija u poglavlju 3.1. Prostornim planom je određeno 37 makrolokacija za izgradnju vjetroelektrana čija ukupna površina iznosi 231 km<sup>2</sup> (sl. 10 i Prilog 2). Najveći broj makrolokacija smješten je u širem zaleđu grada Splita, što je rezultat velike koncentracije stanovništva i gospodarskih djelatnosti u njegovoj okolini, a time i velikih potreba za energijom. Nešto veći broj makrolokacija određen je i uz granicu s Bosnom i Hercegovinom, dok se prema jugu županije njihov broj znatno smanjuje.



Sl. 10. Postojeće vjetroelektrane te lokacije potencijalnih vjetroelektrana definiranih u Prostornom planu Splitsko-dalmatinske županije

### 3. MULTIKRITERIJSKA ANALIZA

#### 3.1. Odabir kriterija

Odabir lokacija za izgradnju vjetroelektrana težak je i zahtjevan proces koji iziskuje usklađivanje velikog broja različitih i najčešće konfliktnih kriterija. Izboru kriterija mora se pokloniti maksimalna pažnja, jer ako su oni loše odabrani, preblago ili prestrogo definirani ili ako za njih nisu dostupni pouzdani podaci, mogu se dogoditi velike greške u konačnom rezultatu. Stoga je poželjno primijeniti samo najrelevantnije kriterije koji će eliminirati najveće područje i tako definirati okvirne lokacije vjetroelektrana, koje se u sljedećim fazama detaljnije analiziraju na temelju terenskih istraživanja kojima se prikupljaju pouzdani podaci potrebni za implementaciju preostalih kriterija (Krpan i dr., 2012).

Pregledom dosadašnjih istraživanja utvrđeno je da ne postoje ujednačeni kriteriji za odabir optimalnih lokacija vjetroelektrana kao da niti kriteriji, odnosno, zone ograničenja nisu jednako kvantificirane, što jednim dijelom proizlazi i iz različitih obilježja i zakonskih regulativa istraživanih prostora. Kako bi odabrani faktori bili relevantni za prostor Splitsko-dalmatinske županije, temeljni okvir bio je Prostorni plan Splitsko-dalmatinske županije u kojemu su definirane osnovne zakonske regulative izgradnje vjetroelektrana na njenom prostoru. Međutim, navedene zakonske regulative najčešće nisu precizno definirane te ne uključuju sve relevantne kriterije. Stoga su one nadopunjene na temelju opsežnog pregleda literature i dosadašnjih istraživanja, imajući pri tome u vidu fizička i društveno-geografska obilježja istraživanog prostora. Pregled kriterija korištenih u prethodnim istraživanjima prikazan je u Prilogu 1, te je detaljnije objašnjen u daljnjem tekstu.

Za određivanje potencijalnih vjetroelektrana u Splitsko-dalmatinskoj županiji odabrano je ukupno 13 kriterija, koji su svrstani u tri kategorije: ekonomski, socijalni i okolišni kriteriji (tab. 2). Najviše pažnje posvećeno je određivanju zona ograničenja, odnosno nepogodnih prostora za izgradnju vjetroelektrana prema određenom kriteriju. Kako bi bila moguća preciznija evaluacija pogodnosti, preostali prostor klasificiran je u tri kategorije: slabo pogodno, pogodno i izrazito pogodno. Kako bi bilo moguće vršiti matematičke operacije nad slojevima podataka, svakom stupnju pogodnosti dodijeljena je brojčana ocjena od 0 do 3.

Tab. 2. Zone pogodnosti odabranih ekonomskih, socijalnih i okolišnih kriterija

| Kriteriji                       |                                       | Ocjena pogodnosti      |                             |                                   |                                      |                  |
|---------------------------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------|
|                                 |                                       | Nepogodno              | Slabo pogodno               | Pogodno                           | Izrazito pogodno                     |                  |
|                                 |                                       | 0                      | 1                           | 2                                 | 3                                    |                  |
| Ekonomski kriteriji             | Brzina vjetra na 100 m od tla         |                        | < 3 m/s                     | 3 – 6 m/s                         | 6 – 8 m/s                            | ≥ 8 m/s          |
|                                 | Nagib padina                          |                        | > 60 %                      | 20 – 60 %                         | 10 – 20 %                            | ≤ 10 %           |
|                                 | Udaljenost od elektroenergetske mreže |                        | ≤ 0,2 ILI > 10 km           | 6 – 10 km                         | 2 – 6 km                             | 0,2 – 2 km       |
|                                 | Udaljenost od ceste                   | Autoceste i brze ceste | ≤ 0,5 ILI > 10 km           | 6 – 10 km                         | 2 – 6 km                             | 0,5 – 2 km       |
| Ostale asfaltirane ceste        |                                       | ≤ 0,2 ILI > 10 km      | 6 – 10 km                   | 2 – 6 km                          | 0,2 – 2 km                           |                  |
| Socijalni kriteriji             | Udaljenost od naselja                 | Urbana                 | ≤ 0,5 km                    | 0,5 – 2 km                        | 2 – 4 km                             | > 4 km           |
|                                 |                                       | Ruralna                | ≤ 0,5 km                    | 0,5 – 1 km                        | 1 – 2 km                             | > 2 km           |
|                                 | Udaljenost od obale                   |                        | ≤ 1 km                      | 1 – 3 km                          | 3 – 5 km                             | > 5 km           |
|                                 | Vidljivost s obale                    |                        | DA                          | –                                 | –                                    | NE               |
|                                 | Udaljenost od zračnih luka            | S radarom              | ≤ 2,5 km                    | 2,5 – 5 km                        | 5 – 7,5 km                           | > 7,5 km         |
|                                 |                                       | Bez radara             | ≤ 1 km                      | 1 – 2 km                          | 2 – 3 km                             | > 3 km           |
| Udaljenost od željezničke mreže |                                       | ≤ 0,2 km               | > 6 km                      | 2 – 6 km                          | 0,2 – 2 km                           |                  |
| Okolišni kriteriji              | Način korištenja zemljišta            |                        | Izgrađene i vodene površine | Šumsko i poljoprivredno zemljište | Grmolika vegetacija i sukcesija šume | Niska vegetacija |
|                                 | Udaljenost od zaštićenih prostora     |                        | ≤ 1 km                      | 1 – 2 km                          | 2 - 3 km                             | < 3 km           |
|                                 | Udaljenost od NATURA 2000 prostora    | POP                    | ≤ 0,5 km                    | 0,5 – 1 km                        | 1 – 1,5 km                           | > 1,5 km         |
|                                 |                                       | POVS                   | -                           | 0 – 1 km                          | 1 – 1,5 km                           | > 1,5 km         |
| Udaljenost od kopnenih voda     |                                       | ≤ 0,2 km               | 0,2 km – 1 km               | 1 – 3 km                          | > 3 km                               |                  |

### 3.1.1. Ekonomski kriteriji

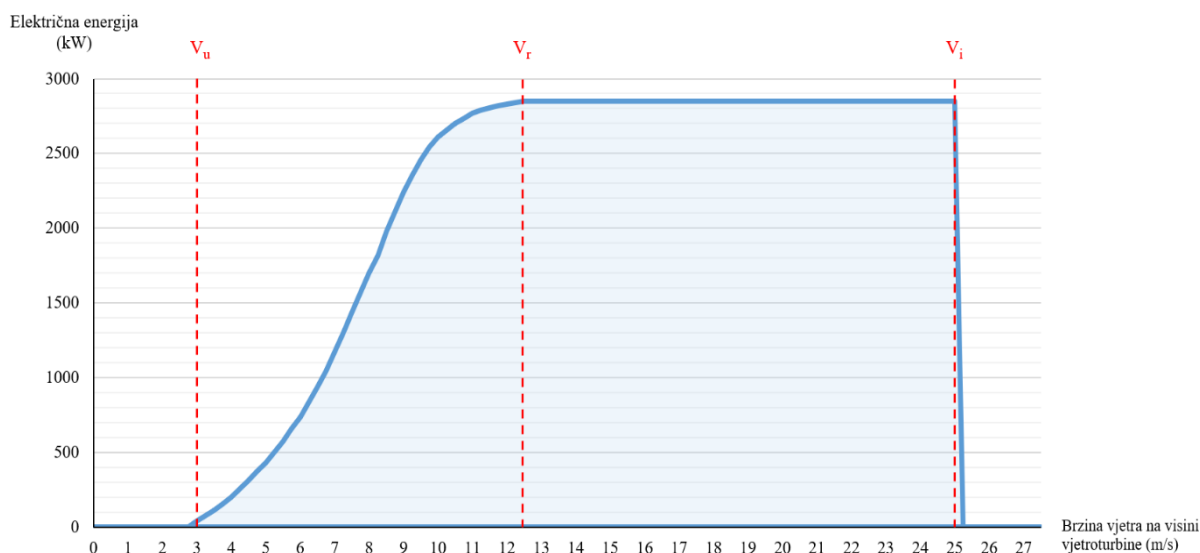
Unatoč konstantnom smanjenju troškova, izgradnja vjetroelektrana i dalje zahtijeva velika početna ulaganja. Kako bi vratili početna ulaganja i ostvarili ekonomsku dobit, investitori će podržati samo one projekte koji mogu proizvesti električnu energiju po cijeni koja je konkurentna konvencionalnim izvorima energije (Pamučar i dr., 2017). Stoga se u procesu odabira lokacije vjetroelektrana ekonomskom aspektu pridaje najveća pažnja. Najveći trošak prilikom izgradnje vjetroelektrana predstavljaju sami vjetroagregati (68–84 % ukupne investicije), dok prostorno ovisni troškovi iznose otprilike 15–20 % ukupne investicije te obuhvaćaju cijenu zemljišta, postavljanje temelja, izgradnju pristupnih cesta, čišćenje terena, tj. uklanjanje vegetacije te priključenje na elektroenergetsku mrežu (van Haaren i Fthenakis, 2011). Prema tome, ključni ekonomski kriteriji za odabir lokacija vjetroelektrana su brzina vjetra, udaljenost od elektroenergetske mreže, udaljenost od cesta i nagib padina, koji su uključeni i u ovo istraživanje.

Iako su brzina vjetra i nagib padina prvenstveno fizičko-geografski čimbenici, zbog njihova velikog utjecaja na ekonomsku isplativost projekta, puno češće ih se smatra ekonomskim kriterijima (Noorollahi i dr. 2016; Bobeck, 2017), nego što ih se izdvaja u zaseban fizičko-geografski model (Baban i Parry, 2001; Chamenehpur i dr., 2017).

**Prosječna godišnja brzina vjetra** u određenom području uključena je u gotovo svaku studiju i uglavnom se smatra osnovnim kriterijem od kojeg se kreće u odabir lokacije vjetroelektrana, kao i u odabir broja i prostornog razmještaja pojedinačnih vjetroagregata (van Haaren i Fthenakis, 2011; Hofer i dr., 2016). Važnost navedenog kriterija proizlazi iz činjenice da je vjetar izrazito promjenjiv resurs koji se ne može skladištiti ni transportirati. Stoga proizvodnja energije, a time i ekonomska učinkovitost projekta, snažno ovisi o lokalnim resursima vjetra (Dizdarević i dr., 2003).

Sl. 11 prikazuje ovisnost proizvodnje energije i brzine vjetra za vjetroagregat General Electric – 2,85 MW, koji je korišten pri izgradnji posljednje dvije vjetroelektrane na prostoru Hrvatske. Krivulja jasno ističe tri karakteristične brzine vjetra koje su ključne za rad vjetroagregata. Minimalna brzina vjetra koja je potrebna za pokretanje vjetroturbine i početak proizvodnje električne energije naziva se ulazna brzina ( $V_u$ ), dok se brzina vjetra pri kojoj vjetroturbina postiže najveću snagu naziva referentna brzina ( $V_r$ ). Daljnjim povećanjem brzine nakon one referentne, ovisno o tipu i karakteristikama vjetroturbine, snaga ostaje ista ili se čak smanjuje sve dok ne dosegne izlaznu brzinu ( $V_i$ ), tj. brzinu pri

kojoj se aktiviraju mehaničke kočnice te pri kojoj u potpunosti prestaje rotacija i proizvodnja električne energije zbog opasnosti od oštećenja vjetroturbine, a time i zbog sigurnosti ljudi i objekata u blizini (Dizdarević i dr., 2003, Nawri i dr., 2014). Velika većina vjetroturbina proizvodi energiju pri brzinama od 3 do 25 m/s, a najveću snagu postižu pri brzinama od 12 do 16 m/s (Chamanehpour i dr., 2017 prema Weisser, 2013).



Sl. 11. Proizvodnja električne energije ovisno o brzini vjetra na visini vjetroturbine za vjetroagregat General Electric – 2,85 MW

Izvor: General Electric GE 2.85, n.d.

Dok većina autora za granicu minimalne prosječne brzine uzima 3 m/s, neki autori tu granicu podižu na 5 m/s (Babban i Parry, 2001; Crill i dr., 2010) ili 6 m/s (Voivontas i dr., 1998; Wang i dr., 2014; Höfer i dr., 2016) te ističu kako gradnja vjetroelektrana na nižim prosječnim brzinama nije ekonomski isplativa. No s obzirom na slabiji teoretski potencijal energije vjetra Splitsko-dalmatinske županije u odnosu na prostore obuhvaćene tim istraživanjima, odlučeno je granicu ipak ostaviti na 3 m/s. Odnosno, prostori s prosječnom brzinom vjetra manjom od 3 m/s ocijenjeni su nepogodnim za izgradnju vjetroelektrana, dok su prostori s prosječnim brzinama vjetra od 3 do 6 m/s ocijenjeni kao slabo pogodni. Imajući u vidu maksimalne vrijednosti srednje brzine vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji, prostori u kojima je srednja brzina vjetra između 6 i 8 m/s ocijenjeni su kao pogodni, a prostori u kojima srednja brzina vjetra prelazi 8 m/s kao izrazito pogodni.

**Nagib padina** uvjetuje pristupačnost terena za izgradnju i održavanje vjetroagregata. Velik nagib može biti ograničavajući faktor za pristup kamiona i dizalica potrebnih za transport i montiranje poprilično velikih i teških komponenti vjetroagregata, a s povećanjem nagiba povećavaju se i troškovi izgradnje i održavanja (Sunak i dr., 2015; Baseer i dr., 2017). U literaturi, maksimalni dozvoljeni nagib za izgradnju vjetroelektrana značajno varira (Prilog 1). Dok jedni preferiraju zaravnjen prostor, a granicu stavljaju na 10 % (Babban i Parry, 2001; Atici i dr., 2015), drugi preferiraju grebene te granicu maksimalnog nagiba postavljaju na čak 84 % (Rodman i Meentmeyer, 2006). U nekoliko studija nagib uopće nije razmatran kao faktor (Aydin i dr., 2010; Mathew i dr., 2014). Zbog takve neusklađenosti, provedena je analiza nagiba padina na kojima su izgrađeni pojedinačni vjetroagregati na prostoru cijele Hrvatske, čime je utvrđeno da je najveći nagib na kojem je izgrađen pojedinačni vjetroagregat 57 %.

U skladu s tim, odlučeno je granicu maksimalnog dozvoljenog nagiba za izgradnju vjetroagregata postaviti na 60 %, dok su nešto češće vrijednosti korištene u sličnim istraživanjima postavljene kao granične vrijednosti razreda „pogodnost“. Tako su nagibi padina od 0 do 10 % ocijenjeni kao izrazito pogodni, nagibi od 10 do 20 % kao pogodni, a nagibi od 20 do 60 % kao slabo pogodni.

**Udaljenost od elektroenergetske mreže** je najvažniji faktor u pogledu smanjenja troškova izgradnje vjetroelektrana. Budući da proizvodnja energije iz vjetroelektrana snažno ovisi o brzinama vjetra koje su vrlo promjenjive, njihova integracija u elektroenergetsku mrežu zahtijeva izgradnju posebnih sustava za rukovanje, skladištenje i prijenos energije. Kako bi se kompenzirali ovi troškovi, ali i smanjili troškovi izgradnje i integracije novih dalekovoda, trafostanica i drugih objekata kao i troškova povezanih s gubitkom energije tijekom dugih udaljenosti prijenosa, vjetroelektrane se teži smjestiti u neposrednu blizinu postojeće elektroenergetske mreže (Bobeck, 2017; Latinopoulos i Kechagia, 2015). Ovisno o instaliranom kapacitetu, vjetroelektrane su spojene na mrežu visokog napona (110 kV) ili srednjenaponsku mrežu (10, 20 i 35 kV). Stoga su niskonaponske mreže isključene iz analize.

Većina autora maksimalnu udaljenost vjetroelektrana od elektroenergetske mreže postavlja na 10 kilometara, koja je prvi put predložena u istraživanju autora Baban i Parry, (2001.), a primijenjena je i u ovom istraživanju. Uz maksimalnu udaljenost, zbog rizika od nesreća, potrebno je definirati i minimalnu udaljenost, koja bi otprilike trebala iznositi dvije visine vjetroagregata (Wind Energy Guideline, 2016). S obzirom na to da odabrana visina



stupa vjetroagregata iznosi 100 metara, minimalna granica postavljena je na 200 metara, što odgovara i najčešće korištenim vrijednostima u literaturi (Siyal i dr., 2015; Gigović i dr., 2016). Udaljavanjem od elektroenergetske mreže smanjuje se pogodnost prostora za izgradnju vjetroelektrana, a točne granice zona pogodnosti vidljive su u tab. 2.

**Udaljenost od cesta** također je važan i u istraživanjima često korišten ekonomski faktor. Zbog transporta teške mehanizacije i komponenti, pristupni putevi trebaju biti dovoljno široki (obično 4 metra) i imati asfaltiranu površinu (Höfer i dr., 2016), što u slučaju potrebe gradnje dugih pristupnih cesta značajno povećava troškove izgradnje i održavanja vjetroelektrana (Latinopoulos i Kechaiga, 2015; van Haaren i Fthenakis, 2011; Janke, 2010). Smještanje vjetroelektrana u blizinu postojeće cestovne mreže ima pozitivan utjecaj i na okoliš, jer se smanjuje njegova degradacija (krčenje šuma, uništavanje staništa), a i činjenica da su vjetroelektrane smještene u blizinu već degradiranih površina (nastalih izgradnjom autocesta, cesta, pruga, itd.), prema mišljenju nekih autora, može pozitivno utjecati na stavove stanovništva (Höfer i dr., 2016). Uz navedeno, istraživanja (Kaldellis, 2005; Eltham i dr., 2008) su pokazala da ljudi koji su imali doticaj s vjetroelektranama imaju pozitivniji stav od onih koji nisu, prema čemu smještanje vjetroelektrana uz ceste, kojima se kreće veliki broj ljudi iz različitih prostora, također može pozitivno utjecati na njihov stav i prihvaćanje izgradnje vjetroelektrana u blizini njihovog boravišta.

Iako se preferira izgradnja vjetroelektrana na što manjim udaljenostima od cesta, zbog sigurnosnih razloga, ipak je potrebno napraviti određeni odmak. Naime, izgradnja vjetroagregata neposredno uz ceste povećava opasnost od nesreća uzrokovanih letećim fragmentima leda i dijelova oštećenih lopatica vjetroturbina, ili pak može izazvati smetnje kod vozača zbog efekta treperenja sjene te refleksije sunčevih zraka. Prema prostornom planu Splitsko-dalmatinske županije vjetroelektrane trebaju biti udaljene minimalno 500 metara od cesta visoke uslužnosti (autoceste i brze ceste) te 200 metara zračne linije od ostalih cesta. Maksimalna udaljenost nije strogo definirana te u literaturi varira od 2500 do 10 000 metara. U ovom istraživanju maksimalna udaljenost postavljena je na 10 kilometara, što je najčešće korištena udaljenost u dosadašnjim istraživanjima te odgovara maksimalnoj udaljenosti od dalekovoda.

### 3.1.2. Socijalni kriteriji

Protivljenje lokalne zajednice jedna je od najvećih prepreka izgradnji vjetroelektrana. Kako bi se umanjili negativni i potaknuli pozitivni stavovi stanovništva, odnosno kako bi se spriječili protesti i omogućila provedba projekata izgradnje vjetroelektrana, nužno je u proces planiranja uključiti socijalni aspekt. Istraživanja socijalnog prihvaćanja (Kaldellis, 2005; Eltham i dr., 2008) pokazala su da je stav prema vjetroelektranama pozitivniji u prostorima u kojima su već prisutne vjetroelektrane, dok je negativniji u prostorima bez vjetroelektrana, što ukazuje na činjenicu da iskustvo boravka u njihovoj blizini i veći stupanj informiranosti stanovništva mogu pozitivno utjecati na javno mišljenje i prihvaćanje ovog izvora energije, uz uvjet da su pri njihovoj izgradnji poštovani svi socijalni kriteriji. Za kreiranje socijalnog modela odabrano je pet faktora: udaljenost od naselja, udaljenost od obale, vidljivost s obale, udaljenost od zračnih luka i udaljenost od željezničke mreže.

**Udaljenost od naselja** je najvažniji socijalni kriterij čijom implementacijom mogu biti umanjeni ili potpuno uklonjeni utjecaj buke, efekt treperenja sjene te vizualni utjecaj vjetroelektrana. Smještanje na što većim udaljenostima od naselja ima pozitivan utjecaj i na sam rad vjetroelektrana, jer se izbjegava negativni utjecaj turbulencija vjetra i efekta sjene uzrokovanih stambenim objektima (Drews, 2012).

Prema zakonskim regulativama Splitsko-dalmatinske županije strogo je zabranjena gradnja vjetroelektrana u zoni od 500 metara oko naselja, što je i najčešće korištena vrijednost u dosadašnjim istraživanjima. Naime, na udaljenosti od 500 metara utjecaj buke<sup>3</sup> i efekta treperenja sjene je zanemariv, te nema opasnosti za stanovništvo, no vizualni utjecaj je i dalje izrazito velik. Prema mišljenju stručnjaka, tek na udaljenosti od 1000 do 1500 metara vizualni utjecaj je smanjen na prihvatljivu razinu (Sunak, 2015; Höfer, 2016), ali pri tome treba uzeti u obzir i broj stanovnika koji je njemu izložen. Stoga neki autori prilikom definiranja zona razlikuju ruralna i urbana naselja (Harrison, 2012; Farajzadeh i Taghilo, 2013; Whang i dr., 2014). S obzirom na to da u zakonskim regulativama Splitsko-dalmatinske županije nisu razlikovana urbana i ruralna naselja, zona ograničenja u ovom

---

<sup>3</sup> U zakonu Republike Hrvatske definirano je da, ovisno o uvjetima, razina buke u stambenim i poslovnim područjima ne smije prelaziti 40 do 65 Db (ovisno o namjeni prostora i vremenu). Iako se tek detaljnom analizom može utvrditi potrebna udaljenost vjetroelektrana od naselja, jer razina buke ovisi o jačini izvora buke, smjeru i jačini puhanja vjetra, postojanju fizičkih prepreka te tlaku i vlažnosti zraka, generalno se smatra da je udaljenost od 500 metara dovoljna kako bi se buka svela na prihvatljivu razinu (R. van Haaren, V. Fthenakis, 2011).

istraživanju postavljena je na 500 metara za oba tipa naselja, a njihova različitost uvažena je u definiranju daljnjih zona pogodnosti. Tako je udaljenost od 500 do 1000 metara oko ruralnih naselja ocijenjena kao slabo pogodna, od 1000 do 1500 kao pogodna te udaljenost od 1500 metara kao izrazito pogodna. S obzirom na udaljenost od urbanih naselja, prostori udaljeni 500 do 2000 metara ocijenjeni su kao slabo pogodni, od 2000 do 4000 metara kao pogodni dok su prostori udaljeni više od 4000 metara ocijenjeni kao izrazito pogodni. S ciljem smanjenja troškova održavanja i smanjenja gubitaka prijenosa energije na velike udaljenosti, pojedini autori definiraju i maksimalnu udaljenost od urbanih naselja (Harrison, 2012), no zbog velikog broja i prostornog razmještaja naselja u Splitsko-dalmatinskoj županiji u ovom istraživanju nema potrebe za tim.

Vjetroelektrane mogu imati negativan utjecaj i na turističku atraktivnost nekog prostora (prvenstveno zbog degradacije okoliša i snažnog vizualnog utjecaja) te se izbjegava njihova izgradnja u blizini turistički atraktivnih prostora, iako postoje primjeri u kojima su vjetroelektrane uspješno pretvorene u turističke atrakcije. Zbog snažne usmjerenosti Splitsko-dalmatinske županije na razvoj turizma, čiji je ključni prirodni resurs obala Jadranskog mora, posebna pažnja unutar socijalnog modela usmjerena je na očuvanje obalnog pojasa, i to kroz kriterije **udaljenosti od obale i vidljivosti vjetroelektrana s obale**.

U svrhu zaštite prirodnih, kulturno-povijesnih i tradicijskih vrijednosti obalnog krajolika, te održivog, svrhovitog i gospodarski učinkovitog korištenja, Zakonom o prostornom uređenju je 2004. proglašeno Zaštićeno obalno područje (u daljnjem tekstu ZOP) unutar kojeg je, između ostaloga, zabranjena izgradnja vjetroelektrana. ZOP je definiran kao pojas kopna u širini od 1000 metara od obalne crte, pojas mora u širini od 300 metara od obalne crte i svi otoci. Prema tome, otocima je uskraćena mogućnost razvoja vjetroelektrana te je obustavljeno nekoliko takvih projekata koji su bili u razvoju. Međutim, novim Zakonom o prostornom uređenju 2013. godine, iznova je definiran ZOP, ovaj put kao pojas kopna 1000 metara od obalne linije i pojas mora 300 metara od obalne linije. S obzirom na to da nema posebnih referenci na otoke, gradnja vjetroelektrana na otocima je opet postala moguća, na područjima koja su udaljena 1000 metara od obalne linije (Vjetroelektrane na otocima, 2014). Udaljavanjem od obale raste pogodnost prostora za izgradnju vjetroelektrana. Tako su prostori udaljeni 1 do 3 kilometra od obale ocijenjeni kao slabo pogodni, od 3 do 5 kilometara kao pogodni, te oni udaljeniji od 5 kilometara kao izrazito pogodni.

**Vidljivost vjetroelektrana s obale i okolnog akvatorija** strogo je definiran kriterij u prostornom planu Splitsko-dalmatinske županije: „vjetroelektrane i ostali pogoni za korištenje energije vjetra koji se planiraju u obalnom dijelu ne smiju biti vidljivi s obale i okolnog akvatorija“. Navedeno ograničenje u prostornom planu potvrđuje činjenicu da je vizualni utjecaj jedna od najvećih briga lokalnog stanovništva zbog njegove velike estetske vrijednosti. Za razliku od ostalih kriterija, ovaj kriterij klasificiran je u dvije kategorije: prostori na kojima bi vjetroelektrane bile vidljive s obale i okolnog akvatorija ocijenjeni su kao nepogodni (0), a oni koji nisu vidljivi kao izrazito pogodni (3).

**Udaljenost od zračnih luka** je kriterij koji je nužno uzeti u obzir kako bi se osigurala sigurnost zračnog prometa. Osim što svojom veličinom vjetroagregati predstavljaju značajne fizičke prepreke u zoni niskog leta oko aerodroma, imaju i brojne druge negativne učinke na zračni promet. Naime, rotacija lopatica vjetroturbina uzrokuje Doplerov efekt, što u neposrednoj blizini aerodroma izaziva smetnje u komunikacijskim, navigacijskim i radarskim sustavima kontrole leta, a ne smiju se zanemariti niti snažne turbulencije koje utječu na stabilnost leta, posebno manjih zrakoplova. Tijekom manevara blizu tla vjetroagregati mogu biti značajna prepreka vidljivosti, a tijekom noći ih je gotovo nemoguće uočiti ako nisu pravilno osvijetljeni. Stoga zrakoplovna industrija zahtijeva obavezno postavljanje svjetlosnih markera na svaki vjetroagregat, što pak izaziva negodovanje i snažno protivljenje lokalne zajednice (Harrison, 2012; Aydin i dr., 2010). Točna veličina zone oko aerodroma unutar koje je zabranjena izgradnja vjetroelektrana snažno ovisi o karakteristikama aerodroma, o broju, visini, rasporedu i orijentaciji vjetroagregata te topografiji terena, a može se utvrditi tek detaljnom analizom. Međutim, u preliminarnoj fazi odabira lokacija dovoljno je definirati zonu ograničenja koja prema posljednjim istraživanjima u europskim državama treba imati radijus od 2,5 kilometra (Latinopoulos i Kechagia, 2015; Sliz-Szkliniarz i Vogta, 2011). Međutim, to se odnosi samo na zračne luke koje imaju radarske sustave, dok je oko malih zračnih pristaništa bez radara dovoljno definirati zonu od 1 kilometra. Daljnja kvantifikacija kriterija po razredima pogodnosti vidljiva je u tab. 2.

**Udaljenost od željezničke mreže** je kriterij koji se prvenstveno koristi zbog postizanja sigurnosti željezničkog prometa, te ima najmanji utjecaj na rezultat istraživanja od odabranih kriterija. Kao i kod cestovne mreže, zona ograničenja iznosi 200 metara, te se prostori bliže željezničkoj mreži smatraju pogodnijim zato što su bliže već degradiranom prostoru te omogućavaju iskustvo boravka u blizini vjetroelektrana.

### 3.1.3. Okolišni kriteriji

Mnogi primjeri dokazuju kako se u procesu odabira lokacija vjetroelektrana, najmanja pažnja posvećuje okolišnim kriterijima, a nekada ih se čak i potpuno zanemaruje, što može imati opasne posljedice na okoliš, ali i na ljude. Potencijalni negativni utjecaji vjetroelektrana na okoliš koji su opisani u uvodnom dijelu rada, mogu se umanjiti ili potpuno ukloniti ako se u proces odabira lokacija vjetroelektrana uključe kriteriji poput načina korištenja zemljišta, udaljenosti od zaštićenih područja i ostalih ekološki značajnih područja te udaljenosti od kopnenih voda.

**Način korištenja zemljišta** utječe na pogodnost prostora za izgradnju vjetroelektrana kroz nekoliko aspekata. Najvažniji je ekološki aspekt, tj. utjecaj na okoliš koji se očituje u uništavanju vegetacije, a time i staništa. Ekonomski aspekt očituje se u različitim troškovima čišćenja zemljišta koji snažno ovise o tipu vegetacije (van Haaren i Fthenakis, 2011; Baseer, 2017). O tipu, odnosno, visini vegetacije ovisi i hrapavost površine koja onda utječe na brzinu vjetra, a time i na produktivnost vjetroagregata (Radoš, 2017). Za sve navedene aspekte, u literaturi je široko prihvaćeno da su prostori s nižim vegetacijskim vrstama pogodniji za izgradnju vjetroelektrana nego više vrste. Poljoprivredne površine smatraju se najpogodnijim za izgradnju vjetroagregata, jer se nakon izgradnje vjetroagregata mogu brzo regenerirati, ali i donijeti dodatan prihod vlasnicima zemlje (Harrison, 2012; Janke, 2010). Šumske površine se smatraju najmanje pogodnim zbog visoke ekološke vrijednosti, velike hrapavosti površine te najvećih troškova krčenja u odnosu na ostale načine korištenja zemljišta. Dok neki autori šumske prostore smatraju nepogodnim, drugi čak definiraju i zonu ograničenja oko njih (Baban i Parry, 2001; Crill i dr., 2010).

Iako je navedeno široko prihvaćeno, s obzirom na obilježja istraživanog prostora moguće su varijacije (Baban i Parry, 2001), kao što je slučaj i sa Splitsko-dalmatinskom županijom. S obzirom na pretežno vapnenački sastav, tj. mali udio plodnog i obradivog zemljišta potrebno je očuvati taj prostor. Stoga je poljoprivredno zemljište sa šumskim površinama u ovom istraživanju ocijenjeno kao slabo pogodno za izgradnju vjetroelektrana. U prostornom planu Splitsko-dalmatinske županije posebna pozornost usmjerena je na poljoprivredna zemljišta prve i druge bonitetne skupine, na kojima se zabranjuje izgradnja vjetroelektrana. No, zbog nedostupnosti podataka, nije bilo moguće izdvojiti zemljišta prve i druge bonitetne skupine, a s obzirom na to da ona čine tek mali udio ukupne površine

poljoprivrednih zemljišta, cijela kategorija ocijenjena je kao slabo pogodna. Izdvojena su jedino zemljišta na kojima je uznapredovao proces sukcesije šume pa su smatrana nešto pogodnijim za izgradnju vjetroelektrana, odnosno ocijenjena su kao pogodna zajedno s prostorima grmolike vegetacije. Prostori bez vegetacije ili oni s niskom vegetacijom ocijenjeni su kao izrazito pogodni, dok su izgrađeni prostori i vodene površine ocijenjene nepogodnima za izgradnju vjetroelektrana.

**Zaštićena područja** su zbog svoje velike bioraznolikosti i/ili georaznolikosti te naglašene ekološke, krajobrazne ili kulturno-povijesne vrijednosti, zakonskim regulativama isključene iz razvoja iskorištavanja energije vjetra. U Republici Hrvatskoj su zaštićena područja definirana kroz sedam različitih kategorija (strogi rezervat, nacionalni park, park prirode, posebni rezervat, regionalni park, spomenik prirode, značajni krajobraz, park-šuma i spomenik parkovne arhitekture) te su unatoč različitom stupnju zaštite, sve navedene kategorije u ovom istraživanju tretirane isto, tj. kao nepogodne za razvoj vjetroelektrana. Međutim, slijedeći dosadašnja istraživanja nije dovoljno samo isključiti navedene prostore, već i određenu zonu okolo njih koja najčešće iznosi jedan kilometar (Bobeck, 2017; Wang, 2014), što je prihvaćeno i u ovom istraživanju.

**Ekološka mreža Natura 2000** je jedan od osnovnih mehanizama zaštite ugroženih vrsta i stanišnih tipova koja su osobito značajna za Europsku uniju i njezine članice. Ekološku mrežu čine područja značajna za očuvanje i ostvarivanje povoljnog stanja divljih vrsta ptica, kao i njihovih staništa (POP), te područja značajna za očuvanje i ostvarivanje povoljnog stanja drugih divljih vrsta i njihovih staništa (POVS). Definiranje takvih prostora i njihovo rano uključivanje u proces odabira lokacija vjetroelektrana, znatno može doprinijeti očuvanju ugroženih vrsta i staništa. Prema tome, smjernice Europske unije za razvoj energije vjetra jasno predlažu isključivanje navedenih prostora za razvoj energije vjetra. Takva odluka temeljena je na istraživanju Europske agencije za okoliš (EEA), koje je dokazalo da čak i ako se sva Natura 2000 i druga područja namijenjena zaštiti prirode teoretski isključe iz razvoja energije vjetra, još uvijek će potencijal energije vjetra biti 3 do 7 puta veći od ukupno procijenjenih energetske potrebe u 2020. i 2030. godini na prostoru Europske unije (EU Guidance, 2011).

Iako u zakonskim regulativama RH, kao ni u prostornom planu županije ne postoji direktna referenca na Ekološku mrežu, te je navedeno samo da se vjetroelektrane moraju graditi u skladu s ekološkim kriterijima i mjerama zaštite okoliša, s posebnim osvrtom na

zaštitu ptica i šišmiša, u ovom istraživanju ipak je odlučeno prostore Natura 2000 ekološke mreže ocijeniti kao nepogodne za izgradnju vjetroelektrana, kao i zonu od 500 metara okolo Područja značajnih za očuvanje ptica i šišmiša.

**Udaljenost od kopnenih voda** je često korišten okolišni kriterij u istraživanjima, kojim se nastoji spriječiti njihovo onečišćenje, te mogući negativan utjecaj na njihovu floru i faunu. Naime, tijekom izgradnje vjetroelektrana koriste se različita opasna sredstva (boje, otapala, gorivo, maziva i slično) čija nesmotrena upotreba i odlaganje mogu dovesti do zagađenja površinskih i podzemnih voda. S obzirom na to da vjetroelektrane ne proizvode otpadne tvari, tijekom njihova rada znatno je manja opasnost od onečišćenja, no ono ipak može biti izazvano kapanjem ulja iz vjetroagregata uslijed slabog održavanja ili oštećenja (Studija o utjecaju na okoliš, 2016; Zhang, 2015). U dosadašnjim istraživanjima zona ograničenja oko kopnenih voda znatno varira, od 50 metara pa sve do tri kilometra, što bitno otežava njeno određivanje u ovom istraživanju. Po uzorima na novija istraživanja u prostorima bližim istraživanom, odlučeno je zonu ograničenja postaviti na 200 metara, dok su prostori udaljeniji više od tri kilometra ocijenjeni kao izrazito pogodni.

### 3.2. Izvor i obrada podataka

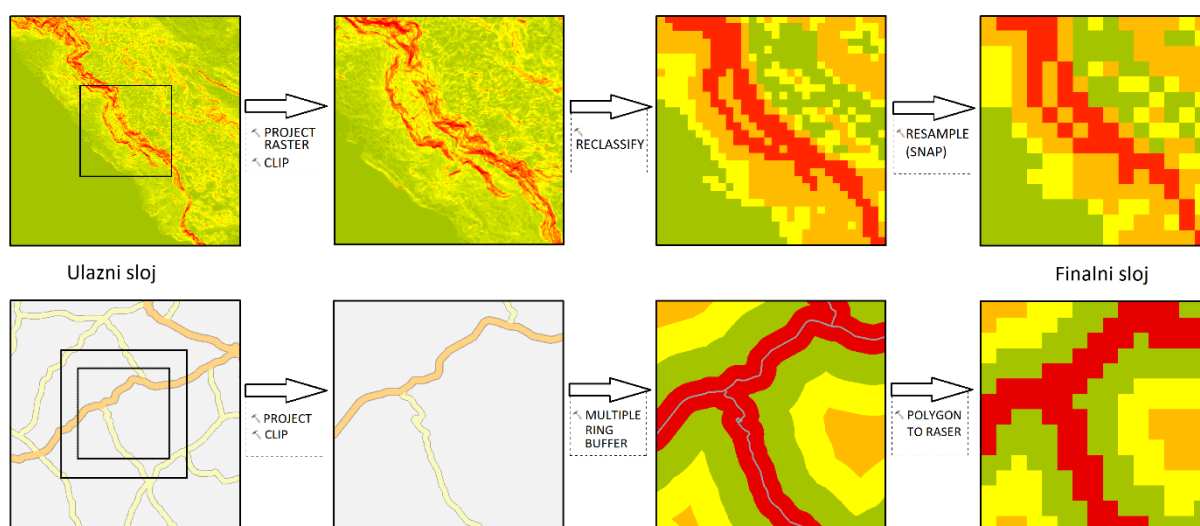
Ključan element svake analize u GIS-u su pouzdani i precizni podatci. Podatci potrebni za analizu geografskog potencijala energije vjetra Splitsko-dalmatinske županije prikupljeni su iz različitih izvora, u različitim formatima i s različitim karakteristikama prikazanim u tab. 3., stoga je potrebna njihova standardizacija i pretvorba u oblik prikladan za preklapanje slojeva i generiranje konačne karte koja ukazuje na optimalne lokacije za izgradnju vjetroelektrana. Svi procesi transformacije, modeliranja i analize podataka izvedeni su pomoću alata integriranih u programski paket ArcGIS 10.6., unutar kojeg je u velikoj mjeri korišten programski jezik Python, s ciljem brže i lakše manipulacije velike količine prostornih podataka i pojednostavljenja procesa njihove obrade. Iz istog razloga je za statističke analize korišten R programski jezik unutar programa RStudio.

Tab. 3. Izvori i karakteristike izvornih podataka korištenih za analizu odabranih kriterija

| Odabrani kriterij   |                                       | Izvor podataka                 | Struktura podataka | Rezolucija / Tip geometrije |
|---------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| Ekonomski kriteriji | Brzina vjetra (100 m od tla)          | Global Wind Atlas              | Raster             | 200 m                       |
|                     | Nagib padina                          | ASTER GDEM, NASA EarthData     | Raster             | 30 m                        |
|                     | Udaljenost od elektroenergetske mreže | Prostorni plan SDŽ             | -                  | -                           |
|                     |                                       | DOF5, Državna geodetska uprava | -                  | -                           |
| Udaljenost od cesta | Open Street Map                       | Vektor                         | Linija             |                             |
| Socijalni kriteriji | Udaljenost od naselja                 | Open Street Map                | Vektor             | Poligon                     |
|                     |                                       | DOF5, Državna geodetska uprava | -                  | -                           |
|                     | Vidljivost s obale                    | DEM, NASA EarthData            | Raster             | 30 m                        |
|                     | Udaljenost od aerodroma               | Open Street Map                | Vektor             | Točka                       |
| Okolišni kriteriji  | Način korištenja zemljišta            | Copernicus                     | Raster             | 100 m                       |
|                     | Udaljenost od voda                    | Bioportal                      | Vektor             | Poligon                     |
|                     | Zaštićeni dijelovi prirode            | Bioportal                      | Vektor             | Poligon                     |
|                     | Natura 2000                           | Bioportal                      | Vektor             | Poligon                     |



Prvi korak u obradi podataka je bila njihova transformacija u zajednički koordinatni sustav (HTRS96/TM), te svođenje na prostorni obuhvat istraživanja kako bi se smanjilo vrijeme potrebno za njihovu obradu. U procesu vrednovanja prostora u odnosu na svaki individualni kriterij bilo je potrebno napraviti nekoliko osnovnih koraka koji se razlikuju ovisno o rasterskoj ili vektorskoj strukturi izvornih podataka (sl. 12).



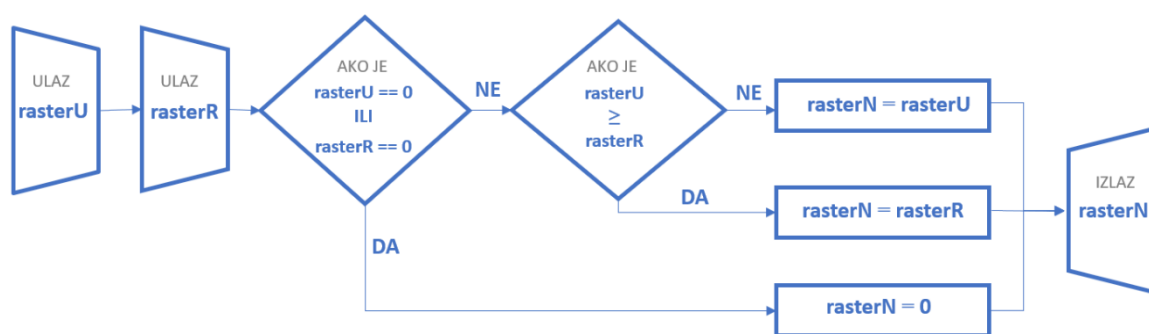
Sl. 12. Osnovni koraci u obradi vektorskih i rasterskih podataka

Prilikom preklapanja rasterskih slojeva važno je da ulazni rasteri imaju iste veličine ćelija koje su identično poravnate. Najmanju prostornu rezoluciju imali su podatci o srednjim brzinama vjetera, stoga je metodološki bilo najispravnije rasterske slojeve o načinu korištenja zemljišta (100x100 m) te nagibu padina i vidljivosti s obale koji su generirani iz digitalnog modela reljefa (30x30 m) generalizirati na prostornu rezoluciju 200x200 metara. Kako bi se u što većoj mjeri umanjile greške prilikom njihove generalizacije, izvorne vrijednosti rastera su prvo reklasificirane u zadane kategorije te su potom ćelije transformirane na zadanu veličinu. Vrijednosti rastera su reklasificirane tako da je svakoj ćeliji dodijeljena brojčana ocjena koja označava stupanj pogodnosti za izgradnju vjetroelektrana: 0 – nepogodno, 1 – slabo pogodno, 2 – pogodno, 3 – izrazito pogodno.

Vektorski podatci zahtijevali su nešto složeniju obradu. Zbog velikog opsega preuzetih vektorskih podataka, bilo je potrebno izdvojiti entitete koji su relevantni za određeni kriterij, pri čemu su u obzir uzeti i entiteti susjednih županija (unutar pojasa od 10 kilometara). Nakon provjere njihove točnosti te eventualnih ispravaka pogrešaka, oko vektorskih objekata su kreirane zone pogodnosti kojima su dodijeljene odgovarajuće brojčane ocjene i koje su u posljednjem koraku pretvorene u raster zadane razlučivosti.

Međutim, evaluacija istraživanog prostora prema većini kriterija je zahtijevala kombiniranje različitih oblika vektorskih podataka (naprimjer, točkastih i poligonskih objekata zaštićenih područja) ili pak kreiranje različitih zona ograničenja oko objekata različitih obilježja (naprimjer, udaljenost od urbanih i ruralnih naselja), koje su u konačnici trebale biti objedinjene u jedan rasterski sloj.

Tako je primjerice raster udaljenosti od naselja kreiran na način da su urbana i ruralna naselja odvojena u zasebne slojeve, tj. zone pogodnosti su kreirane i pretvorene u raster posebno za svaku od njih. Dobiveni rasterski slojevi su potom preklapljeni u jedan pomoću programskih petlji i logičkih operatora, prema algoritmu prikazanom na sl. 13. Prilikom preklapanja ćelija s različitim ocjenama, prednost je dana manjoj ocjeni ako se pogodnost prostora povećava udaljavanjem od entiteta, odnosno većoj ocjeni ako se pogodnost lokacije povećava približavanjem entitetu prema promatranom kriteriju.



Sl. 13. Algoritam preklapanja slojeva

Većina potrebnih podataka javno je dostupna putem raznih web servisa, dok se nešto veći problem javlja prilikom prikupljanja podataka o brzini vjetra, granicama naselja i trasama dalekovoda. Podatci o prometnoj infrastrukturi preuzeti su sa servisa *OpenStreetMap*, a podatci potrebni za analizu ekoloških kriterija povučeni su sa WFS servisa *BIOPORTAL*-a. Podatci o načinu korištenja zemljišta dobiveni su iz *CORINE Land Cover* baze podataka, koja je na razini Europske unije prihvaćena kao temeljni set podataka o stanju, namjeni i promjenama zemljišnog pokrova. Na prostoru Splitsko-dalmatinske županije zabilježeno je 19 različitih klasa korištenja zemljišta koji su klasificirani u 7 kategorija prema shemi prikazanoj u tab. 4.

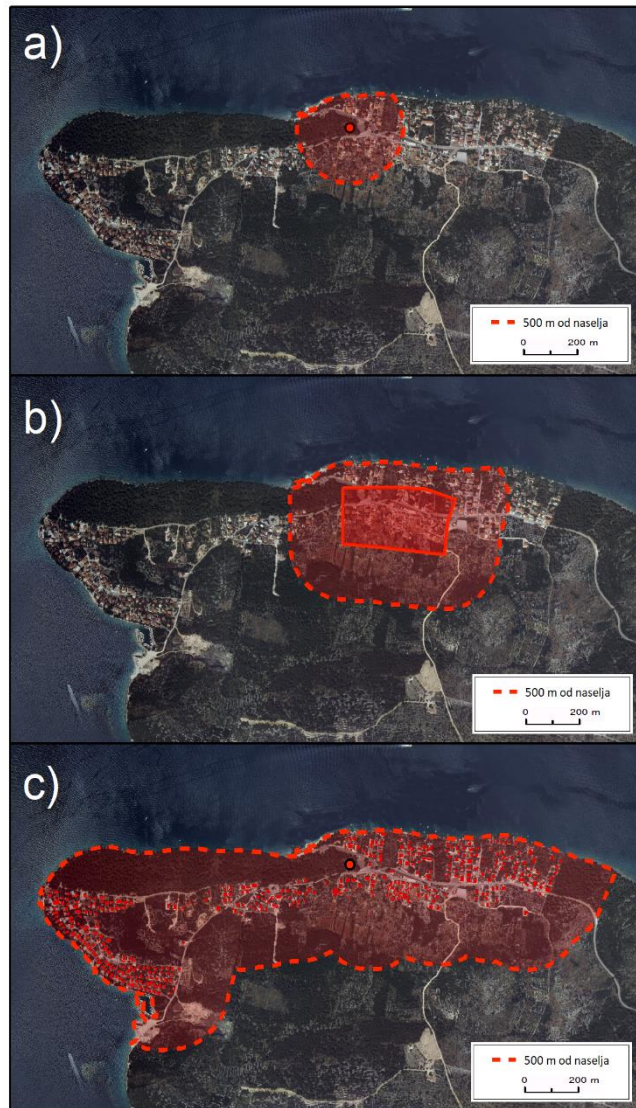
Tab. 4. Klasifikacijska shema načina korištenja zemljišta

| Kategorija               | Corine Land Cover klase načina korištenja zemljišta  |
|--------------------------|--|
| Izgrađeno                | Cestovna i željeznička mreža, gradilište, zračne luke, zelene gradske površine, cjelovita gradska područja, industrijski i komercijalni objekti, lučke površine, mjesta eksploatacije mineralnih sirovina, nepovezana gradska područja, športsko-rekreacijske zone |
| Poljoprivredno zemljište | Maslinici, mozaik poljoprivrednih površina, nenavodnjavano poljoprivredno zemljište, vinogradi, trajno navodnjavano zemljište  |
| Niska vegetacija         | Područja s oskudnom vegetacijom, prirodni travnjaci, pašnjaci, opečarena područja, gole stijene, plaže, dine i pijesci   |
| Grmolika vegetacija      | Mediterranska grmolika vegetacija  |
| Zemljišta u zarastanju   | Sukcesija šume   |
| Šume                     | Bjelogorična šuma, crnogorična šuma, mješovita šuma  |
| Vode                     | Vodotoci, vodna tijela, more, kopnene močvare  |

S ciljem procjene teoretskog potencijala energije vjetra na prostoru Hrvatske, Državni hidrometeorološki zavod je izradio Atlas vjetra, unutar kojeg su na temelju ALADIN/HR modela procijenjene srednje brzine vjetra na visinama 10 m i 80 m iznad tla. Međutim dobiveni rezultati predstavljaju prosječnu vrijednost u kvadratu mreže 2 km x 2 km, te su zbog velike prostorne varijabilnosti atmosfere i brojnih lokalnih utjecaja moguća znatna odstupanja od stvarnih brzina, posebno na planinskom i obalnom području (Atlas vjetra Hrvatske, 2012). Prema tome s takvim podacima bi trebalo postupati vrlo oprezno te bi zasigurno imali veliki utjecaj na konačan rezultat.

Podatci znatno veće prostorne rezolucije (200x200 m) pronađeni su na servisu *Global Wind Atlas*, koji je razvijen suradnjom Odjela za energiju vjetra Tehničkog sveučilišta u Danskoj i Svjetske banke u vidu podrške razvoju vjetroelektrana tijekom istraživanja i preliminarne faze procjene. Navedeni servis omogućava preuzimanje podataka o prosječnim brzinama vjetra na 50, 100 i 200 metara iznad tla koji su dobiveni metodom dinamičke prilagodbe (eng. *downscaling*) rezultata globalnih modela pomoću regionalnog te naposljetku lokalnog klimatskog modela koji uključuje i podatke o topografiji terena i hrapavosti površine koji snažno utječu na brzinu vjetra (Global Wind Atlas, 2018).

Najveći problem pojavio se kod definiranja zone ograničenja oko naselja (sl. 14). Neki autori su zonu ograničenja jednostavno definirali iz središta naselja, a prostornu veličinu naselja kompenzirali su povećanjem radijusa zone ograničenja (Janke, 2010; Bobeck, 2017). No takav način snažno je kritiziran u literaturi, te bi s obzirom na pretežno raštrkani i izduženi oblik naselja u Splitsko-dalmatinskoj županiji, njegova primjena znatno utjecala na pouzdanost i točnost rezultata istraživanja. Nadalje, izgrađeni prostori iz *Corine Land Cover* baze podataka su zbog prostorne rezolucije obuhvaćali samo veća naselja, a poligoni naselja iz Digitalnog atlasa Republike Hrvatske su se znatno razlikovali od stvarnog stanja te su i oni odbačeni kao mogući izvor podataka.



Sl. 14. Zone ograničenja oko naselja definirane iz: a) središta naselja, b) poligona naselja DARH, c) pojedinačnih stambenih i gospodarskih objekata

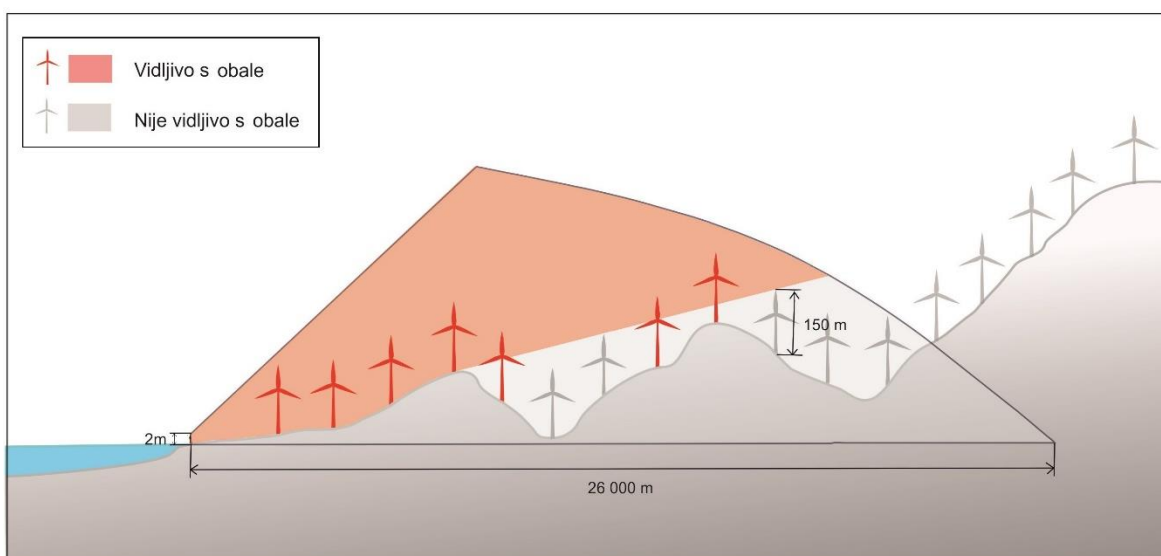
Kako bi što točnije definirali zonu ograničenja, sa servisa *OpenStreet Map* preuzeti su poligoni svakog pojedinačnog stambenog i gospodarskog objekta, te je oko svakog od njih kreirana zona ograničenja od 500 metara, čijim je spajanjem dobivena poprilično točna zona ograničenja oko izgrađenog dijela naselja.

S obzirom na to da su u preuzetim podacima utvrđeni znatni nedostaci, provedena je njihova provjera na temelju Digitalne ortofoto karte (DOF5) preuzete sa servisa Državne geodetske uprave. Digitalizacijom je dodan značajan broj stambenih i gospodarskih objekata (osobito na prostoru zaleđa županije), ali su i uklonjeni neki osamljeni objekti koji su znatno udaljeni od naselja, naprimjer planinarske kuće. Međutim, pod utjecajem negativnih

demografskih trendova mnoge kuće su napuštene i propadaju, a kako su i one uključene u kreiranje zone ograničenja, detaljnijim terenskim istraživanjima može se očekivati značajnije smanjenje zone ograničenja u nekim prostorima.

Podatci o elektroenergetskoj mreži, tj. o trasama dalekovoda dobiveni su digitalizacijom na temelju više izvora. Naime, osnovni izvor podataka o dalekovodima bio je Prostorni plan Splitsko-dalmatinske županije, tj. karta energetske sustava. No zbog mjerila navedene karte, direktna digitalizacija ne bi dala točnu lokaciju. Stoga je ona provedena na ortofoto snimkama Državne geodetske uprave.

Prilikom definiranja teoretskih zona vidljivosti analizirana je vršna vidljivost potencijalnih vjetroagregata s ukupnom visinom od 150 m. Odnosno, visini stupa vjetroagregata (100 m) dodana je i prosječna visina lopatica, a u obzir je uzeta i visina promatrača (2 m). Za izračun vidljivosti korištena su isključivo obilježja reljefa, tj. zanemaren je utjecaj površinskog pokrova te eventualnih prepreka na vidljivost. Zona vidljivosti ograničena je na maksimalnu udaljenost od 26 kilometara od točke promatranja, jer se nakon te udaljenosti vizualni utjecaj vjetroelektrana smatra nepostojećim, iako su potencijalno vidljive i na širem prostoru. Prilikom analize vidljivosti korišten je digitalni model reljefa prostorne rezolucije 30x30 metara.

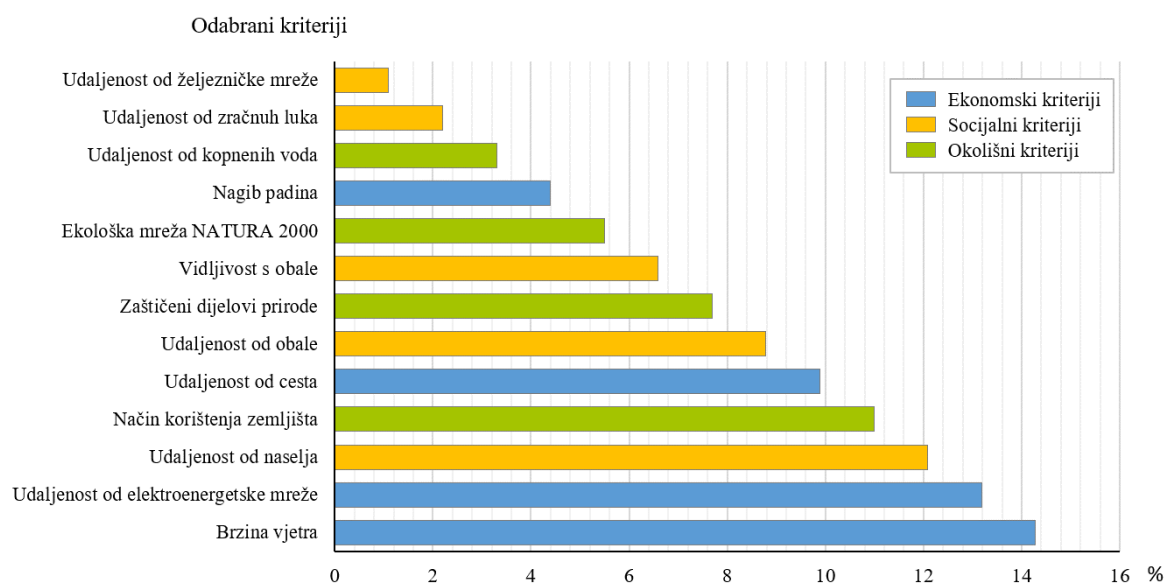


Sl.15. Shematski prikaz analize vidljivosti vjetroagregata

### 3.3. Preklapanje slojeva

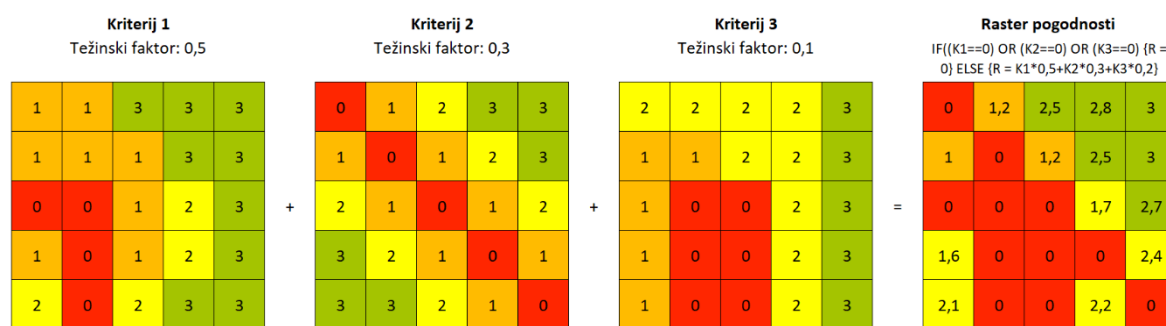
Za integraciju pojedinačnih kriterija u ekonomski, socijalni i okolišni model korištena je metoda ponderiranog preklapanja slojeva. Odabrana metoda omogućava kombiniranje nekoliko standardiziranih ulaznih rastera u jedan izlazni raster, pri čemu se svakom rasteru dodjeljuje određeni ponder, tj. težinski koeficijent koji označava njegov relativni utjecaj na konačni rezultat.

Težinski koeficijenti određeni su tako da su, na temelju literature i prethodnih istraživanja, svi odabrani kriteriji prvo rangirani prema važnosti, od najmanje do najveće. Odnosno, rang kriterija s najmanjim utjecajem je dobio vrijednost 1, a rang najvažnijeg kriterija jednak je ukupnom broju kriterija. Dijeljenjem ranga pojedinog kriterija sa zbrojem svih rangova dobiveni su njihovi težinski koeficijenti (sl. 16). Dakle, težinski koeficijenti određeni su linearnom metodom u odnosu na relativnu važnost u konačnom rezultatu istraživanja, te su proporcionalno tome svedeni na razinu pojedinačnih modela. Ukupno gledajući, 40,6 % konačnog rezultata istraživanja uvjetovat će ekonomski kriteriji, dok je utjecaj socijalnih (31,9 %) i okolišnih (27,5 %) kriterija nešto manji.



Sl. 16. Relativna važnost odabranih kriterija za određivanje optimalnih lokacija vjetroelektrana

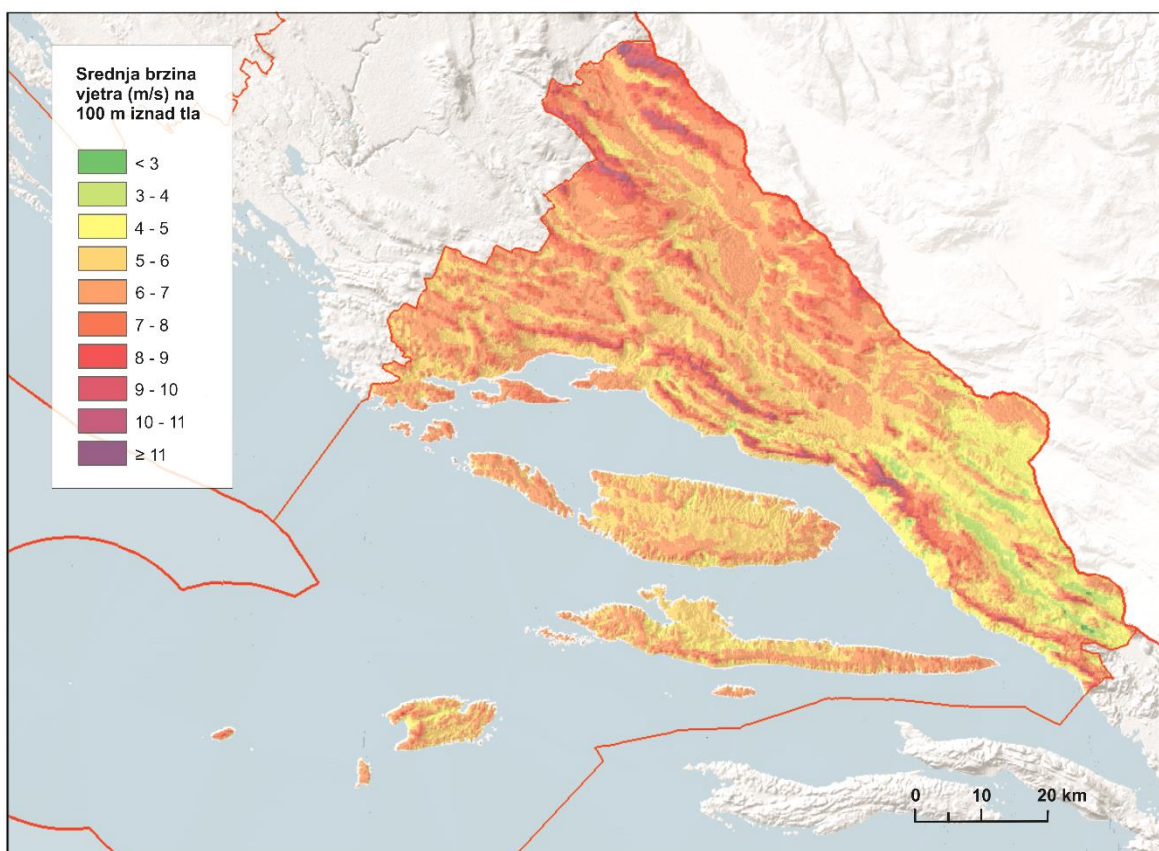
U ArcGIS programskom paketu postoji nekoliko alata namijenjenih ponderiranom preklapanju rasterskih podataka, međutim zbog njihovih ograničenja potrebno je prvo isključiti sve nepogodne prostore kako bi u sljedećem koraku bila moguća evaluacija preostalog prostora. S obzirom na postavljene model istraživanja, navedena dva koraka trebalo je spojiti u jedan, pa je za preklapanje slojeva korišten algoritam vrlo sličan onome prikazanom na sl. 13. Osnovna ideja je da se pomoću programskih petlji i logičkih operatora prvo provjeri zadovoljava li lokacija, tj. ćelija koja ju predstavlja, sve postavljene kriterije. Pod uvjetom da su svi kriteriji zadovoljeni, ocjena pogodnosti svakog kriterija pomnožena je s njegovim težinskim koeficijentom, a njihovim međusobnim zbrajanjem izračunava se konačna ocjena pogodnosti određene lokacije za izgradnju vjetroelektrana (sl. 17).



Sl. 17. Shema ponderiranog preklapanja rasterskih slojeva koja je primijenjena u istraživanju

### 3.4. Analiza ekonomskog modela

Brzina vjetra je osnovni parametar od kojeg se kreće pri odabiru lokacije, broja i prostornog razmještaja vjetroagregata, a služi i kao polazna točka za sve proračune o proizvodnji energije i ekonomske isplativosti (van Haaren i Fthenakis, 2011; Höfer i dr., 2016). Brzina i smjer vjetra uvjetovani su razlikom u tlaku zraka, djelovanjem sile teže i Coriolisove sile, te orografijom terena i hrapavosti površine. Smještaj na obalama toplog Jadranskog mora duž kojeg se usporedno pruža dinarski masiv, glavni je indikator velikog teoretskog potencijala energije vjetra na prostoru Splitsko-dalmatinske županije. Kao područja s najvećim prosječnim brzinama vjetra ističu se vršni dijelovi planina (Dinara, Biokovo, Svilaja, Mosor, itd.), ali i transverzalni kanjoni aktivnih ili paleo tekućica kroz koje se vjetar kanalizira (Radoš, 2017), što ilustrira snažan utjecaj orografije na prostorni raspored teoretskog potencijala energije vjetra (sl. 18).



Sl. 18. Prostorni raspored srednje godišnje brzine vjetra (m/s) na 100 m iznad tla u Splitsko-dalmatinskoj županiji

Izvor: Global Wind Atlas, 2018



Prevladavajući vjetrovi na prostoru Splitsko-dalmatinske županije su bura i jugo čija učestalost iznosi od 35 do 55 % godišnje. Bura je mahovit, relativno hladan i suh vjetar, sjeveroistočnog smjera, koji nastaje obrušavanjem hladnog planinskog zraka prema moru uslijed prodora hladnih fronti prema Sredozemlju ili kao posljedica intenzivnog zagrijavanja zraka nad morem u odnosu na zrak nad kopnom. Na sjevernom dijelu županije bura nastaje duboko u kopnu, na prostoru Dinare, dok na jugu nastaje odmah uz obalu, tj. na Biokovu, što je razlog nešto manjih prosječnih brzina vjetra u zaleđu Biokova ( $< 5$  m/s). Osim velikim brzinama, bura i svojim smjerom, koji je okomit na pružanje planinskih uzvisina, bitno doprinosi iskorištavanju energije vjetra jer se upravo takve lokacije izdvajaju kao najpogodnije za izgradnju vjetroelektrana. Međutim, izgradnja vjetroelektrana na prostorima s čestim i jakim olujnim udarima bure može se negativno odraziti na njezinu efikasnost, zbog isključivanja vjetroagregata pri velikim brzinama vjetra iz sigurnosnih razloga. Jugo je umjeren do jak vjetar koji puše uzdužnom osi Jadrana, dakle najčešće jugoistočnog smjera, a za razliku od bure uglavnom je uvjetovan općom atmosferskom cirkulacijom. Maksimalne vrijednosti jugo doseže uz obalu od Neretve do Splita, što je rezultat kanaliziranja vjetra između obalnih planina i otoka. Osim bure i juga u Splitsko-dalmatinskoj županiji treba spomenuti jugozapadnjak, olujan i kratkotrajan vjetar koji puše u okolici Splita, te zapadni vjetar koji redovito puše na pučinskim obalama otoka. Intenzitet vjetrova je najjači u zimskom dijelu godine, posebno u siječnju i veljači kada je bura najučestaliji vjetar, dok je jugo karakterističan za početak proljeća i jeseni (Potencijal OIE u SDŽ, 2016; Izvješće o stanju okoliša u SDŽ, 2012; Modeliranje energetskog potencijala vjetra u SDŽ, 2011). S obzirom na veliki potencijal energije vjetra, svega  $1,9$  km<sup>2</sup> ocijenjeno je nepogodnim za izgradnju vjetroelektrana, dok planinski vrhovi i ostali prostori na kojima su izrazito povoljni uvjeti ( $\geq 8$  m/s) za izgradnju vjetroelektrana čine 6,3 % površine istraživanog prostora (Prilog 3).

Velika vertikalna raščlanjenost reljefa, s jedne strane, pozitivno utječe na teoretski potencijal energije vjetra, ali s druge strane, djeluje ograničavajuće na geografski potencijal. Izrazito strmi nagibi, koji su ocijenjeni kao nepogodni za izgradnju vjetroelektrana, većim dijelom formiraju padine priobalnih planinskih nizova te smanjuju geografski potencijal za 4,4 % (tab. 5). Najpoželjniji su tereni s blagim nagibima ( $< 10$  %) koji najvećim dijelom oblikuju krška polja i zaravni, ali dijelom i vršne dijelove gorskih i planinskih masiva na kojima su zabilježene i najveće brzine vjetra što ih čini najpogodnijim lokacijama s fizičko-geografskog aspekta (Prilog 6).

Tab. 5. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema ekonomskim kriterijima

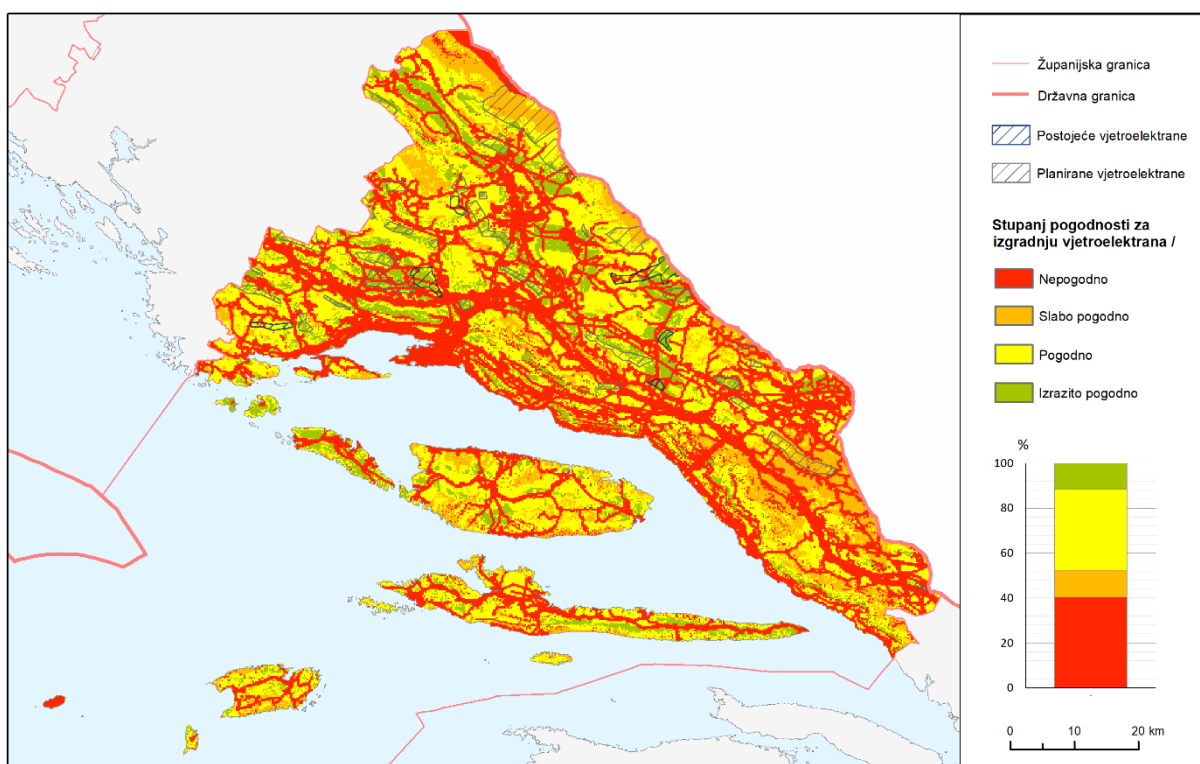
| Ekonomski kriteriji                   | Površina (km <sup>2</sup> ) |               |               |              | Udio u površini (%) |               |             |              |
|---------------------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|--------------|---------------------|---------------|-------------|--------------|
|                                       | Nepogodno                   | Slabo pogodno | Pogodno       | Vrlo pogodno | Nepogodno           | Slabo pogodno | Pogodno     | Vrlo pogodno |
| Brzina vjetra                         | 1,9                         | 2014,9        | 2292,6        | 216,7        | 0,0                 | 44,5          | 50,7        | 4,8          |
| Udaljenost od elektroenergetske mreže | 412,8                       | 322,2         | 1699,8        | 2091,3       | 9,1                 | 7,1           | 37,6        | 46,2         |
| Udaljenost od cesta                   | 1489,8                      | 6,0           | 286,5         | 2743,7       | 32,9                | 0,1           | 6,3         | 60,6         |
| Nagib padina                          | 198,8                       | 1678,5        | 1341,1        | 1307,7       | 4,4                 | 37,1          | 29,6        | 28,9         |
| <b>EKONOMSKI MODEL</b>                | <b>1827,8</b>               | <b>544,2</b>  | <b>1628,7</b> | <b>525,4</b> | <b>40,4</b>         | <b>12,0</b>   | <b>36,0</b> | <b>11,6</b>  |

S obzirom na velike troškove izgradnje dalekovoda i cesta, prema ekonomskom modelu vjetroelektrane se nastoji smjestiti što bliže postojećoj cestovnoj i elektroenergetskoj mreži. Na kraju 2017. godine u Splitsko-dalmatinske županiji bilo je kategorizirano 2653 kilometara cesta, od čega je 394,8 kilometara cesta visoke razine uslužnosti. Najvažniji je prometni pravac autocesta A1 (Zagreb–Split–Dubrovnik), koja prostorom županije prolazi u dužini 131 kilometra. Ostale ceste visoke razine uslužnosti su spojne ceste na autocestu A1, tj. državne ceste na dionicama: Dugopolje–Split (D1), Split–Trogir (D8), čvor Bisko–Čaporice (D220) i Bast–Zagvozd (D76) (Izvjješće o stanju okoliša SDŽ, 2012). S obzirom na relativno veliku gustoću cestovne mreže (584 m/km<sup>2</sup>), najveća udaljenost od kategorizirane prometnice iznosi oko osam kilometara, dok se 93,5 % površine Županije nalazi unutar zone od dva kilometra (Prilog 5). Uz to, treba imati u vidu i veliki broj neasfaltiranih cesta, koje nisu obuhvaćene u analizi, a njihova valorizacija bitno utječe na smanjenje troškova i degradaciju okoliša.

Elektroenergetska mreža je znatno skromnija, a čini je nešto više od 1100 kilometara visoko- i srednjenaponskih dalekovoda (ne ubrajajući podmorske kablove). Unatoč tome što se 46,2 % istraživanog prostora nalazi u izrazito pogodnoj zoni za izgradnju vjetroelektrana (Prilog 4), prostorna neuravnoteženost, nedovoljna izgrađenost i nedovoljan kapacitet elektroenergetske mreže (posebno na otocima i dijelu zaleđa), ograničavaju značajniju integraciju energetskih pogona u elektroenergetsku mrežu (Razvojna strategija SDŽ, 2011). Navedeni problem prepoznat je i od strane Županije, te su u prostorni plan uvršteni brojni

projekti izgradnje elektroenergetske infrastrukture čija bi realizacija znatno pridonijela iskorištavanju energije vjetra kao i drugih obnovljivih izvora energije.

S ekonomskog aspekta iskorištavanja energije vjetra, 47,6 % površine istraživanog prostora je ocijenjeno kao pogodno ili izrazito pogodno za izgradnju vjetroelektrana (sl. 19). A osobito je važna činjenica da su ti prostori relativno ravnomjerno raspoređeni unutar županije, što omogućava da se prilikom odabira optimalnih lokacija veća pozornost usmjeri na socijalne i okolišne kriterije. Nepogodnim za izgradnju vjetroelektrana je ocijenjeno 40,4 % površine, a razlog tomu su prvenstveno sigurnosne zone ograničenja oko cesta i dalekovoda.



Sl. 19. Ekonomski aspekt geografskog potencijala energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji

### 3.5. Analiza socijalnog modela

Budući da je društveno prihvaćanje postalo temeljno pitanje uspješne implementacije vjetroelektrana u prostor, posebnu pozornost treba usmjeriti na socijalni model, što se posebno odnosi na prostor Splitsko-dalmatinske županije koja se izdvaja kao županija s najvećim brojem stanovnika (454 798 stanovnika 2011. godine) te druga po redu po broju turističkih dolazaka (3,16 milijuna 2017. godine). Iako je demografska slika Splitsko-dalmatinske županije znatno povoljnija u odnosu na većinu ostalih županija, ulaskom u posttranzicijsku fazu krajem prošlog stoljeća, Splitsko-dalmatinsku županiju obilježavaju negativni i zabrinjavajući demografski trendovi: depopulacija, prirodni pad, negativna migracijska bilanca, duboka starost stanovništva te sve niži vitalni indeks. Međutim, prirodno-geografski čimbenici, karakterističan gospodarski razvitak te privlačna snaga Splita i obale uvjetovali su izrazito neravnomjeran demografski razvoj obalnog pojasa, otoka i zaleđa (Statistički ljetopis RH, 2017; Strategija razvoja ljudskih potencijala SDŽ, 2015; Horvat, 2016). Prostor zaleđa i otoka počeo je gubiti stanovništvo već početkom prošlog stoljeća, prvo pod utjecajem snažne emigracije, a potom i prirodnog pada stanovništva. Dok posljednjih godina broj stanovnika na otocima stagnira, zaleđe i dalje intenzivno gubi stanovništvo. Prema popisu stanovništva iz 2011. godine, na prostoru zaleđa živi 23 % stanovništva, što ga čini najrjeđe naseljenim prostorom županije (35 stan./km<sup>2</sup>). Nešto veća koncentracija stanovništva i pozitivniji demografski trendovi zabilježeni su samo u nekolicini naselja na prostoru Sinjskog, Imotskog i Vrgorskog polja, te na prostoru oko Dugopolja koje se razvija kao industrijska zona grada Splita. Najslabije je naseljen otočni prostor unutar kojeg je naseljeno samo osam otoka na kojima živi 8 % stanovništva županije (39,8 stan./km<sup>2</sup>). Prema broju stanovnika ističu se Brač i Hvar, a slijede ih Čiovo, Vis, Šolta, Drvenik Mali, Drvenik Veli i Biševo. Zahvaljujući velikom priljevu stanovništva s otoka i iz zaleđa te povoljnijoj dobnoj strukturi, priobalni pojas kontinuirano bilježi porast broja stanovnika, što ga čini najgušće naseljenim (491 stan./km<sup>2</sup>) dijelom županije u kojem živi čak 69 % stanovništva (Horvat, 2016).

Dok neravnomjeran raspored stanovništva na prostoru Splitsko-dalmatinske županije pogoduje razvoju vjetroelektrana, usitnjena i raštrkana naselja predstavljaju značajan ograničavajući faktor. Naime, u 16 urbanih naselja živjelo je 63,8 % ukupnog stanovništva, dok je ostalo stanovništvo raspoređeno u preostalih 365 naselja od kojih je čak 83 imalo manje od 100 stanovnika 2011. godine (Popis stanovništva RH, 2011). Dok su naselja u obalnom dijelu nešto naseljenija, s prosjekom od 2128 stanovnika, te su zbijena ili izdužena

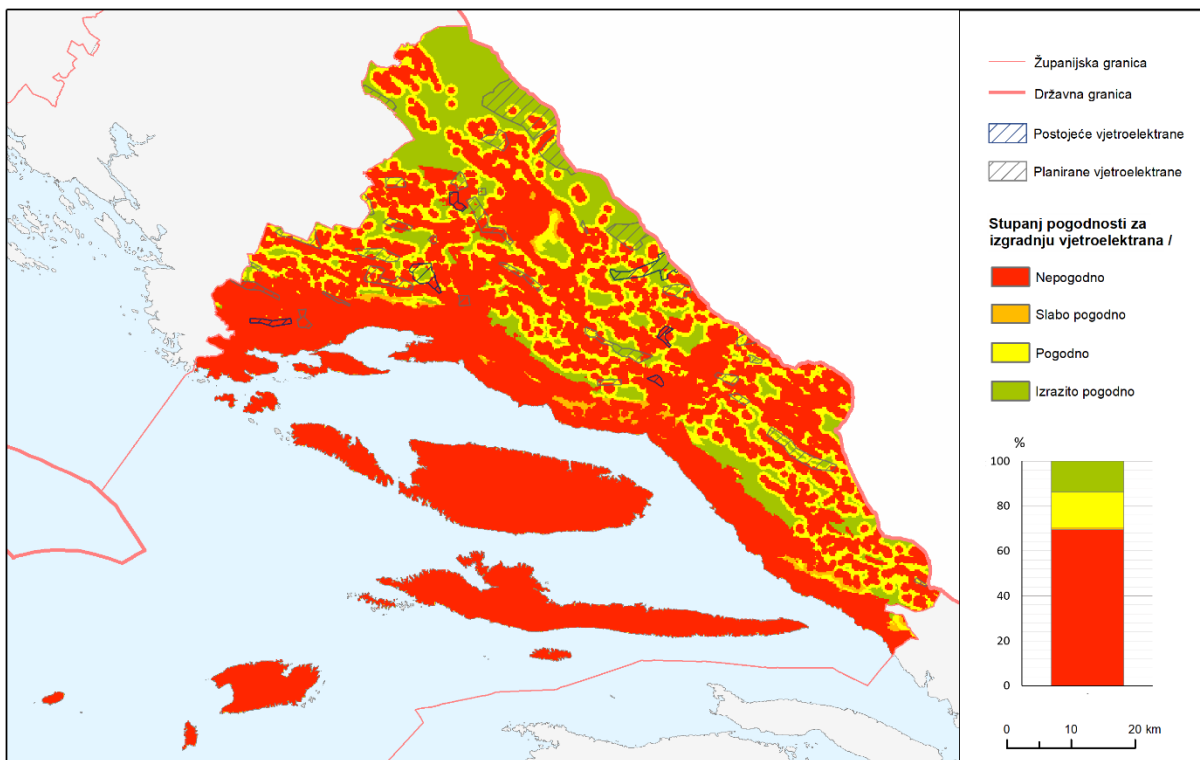
uz obalu, naselja na otocima i u zaleđu su brojem stanovnika znatno manja. Imaju prosječno oko 450 stanovnika te imaju raštrkan oblik, tj. domovi su nepravilno razbacani i različito udaljeni jedni od drugih (Horvat, 2016; Magaš, 2013). Prostorna raštrkanost naselja bitno povećava njegovu površinu, a time i zonu ograničenja, što u kombinaciji s velikim brojem naselja čini 45,1 % površine Splitsko-dalmatinske županije nepogodnom za izgradnju vjetroelektrana. Zbog guste mreže naselja u obalnom pojasu, na sjeverozapadnom dijelu zaleđa te na otocima gotovo da nema izrazito pogodnih prostora, za razliku od istočnog i južnog dijela zaleđa u kojima dominiraju izrazito pogodni prostori za izgradnju vjetroelektrana (Prilog 7).

Tab. 6. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema socijalnim kriterijima

| Socijalni kriteriji      | Površina (km <sup>2</sup> ) |               |              |                  | Udio u površini (%) |               |             |                  |
|--------------------------|-----------------------------|---------------|--------------|------------------|---------------------|---------------|-------------|------------------|
|                          | Nepogodno                   | Slabo pogodno | Pogodno      | Izrazito pogodno | Nepogodno           | Slabo pogodno | Pogodno     | Izrazito pogodno |
| Udaljenost od naselja    | 2042,4                      | 1287,0        | 867,3        | 329,4            | 45,1                | 28,4          | 19,2        | 7,3              |
| Udaljenost od obale      | 625,1                       | 607,0         | 363,1        | 2930,9           | 13,8                | 13,4          | 8,0         | 64,8             |
| Vidljivost s obale       | 1866,0                      | 0,0           | 0,0          | 2660,0           | 41,2                | 0,0           | 0,0         | 58,8             |
| Udaljenost od aerodroma  | 56,2                        | 157,2         | 243,7        | 4069,0           | 1,2                 | 3,5           | 5,4         | 89,9             |
| Udaljenost od željeznice | 20,4                        | 4111,1        | 253,8        | 140,8            | 0,5                 | 90,8          | 5,6         | 3,1              |
| <b>SOCIJALNI MODEL</b>   | <b>3147,1</b>               | <b>44,4</b>   | <b>712,5</b> | <b>622,0</b>     | <b>69,5</b>         | <b>1,0</b>    | <b>15,7</b> | <b>13,7</b>      |

Atraktivnost obala Jadranskog mora, kako za boravak tako i za gospodarske djelatnosti, uzrokuje snažan antropogeni pritisak na uski obali pojas. Iako je značajan dio tog prostora već nepovratno degradiran, on još uvijek predstavlja najvrjedniji prirodni resurs županije, osobito za razvoj turizma, koji predstavlja jednu od najvažnijih i najperspektivnijih gospodarskih grana, na kojoj se velikim dijelom temelji i razvoj županije (Razvojna strategija SDŽ, 2011). Tijekom 2017. godine Splitsko-dalmatinska županija je ostvarila 18,3 % ukupno ostvarenog turističkog prometa u Republici Hrvatskoj, te je prema pokazatelju ukupno ostvarenih turističkih dolazaka (3,16 milijuna) odmah iza Istarske županije (Priopćenje 4.3.2., DZS). Velika većina turističkih dolazaka ostvarena je u obalnim naseljima, stoga se udaljavanjem od obale povećava pogodnost prostora za izgradnju

vjetroelektrana. Unatoč dugoj i razvedenoj obali, zaštićeni obalni pojas ne predstavlja značajan ograničavajući faktor te je prema njemu moguća izgradnja vjetroelektrana u unutrašnjosti većih otoka, osobito na otoku Braču (Prilog 8). Međutim, analizom vidljivosti potencijalnih vjetroelektrana s obale, cijeli otočni prostor ocijenjen je nepogodnim za razvoj vjetroelektrana. Zahvaljujući visokim planinskim nizovima koji se pružaju paralelno s obalom, vidljivost na kopnu je najvećim dijelom ograničena na obalni pojas prosječne širine oko pet kilometara. Na sjeveru je taj pojas nešto širi dok se na jugu bitno sužava zbog Biokova koje se pruža gotovo uz samu obalu (Prilog 9). Prema kriteriju vidljivosti vjetroelektrana s obale, ukupno je 41,2 % istraživanog prostora ocijenjeno kao nepogodno za izgradnju vjetroelektrana.



Sl. 20. Socijalni aspekt geografskog potencijala energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji

Znatno manji utjecaj na socijalni model imaju kriteriji udaljenosti od željezničke pruge i aerodroma čije sigurnosne zone ograničenja ukupno čine 1,7 % površine istraživanog prostora. Rezultat je to oskudne infrastrukture zračnog, te posebno željezničkog prometa. Naime, na prostoru Splitsko-dalmatinske županije izgrađeno je svega 55 kilometara željezničke pruge na dionici Split–Knin (Prilog 10), tri kategorizirane zračne luke (Split,

Brač i Sinj) te vojna zrakoplovna luka Split–Divulje te letjelište na Hvaru (Prilog 11) (Prostorni plan SDŽ, 2013 ).

Prema odabranim socijalnim kriterijima, najveći dio površine (69,5 %) ocijenjen je nepogodnim za izgradnju vjetroelektrana (sl. 20), što je prvenstveno uvjetovano velikim brojem naselja te potencijalnom vidljivosti vjetroelektrana s obale na tim prostorima. Unatoč tome, postoji i velika površina pogodnih (712,5 km<sup>2</sup>) i izuzetno pogodnih (622 km<sup>2</sup>) prostora koji su koncentrirani isključivo u zaleđu Splitsko-dalmatinske županije, dok su svi otoci, kao i širi obalni pojas, ocijenjeni nepogodnim za razvoj vjetroelektrana.

### **3.6. Analiza okolišnog modela**

Dominantan vapnenački sastav terena, velika energija reljefa te vruća i suha klima rezultirali su izrazitom stjenovitošću prostora Splitsko-dalmatinske županije, kao i oskudnim vegetacijskim pokrovom, plodnim poljoprivrednim površinama i kopnenim vodama. S druge strane, uz povoljan biogeografski položaj, prostor županije obiluje raznolikim biljnim i životinjskim vrstama i staništima među kojima su brojne endemske, ugrožene i zaštićene vrste (Petrić i dr., 2006; Razvojna strategija SDŽ, 2011).

Među kopnenim staništima najveću površinu prekrivaju šumske zajednice (31,8 %), međutim treba imati u vidu njihovu strukturu. Zbog snažne eksploatacije šuma u prošlosti, pri čemu se nije vodilo računa o njezinoj obnovi, čak 30 % šumskih staništa otpada na neobraslo šumsko zemljište, daljnjih 60 % čine šikare i makije, 4 % otpada na šume nižeg uzgojnog oblika (tzv. „panjače“), te svega 6 % na visoke šume. U zaleđu dominiraju šume hrasta medunca s crnim i bijelim grabom, dok su u priobalnom dijelu i na otocima šumske zajednice znatno rjeđe i površinom manje, a njima dominiraju alepski bor i hrast crnika (Program zaštite okoliša SDŽ, 2008). Zbog visoke vrijednosti za bioraznolikost, posebnu pažnju i zaštitu treba usmjeriti na šume dalmatinskog crnog bora i reliktno mediteransko-montane jelove šume, koje su u značajnom dijelu zaštićene kao posebno vrijedni dijelovi prirode te prema kriteriju zaštićenih prostora u ovom istraživanju ocijenjeni kao nepogodni za izgradnju vjetroelektrana. Uz šumske prostore, zbog oskudice plodnih tala te duge tradicije poljoprivrede koja je oblikovala karakterističan identitet agrikulturnog krajolika, poljoprivredna zemljišta također su ocijenjena kao slabo pogodna za razvoj vjetroelektrana. Poljoprivredna zemljišta zauzimaju 22,7 % ukupne površine županije (tab. 6), a nalaze se većinom u krškim poljima, poljicama, docima, zavalama i vrtačama, što utječe na veliku

usitnjenost i fragmentiranost parcela čija je prosječna veličina svega 0,14 hektara (Gugić i dr., 2011). Zbog snažne depopulacije, deagrarizacije i senilizacije ruralnih prostora, veliki dio poljoprivrednih površina je napušten i u procesu zarastanja (18,7 %), a s obzirom na to da je nerealno očekivati njihovu ponovnu valorizaciju, one su odvojene od obrađenih poljoprivrednih površina i uz grmoliku vegetaciju (5,5 %) ocijenjene kao pogodna za razvoj vjetroelektrana. Prostori s niskom vegetacijom ili pak bez vegetacije koji su ocijenjeni kao najpogodniji, zauzimaju 17,8 % površine županije. Zbog slabe izgrađenosti, koja je koncentrirana većinom u obalnom dijelu te oskudnosti površinskih voda, svega 5,0 % površine istraživanog prostora je prema kriteriju načina korištenja zemljišta ocijenjeno nepogodnim za razvoj vjetroelektrana (Prilog 12).

Tab. 7. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema okolišnim kriterijima

| Okolišni kriteriji         | Površina (km <sup>2</sup> ) |               |               |                  | Udio u površini (%) |               |             |                  |
|----------------------------|-----------------------------|---------------|---------------|------------------|---------------------|---------------|-------------|------------------|
|                            | Nepogodno                   | Slabo pogodno | Pogodno       | Izrazito pogodno | Nepogodno           | Slabo pogodno | Pogodno     | Izrazito pogodno |
| Način korištenja zemljišta | 227,0                       | 2402,1        | 1093,4        | 803,6            | 5,0                 | 53,1          | 24,2        | 17,8             |
| Zaštićena područja         | 625,2                       | 353,3         | 378,2         | 3169,3           | 13,8                | 7,8           | 8,4         | 70,0             |
| NATURA                     | 2059,5                      | 390,2         | 335,3         | 1741,1           | 45,5                | 8,6           | 7,4         | 38,5             |
| Vode na kopnu              | 112,3                       | 310,1         | 661,3         | 3442,4           | 2,5                 | 6,9           | 14,6        | 76,1             |
| <b>OKOLIŠNI MODEL</b>      | <b>2412,9</b>               | <b>462,4</b>  | <b>1067,4</b> | <b>583,3</b>     | <b>53,3</b>         | <b>10,2</b>   | <b>23,6</b> | <b>12,9</b>      |

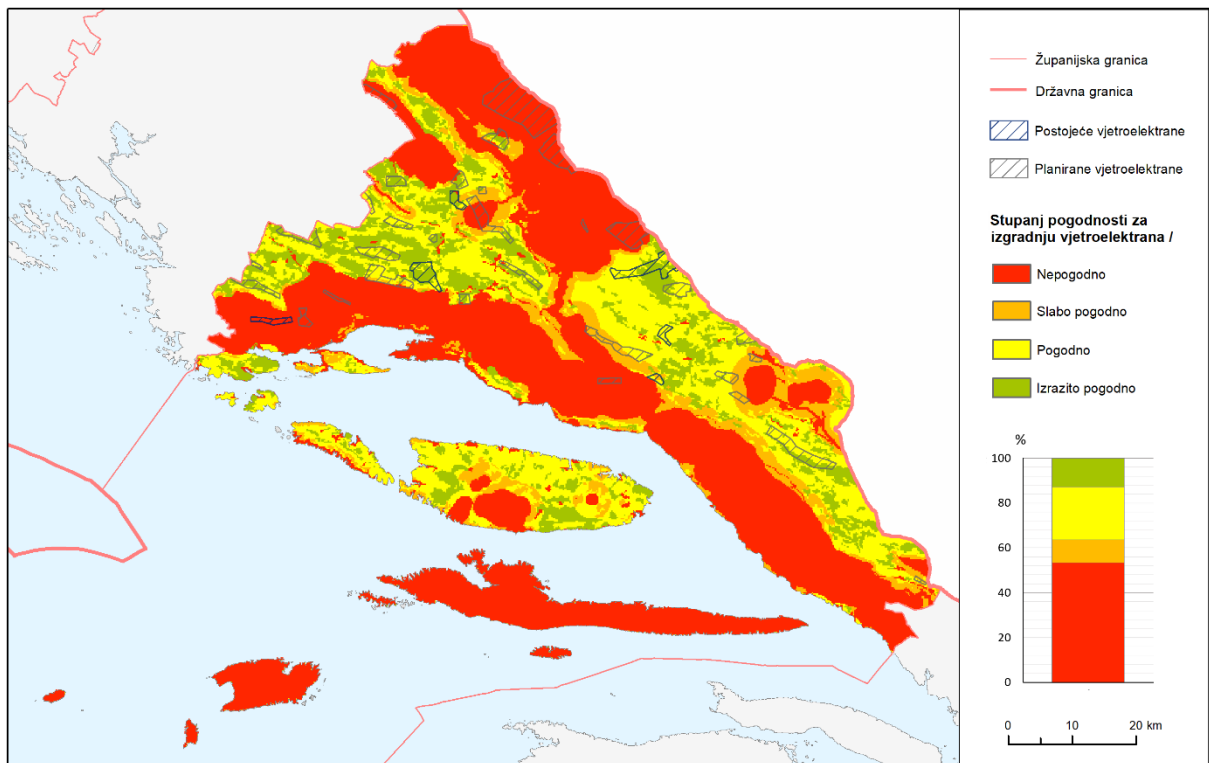
Najduži i vodom najbogatiji površinski tok je Cetina, a važnošću se ističe i rijeka Jadro s čijeg izvora se opskrbljuje područje Splitske aglomeracije, Žrnovnica te ponornice Vrljika i Matica u Imotskom odnosno Vrgorskom polju. Od voda stajaćica, površinom je najveća umjetna akumulacija Perućko jezero, dok su prirodne akumulacije znatno manje poput Crvenog i Modrog jezera kod Imotskog, Lokvičkih jezera i Prološkog blata (Izvrješće o stanju okoliša SDŽ, 2012). S obzirom na relativno malobrojne i kratke vodotokove te površinom mala jezera, kopnene vode ne predstavljaju značajnu prepreku, tj. svega 2,5 % površine istraživanog prostora čine nepogodnim za razvoj vjetroelektrana (Prilog 15).



No, potrebno je upozoriti na velike rezerve vode u podzemlju, što zbog dominantnog vapnenačkog sastava tla zahtijeva dodatan oprez prilikom projektiranja vjetroelektrana, posebno u području izvorišnih voda koje nije bilo moguće uvrstiti u analizu na regionalnoj razini, no svakako ih treba uzeti u obzir u daljnjim analizama potencijalnih lokacija.

Prema Zakonu o zaštiti prirode, u Splitsko-dalmatinskoj županiji zaštićeno je 267,5 km<sup>2</sup> od čega najveći dio (oko 200 km<sup>2</sup>) otpada na Park prirode Biokovo. Uz taj park prirode na području županije postoje i tri posebna rezervata, 14 spomenika prirode, 16 značajnih krajobraza, jedna park-šuma i devet spomenika parkovne arhitekture (Bioportal). Uključujući zonu ograničenja od jednog kilometra oko zaštićenih područja, 13,8 % površine je ocijenjeno nepogodno za razvoj vjetroelektrana (Prilog 13), dok sama zaštićena područja čine 6 % površine županije, što je vrlo malo u odnosu na velika prirodna bogatstva na području Splitsko-dalmatinske županije. Međutim, znatno veći dio površine županije je zaštićen unutar ekološke mreže NATURA 2000, unutar koje su definirana područja očuvanja značajna za ptice (1659,6 km<sup>2</sup>), kao i područja očuvanja značajna za vrste i stanišne tipove (1331,1 km<sup>2</sup>). Navedena područja se većim dijelom preklapaju te ukupno obuhvaćaju 39,9 % površine Splitsko-dalmatinske županije, a ako se u obzir uzmu i definirane zone ograničenja, ukupno 45,5 % površine je nepogodno za izgradnju vjetroelektrana (Prilog 14). Prema tome, ekološka mreža NATURA 2000 je uz kriterije udaljenosti od naselja i vidljivosti s obale, „najveća prepreka“ za izgradnju vjetroelektrana u Splitsko-dalmatinskoj županiji.

Prema svim odabranim okolišnim kriterijima, 53,3 % površine istraživanog prostora je ocijenjeno nepogodnim za izgradnju vjetroelektrana (sl. 21), a njihov prostorni raspored najvećim dijelom ocrta granice ekološke mreže NATURA 2000, koja obuhvaća širi prostor Dinare, veliki dio obalnog pojasa, te u potpunosti otoke Vis, Biševo, Svetac i Hvar, kao i druge manje otoke u njihovoj neposrednoj blizini. Unatoč tome, velika je i površina pogodnih i izrazito pogodnih prostora za izgradnju vjetroelektrana, koje su, kao i u slučaju socijalnog modela, najvećim dijelom smještene u zaleđu županije, dok se po pogodnosti ističu i otoci Brač i Šolta.



Sl. 21. Okolišni aspekt geografskog potencijala energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji

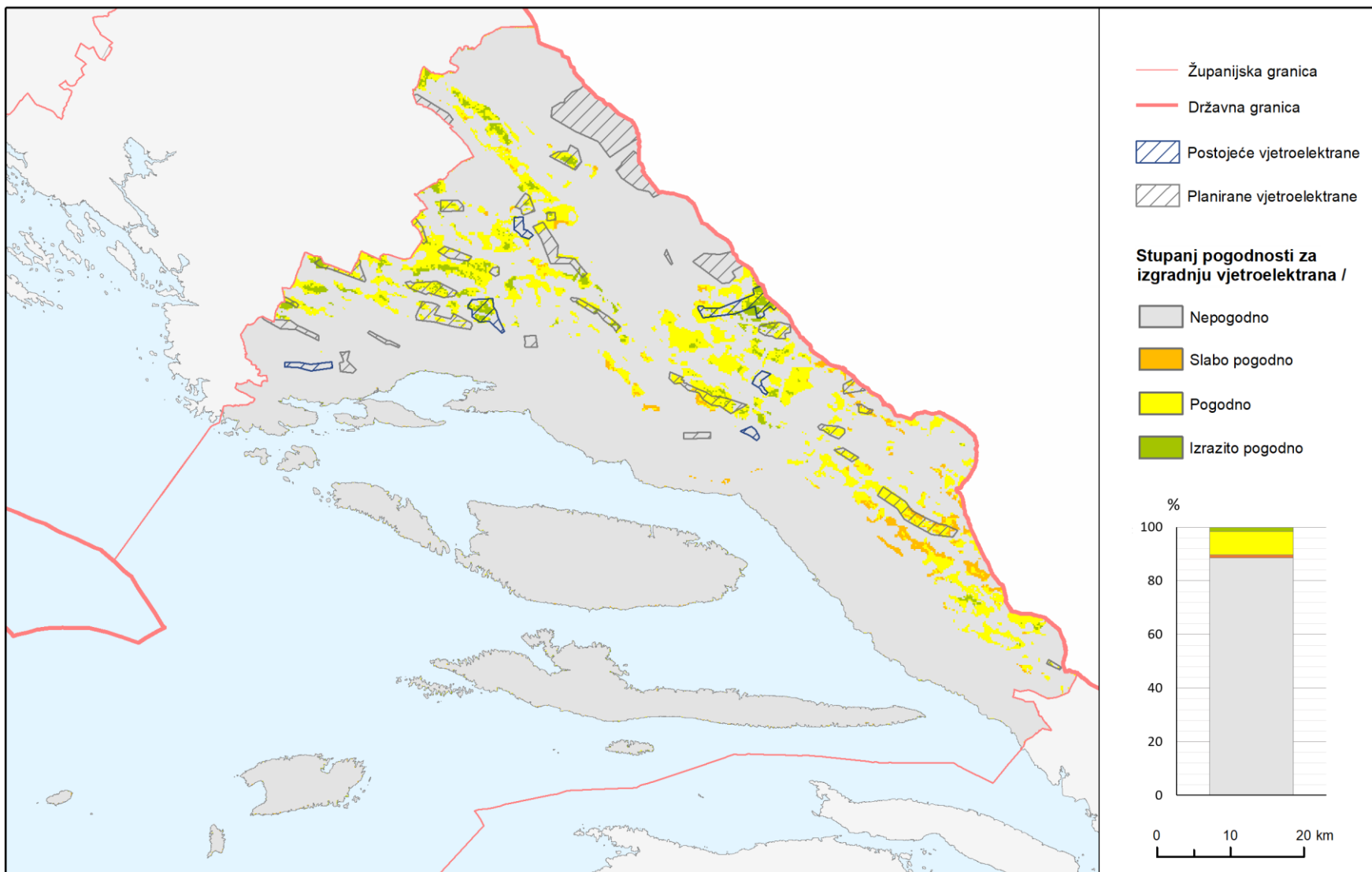
#### 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Integracijom ekonomskog, socijalnog i ekološkog modela, nastala je karta geografskog potencijala energije vjetra na prostoru Splitsko-dalmatinske županije (sl. 22). Pod dominantnim utjecajem socijalnih i okolišnih kriterija, nepogodnim za izgradnju vjetroelektrana ocijenjen je cijeli otočni prostor, obalni pojas prosječne širine 10 kilometara te značajni dijelovi zaleđa (prostor oko Dinare, Sinjskog, Imotskog i Vrgorskog polja), čija ukupna površina iznosi 4012,1 km<sup>2</sup>. Pridodajući tome i površinu malih otoka (13,9 km<sup>2</sup>), koji su odmah u početku ocijenjeni nepogodnima i izuzeti iz daljnje analize, 88,7 % ukupne površine kopnenog dijela Splitsko-dalmatinske županije ocijenjeno je nepogodnim za iskorištavanje energije vjetra.

Unatoč tome, na raspolaganju za izgradnju vjetroelektrana preostaje još 514,0 km<sup>2</sup>, a s obzirom na to da postojeće vjetroelektrane zauzimaju oko 4 % te površine, Splitsko-dalmatinska županija još uvijek ima na raspolaganju velike površine na kojima je moguća izgradnja vjetroelektrana u skladu s ekonomskim, socijalnim i okolišnim zahtjevima. O velikom potencijalu govori i činjenica da je čak 90,9 % površina dostupnih za izgradnju vjetroelektrana ocijenjeno kao pogodno (394,2 km<sup>2</sup>) ili izrazito pogodno (73,2 km<sup>2</sup>), dok je svega 9,1 % ocijenjeno kao slabo pogodno (46,6 km<sup>2</sup>).

Najpogodnije lokacije za izgradnju vjetroelektrana najvećim su dijelom koncentrirane u zaleđu grada Splita, južnom dijelu Sinjske zagore te sjevernom dijelu Imotske zagore, dok su zbog nešto manjih brzina vjetra, lokacije na prostoru Vrgoračkog kraja manje pogodne. Održivom razvoju energije vjetra pogoduje i kontinuiranost, tj. velika površina potencijalnih lokacija. Velike površine potencijalnih lokacija pozitivno utječu na smanjenje troškova izgradnje i održavanja, te omogućuju najbolji mogući prostorni razmještaj pojedinačnih vjetroagregata u odnosu na socijalne i okolišne kriterije.

Međutim, činjenica da je većina potencijalnih lokacija koncentrirana na relativno uskom prostoru zaleđa županije, može izazvati i neke negativne posljedice. Naime, izgradnja većeg broja vjetroelektrana u području sa sličnim vjetroklimatskim uvjetima može negativno utjecati na sigurnost energetske opskrbe, zbog snažne ovisnosti proizvodnje energije o brzini vjetra, a ne smije se zanemariti ni njihov kumulativni učinak. Drugim riječima, s povećavanjem broja vjetroagregata dolazi do sve većeg isticanja njihovih negativnih utjecaja, posebno ako se promatra sa socijalnog aspekta.

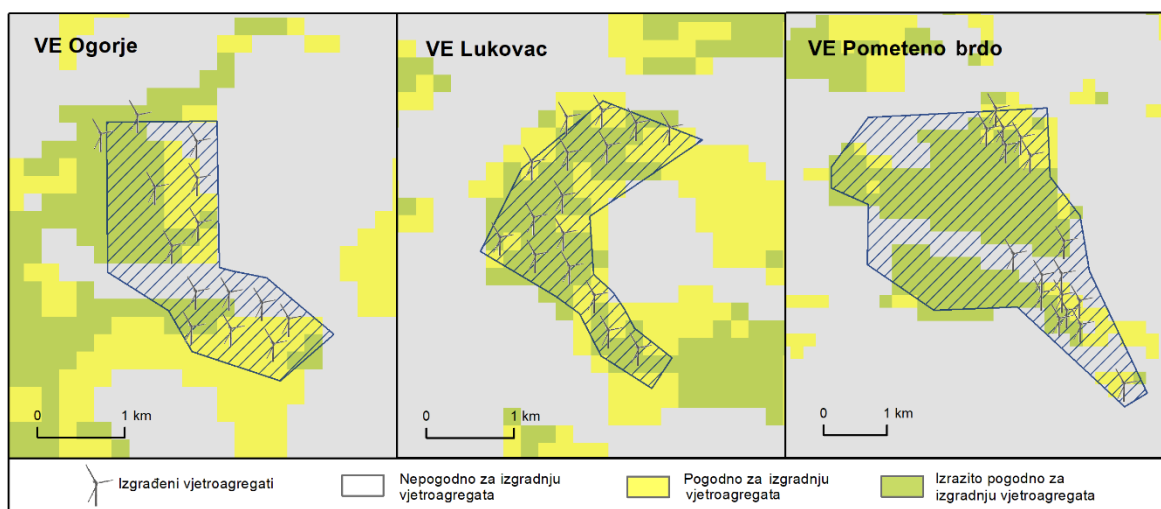


Sl. 22. Geografski potencijal energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji

#### 4.1. Analiza lokacija postojećih vjetroelektrana

Kako bi se s jedne strane ispitala ispravnost postavljenog modela istraživanja, te s druge strane provjerila pogodnost lokacija postojećih vjetroelektrana, provedena je analiza postojećih vjetroelektrana u odnosu na dobiveni rezultat istraživanja. Pritom su analizirane lokacije 93 pojedinačna vjetroagregata koje su dobivene digitalizacijom sa satelitskih snimaka unutar programa *Google Earth*. S obzirom na to da je analiza rađena za vjetroagregate s visinom stupa od 100 metara, a instalirani vjetroagregati u Splitsko-dalmatinskoj županiji imaju manje visine (od 50 do 80 m), kriterij vidljivosti s obale je prilikom analize izuzet iz modela te je posebno vrednovan, zbog snažne ovisnosti o visini vjetroagregata.

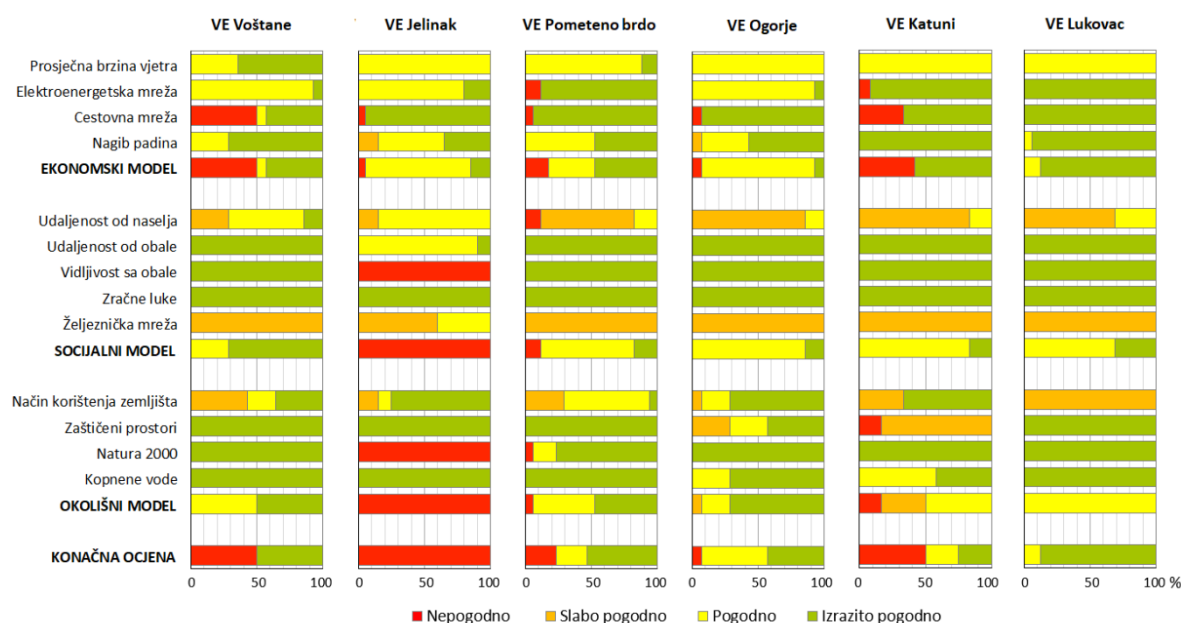
Usporedbom dobivene karte geografskog potencijala energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji i postojećih lokacija vjetroelektrana, jasno se vidi da postavljeni model poprilično točno definira okvirne lokacije za izgradnju vjetroelektrana (sl. 23).



Sl. 23. Usporedba lokacija VE Ogorje, VE Lukovac i VE Pometeno brdo s rezultatima istraživanja

Prema postavljenom modelu i definiranim kriterijima (izuzev kriterija vidljivosti s obale), 42 % instaliranih vjetroagregata u Splitsko-dalmatinskoj županiji izgrađeno je na ekonomski izrazito pogodnim lokacijama, a tom udjelu trebalo bi dodati i 41 % vjetroagregata koji su ocijenjeni kao nepogodni (sl. 24). Naime, svi ti vjetroagregati se nalaze na samoj granici zone ograničenja od cesta i dalekovoda, te se ocjenjivanje njihovih lokacija kao nepogodnih može opravdati prostornom rezolucijom istraživanja i nešto

manjom visinom instaliranih vjetroagregata čime je potrebna i manja zona ograničenja (obično dvije visine vjetroagregata). Također, i činjenicom da su prilikom analize u obzir uzete priključne ceste koje su građene isključivo kao njihovi pristupni putevi te se njima ne koristi veći broj ljudi, kao što je slučaj s VE Voštane. Prema tome, opravdano je smatrati da je 83 %, vjetroagregata izgrađeno na izrazito pogodnom prostoru prema ekonomskim kriterijima, a s obzirom na to da je taj udjel prema socijalnim kriterijima 44 % te prema okolišnim kriterijima 27 %, možemo zaključiti da su ekonomski kriteriji imali najvažniju ulogu u procesu odabira lokacija vjetroelektrana. Sve vjetroelektrane u Splitsko-dalmatinskoj županiji su izgrađene na prostorima gdje srednja brzina vjetra prelazi 6 m/s što se smatra granicom ekonomske isplativosti projekta, a po srednjim brzinama vjetra ističe se prostor VE Voštane (> 8 m/s). Potvrđena je i činjenica da su zaravnjeni grebeni reljefnih uzvisina najpogodniji za izgradnju vjetroagregata, a njihove nadmorske visine variraju od 400 (VE Katuni, VE Jelinak) do 1200 metara (VE Voštane).



Sl. 24. Ocjena pogodnosti lokacija postojećih vjetroagregata u Splitsko-dalmatinskoj županiji prema odabranim kriterijima

Iako je poštovana minimalna udaljenost od naselja, veliki broj agregata (56 %) građen je u zoni od 500 do 1000 metara oko naselja, koja je ocijenjena kao slabo pogodna, prvenstveno zbog izrazito jakog vizualnog utjecaja, a niti drugi negativni utjecaji poput buke nisu potpuno uklonjeni već samo smanjeni na prihvatljivu razinu. S obzirom na to da je većina vjetroagregata građena u zaleđu županije, obalni pojas nije izložen njihovom vizualnom

utjecaju, izuzev VE Jelinje koja je građena oko 4,3 kilometra od obale. Na rubu šireg obalnog pojasa (oko 8 kilometara od obale) izgrađene su i VE Pometno brdo i VE Katuni, no zbog reljefne konfiguracije terena, moguće ih je vidjeti samo s određenih dijelova sjeverne obale Brača. Obala je od njih udaljena oko 26 km, pa se može zanemariti njihov vizualni utjecaj.

Osim vizualnog utjecaja, lokacija VE Jelinak ne zadovoljava niti ekološki aspekt, tj. u cijelosti je izgrađena unutar ekološke mreže NATURA 2000, i to na prostoru koje je zaštićeno kao značajno i za očuvanje ptica (POVS) i za očuvanje drugih divljih vrsta (POP) i njihovih staništa. S obzirom na udaljenost od zaštićenih područja, vjetroelektrane su uglavnom građene na izuzetno pogodnim lokacijama. Nešto bliže kanjonu Cetine koji je zaštićen kao značajni krajobraz nalazi se VE Katuni, dok se VE Ogorje nalazi blizu kanjanskog toka potoka Sutine koji je također zaštićen kao značajni krajobraz. Na ekološki aspekt negativno utječe i činjenica da je 33,3 % vjetroagregata izgrađeno na šumskom zemljištu, a 4,3 % na poljoprivrednom, koja su zbog svoje vrijednosti ocijenjena kao slabo pogodna. Na prostorima s grmolikom vegetacijom i uznapredovanim procesom sukcesije šume izgrađeno je 20,5 %, a ostatak vjetroagregata je izgrađen na prostorima s niskom vegetacijom.

Prema navedenom, može se reći da postojeće vjetroelektrane u Splitsko-dalmatinskoj županiji, izuzev VE Jelinak, zadovoljavaju ekonomske, socijalne i okolišne kriterije, iako je više pažnje trebalo posvetiti njihovom zadovoljavanju socijalnih i ekoloških kriterija. Kao najpogodnije ističu se lokacije VE Voštane i VE Katuni. Zanimljivo je istaknuti da su VE Voštane i VE Jelinak, tj. vjetroelektrana s najpogodnijom lokacijom i vjetroelektrana koja ne zadovoljava sve kriterije izgrađene iste godine (2013.), te su bile prve komercijalne vjetroelektrane u Splitsko-dalmatinskoj županiji.

Sudeći po sadržaju televizijskih reportaža i novinskih članaka, može se zaključiti kako je gradnja vjetroelektrana u Splitsko-dalmatinskoj županiji naišla na snažan otpor lokalnog stanovništva, posebno u slučaju izgradnje VE Lukovac na prostoru općine Cista Provo. Kao najčešće argumente protiv izgradnje lokalni stanovnici su navodili vrlo veliku razinu buke, efekt treperenja sjene, opasnost za zaštićene vrste ptica, opasnost od nesreća, vizualno nagrđivanje okoliša te nemogućnost bavljenja turizmom. Također, smatrali su da bi izgradnja vjetroelektrane na toj lokaciji bila izravno kršenje hrvatskih zakona. Međutim, analizom je utvrđeno da su vjetroagregati navedene vjetroelektrane izgrađeni gotovo u cijelosti na izuzetno pogodno ocijenjenim lokacijama, te da nijedan vjetroagregat ne krši postavljene kriterije. Time su svi negativni utjecaji svedeni na minimum izuzev još uvijek snažnog vizualnog utjecaja. Prema tome, na temelju dosadašnjih istraživanja o socijalnom

prihvaćanju vjetroelektrana može se pretpostaviti da je strah od nepoznatog, tj. nedovoljna informiranost stanovništva i neuključenost u razvoj projekta u ranim fazama, glavni razlog otpora izgradnji vjetroelektrana u zaleđu Splitsko-dalmatinske županije.

#### **4.2. Analiza makrolokacija za izgradnju vjetroelektrana određenih Prostornim planom Splitsko-dalmatinske županije**

Pri analizi makrolokacija treba biti vrlo oprezan, jer one predstavljaju samo okviran prostor vjetroelektrana koji se u daljnjim fazama planiranja detaljnije analizira terenskim istraživanjima na temelju kojih se onda definira prostorni raspored vjetroagregata koji zauzimaju vrlo malu površinu tog prostora. Odnosno, iako se unutar makrolokacije nalazi određen udio nepogodnih površina, pravilnim prostornim rasporedom vjetroagregata one se mogu izbjeći, što se posebno odnosi na udaljenost od cesta i dalekovoda, nagib padina, udaljenost od naselja i kopnenih voda te na način korištenja zemljišta.

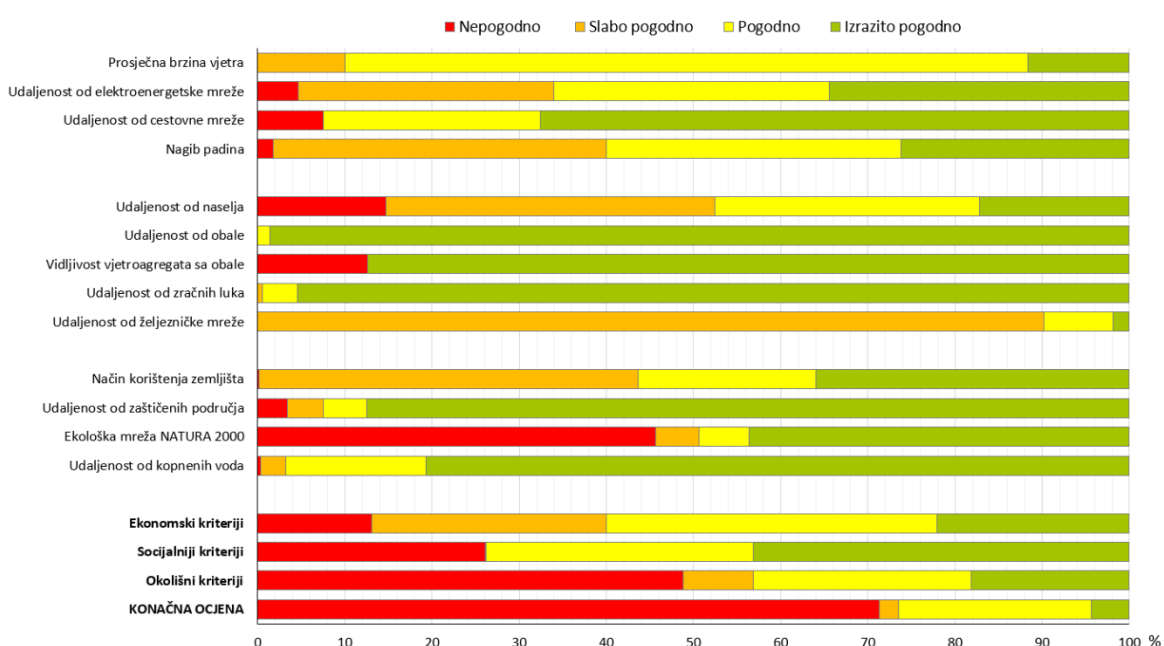
Prema ekonomskim kriterijima, sve makrolokacije za izgradnju vjetroelektrana smještene su dijelom ili u cijelosti na pogodnim i izuzetno pogodnim prostorima, a jedino makrolokacije uz granicu s Bosnom i Hercegovinom imaju nešto veći udio slabije pogodnih površina, što je rezultat veće udaljenosti od elektroenergetske mreže te rjeđe cestovne mreže. Zanimljivo je primijetiti kako je najmanji udio izuzetno pogodnih površina prema prosječnim brzinama vjetra, što odbacuje tvrdnju da se vjetroelektrane grade isključivo na prostorima s najvećim brzinama vjetra (sl. 25).

S obzirom na to da je većina makrolokacija smještena u zaleđu županije, daleko od obale koja je visokim planinama izolirana od zaleđa čime je vizualni utjecaj vjetroelektrana znatno ograničen, vrlo je velika pogodnost i prema socijalnom kriteriju. Međutim, zbog nešto manjih visina priobalnih lanaca na sjeveru županije, izgradnja vjetroagregata na lokacijama Trnošćak, Opor, Boraja i Kočinje brdo može imati znatan vizualni utjecaj na obalu, pa su one u cijelosti ocijenjene kao nepogodne. No, treba imati u vidu da je analiza rađena za vjetroagregate s visinom stupa od 100 metara te da postoji mogućnost da navedene lokacije ipak mogu biti pogodne za izgradnju vjetroagregata s manjim visinama. Kroz analizu socijalnog modela, utvrđeno je kako veliki broj naselja u Splitsko-dalmatinskoj županiji predstavlja najveću prepreku za izgradnju vjetroelektrana, što utječe na nešto slabiju ocjenu makrolokacija prema tom kriteriju. No ipak se može reći da je prilikom određivanja lokacija velika važnost posvećena kriteriju udaljenosti od naselja, jer zbog njihovog broja i



prostornog rasporeda nema mnogo mogućnosti za izgradnju vjetroelektrana isključivo na izuzetno pogodnim udaljenostima od naselja.

Izgradnja vjetroelektrana na definiranim makrolokacijama predstavljala bi najveću opasnost za okoliš, jer je gotovo 50 % njihove površine ocijenjeno nepogodno prema okolišnim kriterijima. Glavni razlog tome je nepoštivanje ekološke mreže Natura 2000, unutar koje je u cijelosti smješteno osam makrolokacija. To se donekle može opravdati činjenicom da ne postoje zakonske regulative koje izričito zabranjuju gradnju vjetroelektrana na njenom prostoru. Niti udaljenosti od zaštićenih područja se nije posvetila veća pažnja jer je nekoliko makrolokacija smješteno na njihovim granicama.



Sl. 25. Pogodnost makrolokacija za izgradnju vjetroelektrana koje su određene unutar Prostornog plana Splitsko-dalmatinske županije prema odabranim kriterijima

Imajući u vidu sve kriterije, čak 71,3 % površine definiranih makrolokacija ocijenjeno je nepogodnim za izgradnju vjetroelektrana, što ukazuje na znatne propuste prilikom njihova određivanja. Može se reći da su ekonomski kriteriji imali najveću ulogu u tom procesu, no i da su u većoj mjeri poštovani socijalni kriteriji. To se, nažalost, ne može reći za okolišne kriterije. Makrolokacije Trnošćak, Opor, Kočinje brdo, Kostanje, Svilaja, Visoka-Zelovo, Debelo brdo, Bili brig-Vaganj, Orlovac i Ruda otok nalaze se u cijelosti na nepogodnim prostorima za izgradnju vjetroelektrana. Preostale lokacije uglavnom zadovoljavaju postavljene kriterije te se pravilnim planiranjem na sljedećim razinama mogu

izbjeći svi negativni utjecaji. Po pogodnosti za izgradnju vjetroelektrana posebno se ističu lokacije Glunča, Vučipolje, Sitno-Donje, Bradarićeva kosa i Čemernica.

Definirane makrolokacije obuhvaćaju svega 12,8 % procijenjenog geografskog potencijala, tj. izvan njih se nalazi još velika površina pogodnih (343,06 km<sup>2</sup>) i izuzetno pogodnih lokacija (63,3 km<sup>2</sup>) koje ne mogu biti valorizirane jer Prostorni plan ne dozvoljava gradnju vjetroelektrana izvan definiranih makrolokacija. Postojanje znatno pogodnijih prostora za izgradnju vjetroelektrana izvan definiranih makrolokacija za koje su utvrđene brojne nepravilnosti, ukazuje na potrebu za izmjenama i dopunama Prostornog plana Splitsko-dalmatinske županije s ciljem uspješnijeg razvoja energije vjetra u budućnosti.

## 5. OGRANIČENJA ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja bio je provesti najtočniju i najcjelovitiju moguću analizu geografskog potencijala energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji. Iako su napravljeni određeni pomaci u odnosu na dosadašnja istraživanja, postoji i nekoliko nedostataka koje treba imati u vidu prilikom tumačenja rezultata istraživanja jer potencijalno mogu uzrokovati netočno vrednovanje određenog prostora.

1. Najveći utjecaj na rezultat istraživanja zasigurno imaju postavljeni kriteriji. Iako su zakonskim regulativama RH propisane smjernice za izgradnju vjetroelektrana, tek manji broj njih točno definira veličine zona ograničenja. Prema tome, one su definirane na temelju prevladavajućih vrijednosti u literaturi te su podložne diskusiji.
2. Podatci korišteni u analizi preuzeti su iz izvora različite detaljnosti, tj. rezolucije. Metodološki je bilo najispravnije rastersku analizu provesti na rezoluciji 200x200 metara, tj. u odnosu na najmanju rezoluciju korištenih podataka. Prema tome, mogu su očekivati određene nedosljednosti nastale prilikom generalizacije podataka, ali i zbog različitog vremena u kojemu su oni prikupljeni. Veća prostorna rezolucija istraživanja zasigurno bi dala precizniji rezultat, međutim, imajući u vidu dimenzije vjetroagregata, izabrana rezolucija može se smatrati prihvatljivom.
3. Procjena geografskog potencijala izrađena je za vjetroagregate s visinom stupa od oko 100 metara, a kako su neki kriteriji uvjetovani njihovom visinom (naprimjer, vizualni utjecaj), moguća su manja ili veća odstupanja ovisno o visini vjetroagregata za koji se odabire lokacija.
4. Zbog nedostupnosti podataka, u istraživanje nije bilo moguće uključiti sve relevantne kriterije koji utječu na geografski potencijal i pogodnost određene lokacije za izgradnju vjetroelektrana. Tako, primjerice, u analizu nisu uključeni podaci o vrsti tla, špiljama, izvorima vode, arheološkim nalazištima, namjeni zemljišta kao niti lokacije projekata koji su u završnim fazama razvoja, kao što je, naprimjer, lokacija zračne luke Šestanovac.
5. Treba spomenuti i već prethodno opisane probleme uočene prilikom prikupljanja podataka o naseljima i dalekovodima, te problem nepostojanja podataka o poljoprivrednim zemljištima I. i II. bonitetne klase.
6. Relativna važnost kriterija na ukupni rezultat određena je najjednostavnijom linearnom metodom na temelju dosadašnjih istraživanja. Korištenje kompleksnijih metoda kao što su AHP ili *fuzzy* logika, rezultiralo bi nešto realnijim odnosima, posebno ako bi u evaluaciju bili uključeni lokalni stručnjaci i investitori.

7. Svi izračuni u analizi rađeni su na temelju euklidske udaljenosti, čime je zanemaren utjecaj topografije.
8. Iako je određeni napredak u odnosu na prethodna istraživanja ostvaren uključivanjem sadržaja susjednih županija, istraživanje je i dalje ograničeno državnom granicom čime se zanemaruju mogući ograničavajući sadržaji, ali i mogući negativni utjecaj na pogranično područje Bosne i Hercegovine.

S obzirom na navedene nedostatke, može se očekivati da je stvarni geografski potencijal nešto manji od procijenjenog, a preciznije se može utvrditi tek terenskim mjerenjima i detaljnijom analizom svake pojedinačne lokacije. Međutim, to odstupanje ne bi trebalo biti značajno, jer navedeni nedostaci imaju veći utjecaj na prostorni raspored pojedinačnih vjetroagregata, nego na geografski potencijal. Odnosno, nedostaci procjene geografskog potencijala mogu se kompenzirati tijekom sljedeće razine vrednovanja pojedinačnih lokacija, tj. prilikom procjene tehničkog potencijala. Prema tome, ovo istraživanje može se smatrati pouzdanim okvirom za preliminarni odabir lokacija vjetroelektrana na prostoru Splitsko-dalmatinske županije.

Osim što može poslužiti kao temelj za procjenu tehničkog, ekonomskog i implementacijskog potencijala energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji, model predstavljen u ovom istraživanju može se uz manje korekcije primijeniti i na ostale prostore sličnih prirodnih, društvenih i gospodarskih obilježja. Prema tome, ovaj model mogao bi se primijeniti na ostale županije Primorske Hrvatske, dok bi zbog bitno drugačijih obilježja, primjena na prostoru županija kontinentalne Hrvatske zahtijevala značajnije korekcije.

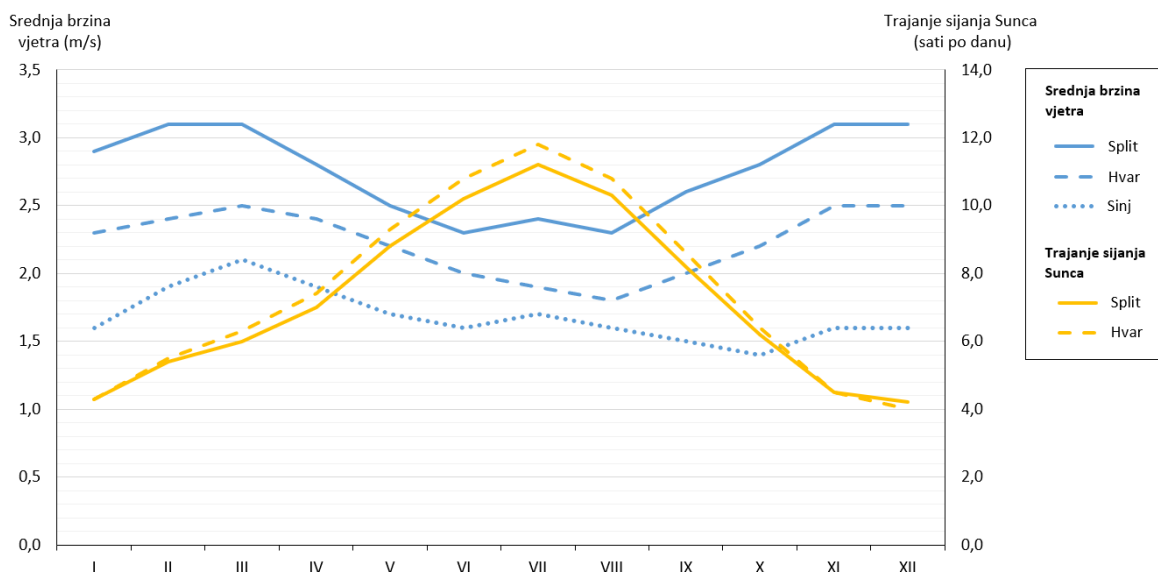
## 6. SMJERNICE ENERGETSKOG I GOSPODARSKOG RAZVOJA

Veliki jaz između procijenjenog geografskog potencijala energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji i trenutno instaliranih kapaciteta ukazuje na veliki potencijal za daljnji razvoj iskorištavanja spomenute energije. Imajući u vidu brojne prednosti u odnosu na konvencionalne i ostale obnovljive izvore energije, može se smatrati da energija vjetra ima ključnu ulogu u smanjenju energetske deficita te stvaranju sigurnog sustava opskrbe koji je neovisan o uvozu energije, kako na županijskoj tako i na nacionalnoj razini. Najveći razlozi dosadašnjeg relativno sporog razvoja iskorištavanja energije vjetra su administrativna kompleksnost te niz pravnih izazova i prepreka s kojima se suočavaju potencijalni ulagači. Stoga je jedan od osnovnih preduvjeta značajnijeg razvoja vjetroelektrana u budućnosti donošenje jasnog zakonskog okvira koji će olakšati i ubrzati višegodišnji put od ideje do realizacije projekata (Simeunović, 2015), ali istodobno i postaviti konkretnije definirane kriterije za izgradnju vjetroelektrana.

U Splitsko-dalmatinskoj županiji najveće potrebe za energijom su u gusto naseljenom i gospodarski vrlo razvijenom obalnom pojasu, koji je zbog svoje izuzetno velike vrijednosti u cijelosti ocijenjen nepogodnim za izgradnju vjetroelektrana. Međutim, u njegovu zaleđu, svega 10 kilometara dalje, nalaze se velike površine pogodnih i izuzetno pogodnih potencijalnih lokacija vjetroelektrana koje ga uspješno mogu opskrbljivati energijom bez velikih gubitaka prijenosa energije. Znatno veći problem predstavlja prijenos energije na otoke koji su također u cijelosti ocijenjeni nepogodnim za razvoj vjetroelektrana, unatoč tome što imaju veliki teoretski potencijal energije vjetra te vrlo izraženu potrebu za novim ulaganjima i stvaranjem neovisne i sigurne energetske mreže.

Rješenje tog problema može se dijelom pronaći u izgradnji vjetroelektrana na morskim površinama u blizini naseljenih otoka. Vjetroagregati na morskim površinama u pravilu su produktivniji zbog većih dimenzija, većih brzina vjetra i znatno manjih turbulencija. Međutim, njihova izgradnja zahtijeva znatno veća ulaganja od onih na kopnu. Zbog snažne ovisnosti cijene izgradnje o dubini mora, općenito se preferira izgradnja fiksnih vjetroturbina koja je moguća do dubine od 45 metara. Međutim, zbog znatno većih dubina mora, izgradnja vjetroagregata na morskim površinama u slučaju Splitsko-dalmatinske županije značila bi izgradnju plutajućih vjetroagregata, što bi povećalo troškove izgradnje nekoliko puta u odnosu na one na kopnu. Time bi se dovela u pitanje i njihova konkurentnost drugim obnovljivim, pa i konvencionalnim, izvorima energije (Harrison, 2012; Liščić i dr., 2014).

S obzirom na to da je iskorištavanje energije vjetra većinom usmjereno na velike vjetroagregate, često se zanemaruju mogućnosti malih vjetroagregata (do 300 kW). Iako su mali vjetroagregati zbog manje veličine rotora i njihove osi vrtnje manje učinkovite u smislu proizvodnje energije u usporedbi s velikim vjetroagregatima koji se koriste za izgradnju vjetroelektrana, oni imaju i brojne prednosti. To su: potrošnja na mjestu proizvodnje, lagana instalacija, relativno mala ukupna ulaganja, privatne investicije, manje opterećenje elektroenergetske mreže, veća mogućnost instalirane snage po jedinici površine te mogućnost izgradnje bliže preprekama korištenjem postojeće infrastrukture, kao što su stupovi električne energije ili krovovi kuća. Mali vjetroagregati često koriste se u kombinaciji s energijom Sunca, te na taj način stvaraju jako kvalitetnu energetska autonomnost pojedinačnih kućanstava ili manjih zajednica kojima mogu donijeti dodatan prihod distribucijom ostvarenih viškova u elektroenergetski sustav (Rodman i Meentemeyer, 2006; Drew, 2012; Koffel, 2012). Stoga ovakvi sustavi mogu biti vrlo vrijedan dodatak energetska opskrbi otoka i obalnog pojasa koji nemaju mogućnost izgradnje velikih vjetroelektrana.



Sl. 26. Godišnji hod srednjih brzina vjetra (1981. – 2017.) na 10 m od tla i trajanje sijanja Sunca (1971. – 2000.) za odabrane meteorološke postaje u Splitsko-dalmatinskoj županiji

Izvor: Podatci o brzini vjetra na 10 m od tla, DHMZ; Zaninović, 2008

Osim u malim sustavima, kombinacija vjetroelektrana i solarnih elektrana može biti i vrlo učinkovita u cjelokupnoj energetska opskrbi Splitsko-dalmatinske županije, i to zbog njihova suprotnog dnevnog i godišnjeg hoda. Naime, najviše srednje brzine vjetra zabilježene su u zimskom dijelu godine, dok su nešto niže u ljetnom dijelu godine kada se

smanjena proizvodnja energije iz vjetroelektrana može nadomjestiti proizvodnjom iz solarnih elektrana zahvaljujući i do nekoliko puta većem trajanju sijanja sunca od onog u zimskom dijelu godine. Također, nemogućnost rada solarnih vjetroelektrana u noćnim satima, nadomješta se u pravilu nešto većim brzinama vjetra noću. Na taj način može se uvelike umanjiti glavni nedostatak ovih izvora energije, a to je velika varijabilnost proizvodnje koja se ne može sa sigurnošću predvidjeti. U kritičnim razdobljima kada je smanjena proizvodnja i vjetroelektrana i solarnih elektrana, dovoljna količina energije može se osigurati proizvodnjom iz hidroelektrana koja je relativno stabilna i može se donekle regulirati (Nawri i dr., 2014; Delucchi i Jacobson, 2013). Uz navedene, Splitsko-dalmatinska županija ima i dobru mogućnost razvoja ostalih obnovljivih izvora energije, koji će doprinijeti diversifikaciji proizvodnje energije. To opravdava tvrdnju da Splitsko-dalmatinska županija može stvoriti neovisan i siguran sustav opskrbe energijom koji je 100 % temeljen na obnovljivim izvorima energije.

Industrija energije vjetra je zadnjih godina pokazala da ne služi samo u borbi protiv klimatskih promjena ili kao način povećanja energetske sigurnosti upotrebom domaćih izvora energije, nego i kao sredstvo ekonomskog rasta, čak i u vrijeme duboke krize. To se prvenstveno odnosi na velike mogućnosti rasta i zapošljavanja u onim gospodarskim granama koje su vezane za proizvodnju, instalaciju i održavanje takvog kompleksnog energetskeg sustava. Proizvodnja komponenti (kao što su, naprimjer, stupovi, elise, generatori, transformatori, pa i vijci, matice i drugi sitni dijelovi) nešto je u što bi se Hrvatska mogla upustiti vrlo brzo i to s praktički postojećom tehnologijom. Najveći potencijal za to imaju brodogradilišta koja već imaju proizvodne kapacitete, opremu i obučenu radnu snagu čime lako mogu udovoljiti tehnološkim zahtjevima za proizvodnju velikih komponenti vjetroagregata. To potvrđuje i primjer brodogradilišta Brodosplit u kojemu su prvi put proizvedeni stupovi za projekt VE Jelinak. Nažalost, uz njega, jedini projekt na kojemu su korišteni vjetroagregati koji su proizvedeni i dizajnirani u Hrvatskoj je VE Pometeno brdo, za što je zaslužna tvrtka Končar. Ostale vjetroelektrane rezultat su uvoza, a ne domaće proizvodnje. Izgradnjom vjetroelektrana potiče se i razvoj lokalne zajednice, i to kroz plaćanje poreza i doprinosa koji nerijetko premašuju njihove godišnje proračune. Također, izgradnja može donijeti i dodatnu zaradu vlasnicima zemlje na kojoj se grade vjetroagregati. Iskustva drugih država (naprimjer, Danske i Njemačka) pokazuju da lokalno stanovništvo ima puno veće koristi od vjetroelektrana kada se udruže u energetske zadruge i sami postanu (su)vlasnici vjetroelektrana, a to se polako počinje ostvarivati i u Hrvatskoj (Jerkić i dr., 2012; Liščić i dr., 2014).

## 7. ZAKLJUČAK

Stvaranje neovisnog, sigurnog, konkurentnog i održivog energetskog sustava Republike Hrvatske velikim dijelom se oslanja na razvoj iskorištavanja energije vjetra. Unatoč pozitivnim trendovima, Hrvatska je daleko od ispunjenja cilja od 1200 MW ukupno instaliranih kapaciteta vjetroelektrana do 2020. godine, te će se u budućnosti morati uložiti znatno veći napori u njihov razvoj.

Kao jedan od prostora s najvećim potencijalom za iskorištavanje energije vjetra ističe se Splitsko-dalmatinska županija. Prema postavljenom metodološkom okviru istraživanja i odabranim kriterijima, geografski potencijal Splitsko-dalmatinske županije iznosi 514,0 km<sup>2</sup>, što potvrđuje prvu hipotezu koja pretpostavlja da *u Splitsko-dalmatinskoj županiji postoje prostori koji su pogodni za izgradnju vjetroelektrana, odnosno da postoje lokacije koje udovoljavaju svim postavljenim ekonomskim, socijalnim i okolišnim kriterijima*. Čak 90,9 % tog prostora je ocijenjeno pogodnim (394,2 km<sup>2</sup>) ili izuzetno pogodnim (73,2 km<sup>2</sup>) za iskorištavanje energije vjetra, što pruža Splitsko-dalmatinskoj županiji velike mogućnosti za daljnje iskorištavanje energije vjetra bez značajnijih negativnih posljedica na stanovništvo i okoliš.

Iako prema ekonomskim kriterijima sve tri prostorne sastavnice Splitsko-dalmatinske županije (otoci, priobalni pojas i zaleđe) imaju podjednake uvjete za izgradnju vjetroelektrana, pod utjecajem socijalnih i okolišnih kriterija, napose kriterija vidljivosti s obale te udaljenosti od naselja i ekološke mreže Natura 2000, obalni pojas i otoci u cijelosti su ocijenjeni nepogodnima za izgradnju vjetroelektrana. Prema tome, potvrđena je druga hipoteza da se *najveći udio površina pogodnih za izgradnju vjetroelektrana nalazi u zaleđu Splitsko-dalmatinske županije*, ali i odbačena hipoteza da *na većim otocima Splitsko-dalmatinske županije postoje lokacije pogodne za izgradnju vjetroelektrana*.

Četvrta hipoteza pretpostavlja da su *postojeće vjetroelektrane u Splitsko-dalmatinskoj županiji izgrađene u skladu s ekonomskim, socijalnim i okolišnim kriterijima*, što može biti samo djelomično prihvaćeno. Naime, analizom lokacija 93 vjetroagregata izgrađenih u sklopu šest vjetroelektrana u Splitsko-dalmatinskoj županiji nisu utvrđene značajnije nepravilnosti osim u slučaju VE Jelinak koja je izgrađena unutar područja zaštićenog ekološkom mrežom Natura 2000, čime ne zadovoljava strogo definirani kriterij prema kojem vjetroagregati ne smiju biti vidljivi s obale.

Za razliku od lokacija postojećih vjetroelektrana, puno veće nepravilnosti utvrđene su analizom 37 makrolokacija za izgradnju vjetroelektrana koje su definirane u Prostornom



planu Splitsko-dalmatinske županije. Više od 70 % površine definiranih lokacija ocijenjeno je nepogodnima za izgradnju vjetroelektrana, najvećim dijelom zbog neispunjavanja okolišnih kriterija. S obzirom na to da su makrolokacije definirane unutar ili vrlo blizu pogodnih i izuzetno pogodnih prostora prema ekonomskim kriterijima, potvrđena je i posljednja postavljena hipoteza da su *prilikom određivanja makrolokacija za izgradnju vjetroelektrana u Prostornom planu Splitsko-dalmatinske županije uglavnom slijeđeni ekonomski kriteriji*.

Ovim istraživanjem još je jednom potvrđena efikasnost GIS-a i multikriterijske analize u rješavanju složenih prostornih problema. Dobiveni rezultati predstavljaju vrijedan izvor informacija o potencijalima i ograničenjima za razvoj energije vjetra Splitsko-dalmatinske županije, što može značajno olakšati i ubrzati proces odabira lokacija vjetroelektrana u budućnosti. A s obzirom na to da je brojnim istraživanjima dokazana pozitivna korelacija između stupnja informiranosti stanovništva i lokalnog prihvaćanja ovog izvora energije, opravdano je očekivati da bi se objavljivanje rezultata ovog istraživanja u obliku interaktivnih web GIS karti, koje su vrlo moćan i isplativ alat informiranja šire javnosti, pozitivno odrazilo na javno mišljenje i u konačnici smanjilo otpor stanovništva na izgradnju vjetroelektrana u njihovoj blizini (Harrison, 2012; Mari i dr., 2011).

S obzirom na brojne dobrobiti ovakvih istraživanja, poželjno je predloženi model uz manje ili veće korekcije primijeniti i na ostale županije, kao i na druge obnovljive izvore energije kako bi se dobila cjelovita slika o mogućnostima njihova razvoja. Pravovremena procjena energetske potencijala, na temelju koje se donose politike energetskog razvoja, ključan je preduvjet stvaranja sigurnog i održivog sustava energetske opskrbe.

## Literatura

Atici, K., Simsek, A. B., Ulucan, A., Tosun, M. U., 2015: A GIS-based Multiple Criteria Decision Analysis approach for wind power plant site selection, *Utilities Policy*, 10 (1), 1-11.

Aydin, N. Y., Kentel, E., Duzgun S., 2010: GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (1), 364–373.

Baban, S. M. J., Parry, T., 2001: Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK, *Renewable Energy*, 24 (1), 59–71.

Baseer, M. A., Rehman, S., Meyer, J. P., Alam, M. D., 2017: GIS-based site suitability analysis for wind farm development in Saudi Arabia, *Energy*, 141 (1), 1166-1176.

Bell, D., Gray, T., Haggett, C., 2005: The ‘social gap’ in wind farm siting decisions: explanations and policy responses, *Environmental Politics*, 14 (4), 460-477.

Bobeck, M., 2017: *A GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis of Wind Farm Site Suitability in New South Wales, Australia, from a Sustainable Development Perspective*, Master thesis, Department of Physical Geography and Ecosystem Science Centre for Geographical Information Systems, Lund University, Lund

Chamanehpour, E., Ahmadizadeh, Akbarpour, 2017: Site selection of wind power plant using multi-criteria decision-making methods in GIS: A case study, *Computational Ecology and Software*, 7 (2), 49-64.

Crill, C., Gillman, W., Malaney, J., Stenz, T., 2010: A GIS-driven approach to Siting a Prospective Wind Farm in South Central Wisconsin, <https://minds.wisconsin.edu/handle/1793/48068> (03. 06. 2018.)

Cvitanović, I. (ur.), 1974: *Južno Hrvatsko primorje*, Školska knjiga, Zagreb

Delucchi, M. A., Jacobson, M. Z., 2013: Meeting the world’s energy needs entirely with wind, water, and solar power, *Bulletin of the Atomic Scientists*, 69 (4), 30-40.

Deluka-Tibljaš, A., Karleuša, B., Dragičević, N., 2013: Pregled primjene metoda višekriterijske analize pri donošenju odluka o prometnoj infrastrukturi, *Građevinar*, 65 (7), 619-631.

Dincer, F., 2011: The analysis on wind energy electricity generation status, potential and policies in the world, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (1), 5135–5142.

Dizdarević, N., Majstorović, M., Žutobradić, S., 2003: Pogon vjetroelektrana, u: *Šesto savijetovanje HK CIGRE* (ur. Z. Cvetković), Cavtat, 9. – 13. studenog 2003., HK CIGRE, Zagreb, 1-14.

Drews, L. V., 2012: *Multi-Criteria GIS Analysis for Siting of Small Wind Power Plants - A Case Study from Berlin*, Master degree thesis, Lund University, Department of Physical Geography and Ecosystem Science, Lund

Eltham, D. C., Harrison, G., Allen, S. J., 2008: Change in public attitudes towards a Cornish wind farm: Implications for planning, *Energy Policy*, 36 (1), 23-33.

Farajzadeh1, M., Taghilo, A., 2013: The Wind Energy Potential Zoning using GIS and Fuzzy MCDM-based Approach (Study Area: ZanjanProvince, Iran), *Intl. J. Humanities*, 20 (2), 45-60.

Gigović, Lj., Pamučar, D., Božanić, B., Ljubojević, S., 2017: Application of the GIS-DANP-MABAC multi-criteria model for selecting the location of wind farms: A case study of Vojvodina, Serbia, *Renewable Energy*, 103 (1), 501-521.

Grassi, S., Veronesi, F., Schenkel, R., Peier, C., Neukom, J., Volkwein, S., Raubal., M., Hurni, L., 2015: Mapping of the global wind energy potential using open source GIS data, u: *Preprint 2nd International Conference on Energy and Environment: bringing together Engineering and Economics Guimarães*, At Guimarães, 18. - 19. svibanj 2015.

Gugić, J., Tratnik, M., Kolega A., Grgić, I., Kerum D., 2011: Pregled stanja i mogućnosti razvoja Poljoprivrede u Splitsko-dalmatinskoj županiji, *Agronomski glasnik* 3 (1), 125-150.

Hansen, H. S., 2005: GIS-based Multi-Criteria Analysis of Wind Farm Development, u: *Proceedings of the 10th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science* (ur. H. Hauska, i H. Tveite), Stockholm, 13. lipnja 2005., ScanGis, 75-87.

- Harrison, J. D., 2012: Onshore wind power systems (ONSWPS): *A gis-based tool for preliminary site-suitability analysis*, Master degree thesis, Faculty of the USC Graduate School, University of Southern California, Los Angeles
- Herbert, G. M. J., Iniyamb S., Sreevalsanc E., Rajapandiand S., 2007: A review of wind energy technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11 (1), 1117–1145.
- Hoogwijk, M., de Vriesb, B., Turkenburga, W., 2004: Assessment of the global and regional geographical, technical and economic potential of onshore wind energy, *Energy Economics*, 26 (1), 889– 919.
- Horvat, A., 2016: *Diferencijalni demografski razvoj unutar Splitsko-dalmatinske županije, završni rad*, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek
- Höfer, T., Sunak Y., Siddique, H., Madlener, R., 2016: Wind farm siting using a spatial Analytic Hierarchy Process approach: A case study of the Städteregion Aachen, *Applied Energy*, 163 (1), 222–243.
- Huber, S., Horbaty, R., Ellis, G., 2012: Social Acceptance of Wind Power Projects: Learning from Trans-National Experience, u: *Learning from Wind Power, Energy, Climate and the Environment Series* (ur. Szarka, J., Cowell, R., Ellis, G., Strachan, P.A., Warren, C.), Palgrave Macmillan, London, 215-234.
- Iyappan, L., Kasinatha, P. P., 2012: Identification of Potential Wind Farm Locations in Tirumangalam Taluk using Geospatial Information Technology, *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2 (3), 1578-1583.
- Janke, J. R., 2010: Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado, *Renewable Energy*, 35 (1), 2228-2234.
- Jerkić, E., 2012: Zeleni rast: utjecaj energije vjetra na zaposlenost i ekonomiju, <http://www.vjetroelektrane.com/aktualno/1086-zeleni-rast-utjecaj-energije-vjetra-na-zaposlenost-i-ekonomiju-2> (01. 12. 2018.)
- Kaldellis, J., 2005: Social attitude towards wind energy applications in Greece, *Energy Policy*, 33 (1), 595–602.

- Koffel, J., 2012: *A technical analysis of wind power potential in Tompkins County, New York*, Master of Science Thesis, Faculty of the Graduate School of Cornell University, Ithaca
- Krpan, Lj., Jelavić, B., Horvath, L., 2012: Physical Planning Preconditions for the Construction of Wind Power Plants, *Strojarstvo*, 54 (1), 79-90.
- Latinopoulos, D. , Kechagia, K., 2015: A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece, *Renewable Energy*, 78 (1), 550-560.
- Liščić, B., Senjanović, I., Čorić, V., Kozmar, H., Tomić, M., Hadžić, N., 2014: Offshore Wind Power Plant in the Adriatic Sea: An Opportunity for the Croatian Economy, *Transactions on Maritime Science*, 3 (2), 103-110.
- Lou, W., Taylor, M. C., Parker, S. R., 2008: A comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surfaces using irregularly distributed data from England and Wales, *International journal of climatology*, 28 (1), 947–959.
- Magaš, D., 2013: *Geografija Hrvatske*, Sveučilište u Zadru, Zadar
- Mari, R., Bottai, L., Busillo, C., Calastrini, F., Gozzini, B., Gualtieri, G., 2011: A GIS-based interactive web decision support system for planning wind farms in Tuscany (Italy), *Renewable Energy*, 36 (1), 754-763.
- Mathew, S. A., Mariappan, V. E. N., 2014: Wind Resource Land Mapping using ArcGIS, WASP and Multi Criteria Decision Analysis (MCDA), *Energy Procedia*, 52 (1), 666–675.
- Matijašević, N., 2017: *Usporedba starog i novog sustava poticanja proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora: primjer male hidroelektrane s analizom isplativosti*, završni specijalistički rad, Sveučilište u Rijeci, Ekonomski fakultet, Rijeka
- Međimorec, D., Knežević, S., Vorkapić, V., Škrlec, D., 2011: Wind Energy and Environmental Protection: Using GIS to Evaluate the Compatibility of Croatian Strategies, u: *8th International Conference on the European Energy Market* (ur. M. Delimar), Zagreb, 25.-27. svibnja 2011., IEEE, Zagreb, 764.772.
- Mentis, D., 2013: *Wind Energy Assessment in Africa A GIS-based approach*, Master of Science Thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management, Stockholm

Nawri., N., Petersen, G. N., Bjornsson, H., Hahmann, A., Jónasson, K., Hasager, C. B., Clausen, N., 2014: The wind energy potential of Iceland, *Renewable Energy*, 69 (1), 290-299.

Noorollahi, Y., Yousefi, H., Mohammadi, M., 2016: Multi-criteria decision support system for wind farm site selection using GIS, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 13 (1), 38–50.

Pamučar, D., Gigović, Lj., Bajić, Z., Janošević, M., 2017: Location Selection for Wind Farms Using GIS Multi-Criteria Hybrid Model: An Approach Based on Fuzzy and Rough Numbers, *Sustainability*, 9(1), 1-23.

Radoš, D., 2017: *Analiza topografske površine u procesu procjene vjetro potencijala, doktorski rad*, Sveučilište u Zadru, Poslijediplomski sveučilišni studij „Jadran – poveznica među kontinentima“, Zadar

Petrić, L., Grčić, B., Mrnjavac, Ž., Fredotović, M., Pašalić, Ž., Šimunović, I., Derado, D., Đirlić, M., Veža, I., Krneta M., Tičina, V., 2006: *Regionalni operativni program Splitsko-dalmatinske županije*, Ekonomski fakultet Split, Split

Rodman, L. C., Meentemeyer, R. K., 2006: A geographic analysis of wind turbine placement in Northern California, *Energy Policy*, 34 (1), 2137–2149.

Promsen, W., Janjai, S., Tantalechon, T., 2014: An Analysis of Wind Energy Potential of Kampot Province, Southern Cambodia, *Energy Procedia*, 52 (1), 633 – 641.

Saleous, N., Issa, S., Al Mazrouei, J., 2016: Gis-based wind farm site selection model offshore Abu Dhabi Emirate, UAE, u: *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Prague, 12.–19. srpanj 2016, The International Archives of the Photogrammetry, 437-441.

Simeunović, D., 2015: Aktualna regulativa i stanje investicija u projekte vjetroelektrana u Hrvatskoj, *Zbornik radova Pravnog fakulteta u Splitu*, 52 (3), 641-663.

Siyal, S. H., Mörtberg, U., Mentis, D., Welsch, M., Babelon, I., Howells, M., 2015: Wind energy assessment considering geographic and environmental restrictions in Sweden: A GIS-based approach, *Energy*, 83(1), 1-15.

- Sliz-Szkliniarz, B., Vogt, J., 2011: GIS-based approach for the evaluation of wind energy potential: A case study for the Kujawsko–Pomorskie Voivodeship, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (1), 1696–1707.
- Sunak, Y., Höfer, T., Siddique, H., Madlener, R., De Doncker, R., 2015: *A GIS-based Decision Support System for the Optimal Siting of Wind Farm Projects*, E.ON Research Center, Aachen
- Uyan, M., 2013: GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28 (1), 11–17.
- van Haaren, R., Fthenakis, V., 2011: GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): Evaluating the case for New York State, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (1), 3332– 3340.
- Zaninović, K. (ur.), 2008: *Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961–1990., 1971–2000*, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb
- Zhang, J., 2015: *Assessment of renewable energy potentials based on GIS and RSA case study in China*, doctoral dissertation, Faculty of Spatial Planning at TU Dortmund University, Dortmund
- Villacreses, G., Gaona, G., Martínez-Gómez, J., Juan Jijón, D., 2017: Wind farms suitability location using geographical information system (GIS), based on multi-criteria decision making (MCDM) methods: The case of continental Ecuador, *Renewable Energy*, 109 (1), 275-286.
- Voivontas, D., Assimacopoulos, D., Mourelatos, A., Corominas, J., 1998: Evaluation of Renewable Energy potential using a GIS decision support system, *Renewable Energy*, 13 (3), 333-344.
- Wang, Q., M’ikiugu, M. M., Kinoshita, I., 2014: A GIS-Based Approach in Support of Spatial Planning for Renewable Energy: A Case Study of Fukushima, Japan, *Sustainability*, 6 (1), 2087-2117.

Wolsink, M., 2007: Planning of renewables schemes: Deliberative and fair decision-making on landscape issues instead of reproachful accusations of non-cooperation, *Energy Policy*, 35 (5), 2692–2704.

Wróżyński, R., Sojka, M., Pyszny, K., 2016: The application of GIS and 3D graphic software to visual impact assessment of wind turbines, *Renewable Energy*, 96 (1), 625-635.

Yang, Z., 2013: Using GIS to Determine Wind Energy Potential in Minnesota, USA, *Papers in Resource Analysis*, 15 (1), 1-13.



## Izvori

Analiza mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj - Prelazak Hrvatske na 100% obnovljivih izvora energije, Zelena energetska zadruga, 2015, <http://m.greenpeace.org/croatia/Global/croatia/Prelazak%20Hrvatske%20na%20obnovljive%20izvore%20energije.pdf> (20. 05. 2018.)

Atlas vjetra Hrvatske, Državni hidrometeorološki zavod, 2012, [http://klima.hr/razno/publikacije/brosura-atlas\\_vjetra.pdf](http://klima.hr/razno/publikacije/brosura-atlas_vjetra.pdf) (01. 05. 2018.)

Bioportal, WFS servisi, <http://services.bioportal.hr/wfs> (10. 06. 2018.)

Copernicus Land Monitoring Service, <https://land.copernicus.eu/> (10. 06. 2018.)

Digitalni ortofoto 2011 (1:5000) - WMS servis, <http://geoportal.dgu.hr/services/dof/wms> (01. 12. 2018.)

Energija u Hrvatskoj 2005., Godišnji energetske pregled, Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, [https://www.mzoip.hr/doc/energija\\_u\\_hrvatskoj\\_2005.pdf](https://www.mzoip.hr/doc/energija_u_hrvatskoj_2005.pdf) (05. 05. 2018.)

Energija u Hrvatskoj 2007., Godišnji energetske pregled, Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, [https://www.mzoip.hr/doc/energija\\_u\\_hrvatskoj\\_2007.pdf](https://www.mzoip.hr/doc/energija_u_hrvatskoj_2007.pdf) (05. 05. 2018.)

Energija u Hrvatskoj 2012., Godišnji energetske pregled, Ministarstvo gospodarstva, [https://www.mingo.hr/userdocsimages/energetika/Energija2012\\_web%20\(1\).pdf](https://www.mingo.hr/userdocsimages/energetika/Energija2012_web%20(1).pdf) (05. 05. 2018.)

Energy statistic: EU28 countries - update June 2018, Eurostat energy statistics, 2018, [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/countrydatasheets\\_feb2018.xlsx](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/countrydatasheets_feb2018.xlsx) (05. 07. 2018.)

EU Guidance - Wind energy developments and Natura 2000, European Comission, [http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/Wind\\_farms.pdf](http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/Wind_farms.pdf) (20. 03. 2018.)

General Electric GE 2.85, Wind-turbine-models, n.d., <https://www.en.wind-turbine-models.com/turbines/750-general-electric-ge-2.85-103> (12. 10. 2018.)

Global Wind Atlas, <https://globalwindatlas.info/> (01. 12. 2018.)

Godišnji izvještaj o proizvodnji vjetroelektrana u Hrvatskoj, HEP, 2017, <https://www.hops.hr/wps/wcm/connect/223c7f2f-39a6-4bf7-b17e-cd3e78de74d1/HOPS+GI+2017+---+za+web.pdf?MOD=AJPERES> (01. 8. 2018.)

Hrvatska u brojkama 2017, Državni zavod za statistiku, 2017., [https://www.dzs.hr/Hrv\\_Eng/CroInFig/croinfig\\_2017.pdf](https://www.dzs.hr/Hrv_Eng/CroInFig/croinfig_2017.pdf) (05. 05. 2018.)

HOPS – Godišnje izvješće 2016, <https://www.hops.hr/wps/wcm/connect/cfa727a7-c532-400b-86bf-41d775d2cd21/HOPS+GI+2016.pdf?MOD=AJPERES> (10. 05. 2018.)

Country Reports – Croatia – 2018 update, Bioenergy policies and status of implementation IEA Bioenergy, 2018, [https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/10/CountryReport2018\\_Croatia\\_final.pdf](https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/10/CountryReport2018_Croatia_final.pdf) (03. 10. 2018.)

Izvješće o stanju okoliša u Splitsko-dalmatinskoj županiji za razdoblje 2008. - 2011. godine, Upravni odjel za graditeljstvo, komunalne poslove, infrastrukturu i zaštitu okoliša Splitsko-dalmatinske županije, Split, 2012

Modeliranje energetskeg potencijala vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji korištenjem ALADIN modela, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 2011

NASA Earth Data, <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp> (01. 05. 2018.)

OpenStreetMap, <https://www.openstreetmap.org/> (10. 06. 2018.)

Podatci o brzini vjetra na 10 m od tla u razdoblju od 1981. do 2017. godine, Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb

Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2011. godine: stanovništvo prema starosti i spolu, po naseljima, [www.dzs.hr](http://www.dzs.hr) (03. 09. 2018.)

Potencijal OIE u Splitsko-dalmatinskoj županiji, 2016, [http://www.door.hr/wp-content/uploads/2016/01/REPAM\\_studija\\_17\\_splitska.pdf](http://www.door.hr/wp-content/uploads/2016/01/REPAM_studija_17_splitska.pdf) (05. 07. 2018.)

Priopćenje 4.3.2.: Dolasci i noćenja turista u 2017., [www.dzs.hr](http://www.dzs.hr) (03. 09. 2018.)

Program zaštite okoliša Splitsko-dalmatinske županije, OIKON d.o.o. Institut za primijenjenu ekologiju, Zagreb, 2008

Prostorni plan Splitsko-dalmatinske županije, broj 9/13, Zavod za prostorno uređenje Splitsko-dalmatinske županije, 2013

Razvojna strategija Splitsko-dalmatinske županije za razdoblje do 2020. godine, RERASD, 2011, <http://www.rera.hr/upload/stranice/2017/02/2017-02-09/34/nacrtupanijskerazvojnestrategije.pdf> (03. 05. 2018.)

Renewable Energy Prospects for the European Union, [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA\\_REmap-U\\_2018\\_summary.pdf?la=en&hash=818E3BDBFC16B90E1D0317C5AA5B07C8ED27F9EF](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Feb/IRENA_REmap-U_2018_summary.pdf?la=en&hash=818E3BDBFC16B90E1D0317C5AA5B07C8ED27F9EF) (01. 08. 2018.)

Renewables 2018, Global status report, 2018, [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652\\_GSR2018\\_FullReport\\_web\\_final\\_.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf) (01. 10.2018.)

Statistički ljetopis Republike Hrvatske 2017., [www.dzs.hr](http://www.dzs.hr) (03. 09. 2018.)

Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2020. godine, <http://www.europski-fondovi.eu/content/strategija-energetskeg-razvoja-republike-hrvatske-do-2020-godine> (01. 05. 2018.)

Strategija razvoja ljudskih potencijala Splitsko-dalmatinske županije 2014.-2020., Klaster za društvene inovacije, razvoj i edukaciju Lokalnog partnerstva za zapošljavanje, Split, 2015

Studija o utjecaju na okoliš - Vjetroelektrana Korlat, Grad Benkovac, Zadarska županija, 2016, [https://mzoe.hr/doc/studija\\_o\\_utjecaju\\_na\\_okolis\\_88.pdf](https://mzoe.hr/doc/studija_o_utjecaju_na_okolis_88.pdf) (10. 10. 2018)

Vjetroelektrane na otocima, Vjetroelektrane, 23.4.2014., <http://www.vjetroelektrane.com/aktualno/1881-vjetroelektrane-na-otocima> (05. 05. 2018.)

Wind Energy Guideline, For State significant wind energy development, 2016, [https://www.planning.nsw.gov.au/~/\\_/media/Files/DPE/Guidelines/wind-energy-guideline-for-state-significant-wind-energy-development-2016-12.ashx](https://www.planning.nsw.gov.au/~/_/media/Files/DPE/Guidelines/wind-energy-guideline-for-state-significant-wind-energy-development-2016-12.ashx) (20. 03. 2018.)

Wind in power 2017, Annual combined onshore and offshore wind energy statistics,  
<https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2017.pdf> (20. 03. 2018.)

## Popis slika i tablica

|  |    |
|--|----|
| Sl. 1. Vizualni utjecaj vjetroelektrana na prostor.....  | 4  |
| Sl. 2. Različite razine procijene potencijala energije vjetra.....   | 6  |
| Sl. 3. Model istraživanja.....   | 12 |
| Sl. 4. Geografski smještaj i položaj Splitsko-dalmatinske županije.....  | 15 |
| Sl. 5. Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji 2016. godine i cilj 2020. godine po državama Europske unije.....   | 17 |
| Sl. 6. Energetska bilanca električne energije (lijevo) i struktura proizvodnje električne energije (desno) 2001, 2006, 2011. i 2016. godine u Republici Hrvatskoj.....       | 18 |
| Sl. 7. Shema elektroenergetske opskrbe Republike Hrvatske u 2015. godini.....  | 19 |
| Sl. 8. Dinamika izgradnje vjetroelektrana u Hrvatskoj od 2005. do 2017. godine.....  | 20 |
| Sl. 9. Instalirani kapaciteti vjetroelektrana i udio energije vjetra u proizvodnji električne energije u državama članicama i kandidatima Europske unije u 2016. godini..... | 22 |
| Sl. 10. Postojeće vjetroelektrane te lokacije potencijalnih vjetroelektrana definiranih u Prostornom planu Splitsko-dalmatinske županije.....                                | 24 |
| Sl. 11. Proizvodnja električne energije ovisno o brzini vjetra na visini vjetroturbine za vjetroagregat General Electric – 2,85 MW.....                                      | 28 |
| Sl. 12. Osnovni koraci u obradi vektorskih i rasterskih podataka.....  | 38 |
| Sl. 13. Algoritam preklapanja slojeva.....   | 39 |
| Sl. 14. Zone ograničenja oko naselja definirane iz: a) središta naselja, b) poligona naselja DARH, c) pojedinačnih stambenih i gospodarskih objekata.....                    | 41 |
| Sl. 15. Shematski prikaz analize vidljivosti vjetroagregata.....   | 42 |
| Sl. 16. Relativna važnost odabranih kriterija za određivanje optimalnih lokacija vjetroelektrana.....  | 43 |
| Sl. 17. Shema ponderiranog preklapanja rasterskih slojeva koja je primijenjena u istraživanju.....   | 44 |
| Sl. 18. Prostorni raspored srednje godišnje brzine vjetra (m/s) na 100 m iznad tla u Splitsko-dalmatinskoj županiji.....   | 45 |
| Sl. 19. Ekonomski aspekt geografskog potencijala energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji.....   | 48 |
| Sl. 20. Socijalni aspekt geografskog potencijala energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji.....   | 51 |

|  |    |
|--|----|
| Sl. 21. Okolišni aspekt geografskog potencijala energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji.....  | 55 |
| Sl. 22. Geografski potencijal energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji.....  | 57 |
| Sl. 23. Usporedba lokacija VE Ogorje, VE Lukovac i VE Pometeno brdo s rezultatima istraživanja.....  | 58 |
| Sl. 24. Ocjena pogodnosti lokacija postojećih vjetroagregata u Splitsko-dalmatinskoj županiji prema odabranim kriterijima.....   | 59 |
| Sl. 25. Pogodnost makrolokacija za izgradnju vjetroelektrana koje su određene unutar Prostornog plana Splitsko-dalmatinske županije prema odabranim kriterijima.....               | 62 |
| Sl. 26. Godišnji hod srednjih brzina vjetra (1981–2017) na 10 m od tla i trajanje sisanja Sunca (1971–2000) za odabrane meteorološke postaje u Splitsko-dalmatinskoj županiji..... | 26 |
| Tab. 1. Izgrađene vjetroelektrane u Hrvatskoj do kraja 2017. godine.....   | 21 |
| Tab. 2. Zone pogodnosti odabranih ekonomskih, socijalnih i okolišnih kriterija.....  | 26 |
| Tab. 3. Izvori i karakteristike izvornih podataka korištenih za analizu odabranih kriterija...   | 37 |
| Tab. 4. Klasifikacijska shema načina korištenja zemljišta.....   | 40 |
| Tab. 5. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema ekonomskim kriterijima.....  | 47 |
| Tab. 6. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema socijalnim kriterijima.....  | 50 |
| Tab. 7. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema okolišnim kriterijima Pogreška! Knjižna oznaka nije definirana.....                    | 53 |

## Popis priloga

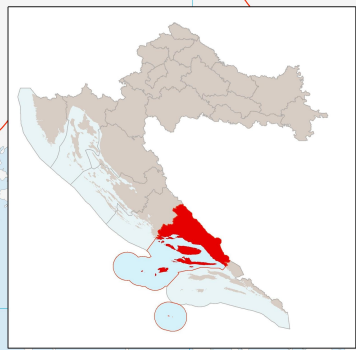
|  |       |
|--|-------|
| Prilog 1. Pregled eliminacijskih kriterija korištenih u dosadašnjim istraživanjima.....  | XII   |
| Prilog 2. Lokacije postojećih i planiranih vjetroelektrana u Splitsko-dalmatinskoj županiji  |       |
| Prilog 3. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema prosječnoj brzini vjetra na 100 metara iznad tla.....                      | XIII  |
| Prilog 4. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od elektroenergetske mreže.....                                | XIII  |
| Prilog 5. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od cestovne mreže.....   | XIV   |
| Prilog 6. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema nagibu padina.....   | XIV   |
| Prilog 7. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od naselja.....  | XV    |
| Prilog 8. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od obale.....  | XV    |
| Prilog 9. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema potencijalnoj vidljivosti vjetroagregata s obale i okolnog akvatorija..... | XVI   |
| Prilog 10. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od zračnih luka.....  | XVI   |
| Prilog 11. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od željezničke mreže.....                                     | XVII  |
| Prilog 12. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema načinu korištenja zemljišta.....  | XVII  |
| Prilog 13. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od zaštićenih područja.....                                   | XVIII |
| Prilog 14. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od ekološke mreže NATURA 2000.....                            | XVIII |
| Prilog 15. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od kopnenih voda.....   | XIX   |
| Prilog 16. Izvedbeni plan za izbornu nastavu geografije - 2. razred opće gimnazije.....  | XX    |
| Prilog 17. Pisana priprema za nastavne satove geografije.....  | XXI   |

Prilog 1. Pregled eliminacijskih kriterija korištenih u dosadašnjim istraživanjima

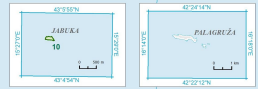
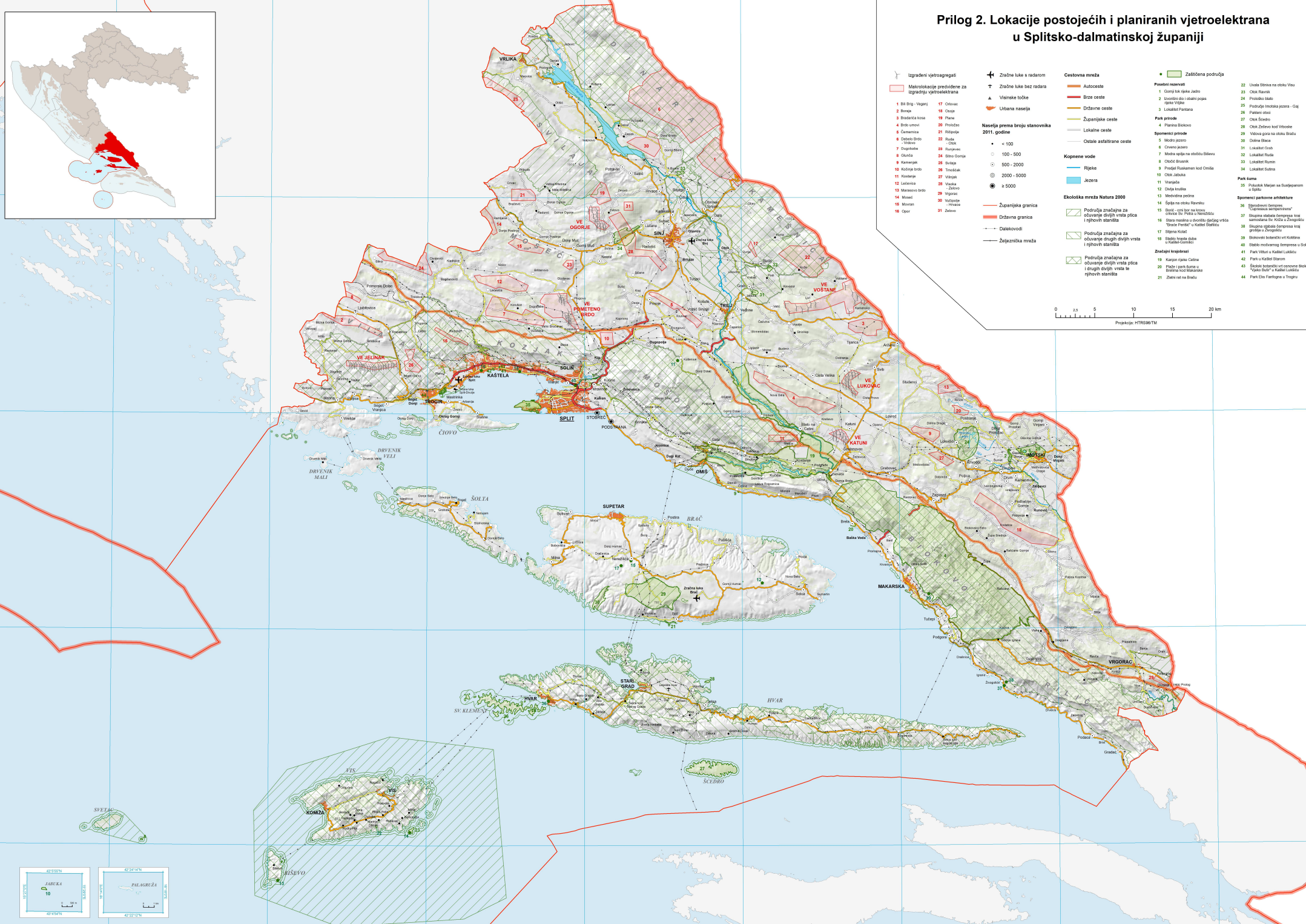
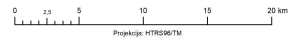
| Autori                        | Prostor istraživanja                    | Brzina vjetra (m/s) | Udaljenost od elektroenergetske mreže (km) | Udaljenost od ceste (km) | Nagib padina (%) | Udaljenost od naselja (km) |         | Udaljenost od zračnih luka (km) | Udaljenost od željezničke mreže (km) | Način korištenja zemljišta  | Udaljenost od zaštićenih prostora (km) | Udaljenost od prostora značajnih za očuvanje ptica | Udaljenost od kopnenih voda (km) | Ostali korišteni kriteriji   |
|-------------------------------|---|---------------------|--|--------------------------|------------------|----------------------------|---------|---------------------------------|--------------------------------------|---|--|--|----------------------------------|--|
|                               |   |                     |  |                          |                  | Urbana                     | Ruralna |                                 |                                      |   |  |  |                                  |  |
| Baban i Parry, 2001           | Lancashire, UK                          | < 5                 | > 10                                       | > 10                     | > 10             | < 2                        |         | -                               | < 0,1                                | Izgrađeni prostori, šume, poljoprivredno zemljište I. bonitetne klase | < 1                                    | -  | < 0,4                            | Orijentacija padina, udaljenost od šuma, pojedinačnih stambenih objekata, arheoloških i povijesnih lokaliteta i turističkih znamenitosti |
| Hansen, 2005                  | Northern Jutland, Danska                | -                   | < 0,2                                      | < 0,15                   | -                | < 0,5                      |         | < 5                             | -                                    | -   | -                                      | -  | -                                | Snaga vjetra (W/m <sup>2</sup> ), udaljenost od šuma, crkvi, obale, naftovoda, odašiljača  |
| Rodman i Meentemeyer, 2006    | Northern California, SAD                | < 7                 | -  | -                        | -                | -                          | -       | -                               | -                                    | Izgrađeni prostori, rekreacijska područja, šume                       | -                                      | Nema zone  | Nema zone                        | Udaljenost od grebena  |
| Crill i dr., 2010             | South Central Wisconsin, SAD            | < 5                 | > 10                                       | < 0,25                   | > 20             | < 1                        |         | < 3                             | < 0,25                               | -   | Nema zone                              | -  | < 0,1                            | Državno zemljište, udaljenost od šuma  |
| Aydin i dr., 2010             | Jugozapad Turske                        | -                   | -  | -                        | -                | < 2                        | < 0,5   | < 2,5                           | -                                    | -   | < 1                                    | < 0,3  | < 0,4                            | Udaljenost od ekološki osjetljivih prostora,   |
| Sliz-Szkliniarz i Vogot, 2011 | Kujawsko-Pomorskie Voiovedeshi, Poljska | -                   | < 0,2                                      | < 0,1                    | -                | < 0,5                      |         | < 0,3                           | < 0,1                                | -   | < 0,5                                  | < 0,5  | < 0,25                           | Udaljenost od šuma i turističkih objekata  |
| Van Haaren i Fthenakis, 2011  | New York State, SAD                     | -                   | -  | < 0,5                    | < 10             | < 2                        | < 1     | -                               | -                                    | -   | -                                      | -  | < 0,3                            | Krški prostori   |
| Harrison, 2012                | Middle Columbia River Basin, SAD        | < 4                 | > 8  | < 0,5 i > 8              | > 20             | < 1,6 i > 16               | < 0,8   | -                               | < 1,6                                | -   | < 1,6                                  | < 1,6  | < 0,8                            | Krški prostori, vojni objekti  |
| Iyappan i P. Kasinatha, 2012  | Tirumangalam Taluk, Indija              | -                   | < 0,15                                     | < 0,25                   | -                | < 0,5                      | < 0,5   | -                               | < 0,25                               | -   | -                                      | -  | < 0,1                            | Snaga vjetra (W/m <sup>2</sup> )   |
| Farajzadeh i Taghilo, 2013    | Zajan Province, Iran                    | -                   | -  | < 0,1 i > 2,5            | > 45             | < 3                        | < 1     | -                               | -                                    | -   | -                                      | -  | < 0,4                            | Nadmorska visina, snaga vjetra (W/m <sup>2</sup> ) i udaljenost od rasjeda   |
| Yang, 2013                    | Minnesota, SAD                          | < 6                 | > 10                                       | > 10                     | > 60             | < 0,5                      | -       | -                               | -                                    | -   | -                                      | < 0,5  | < 0,4                            | -  |
| Mathew i Mariappan, 2014      | Tamilnadu, Indija                       | < 3,5               | < 0,03                                     | < 0,05                   | -                | < 2                        |         | -                               | < 0,05                               | Izgrađeno i poljoprivredno zemljište                                  | -                                      | -  | < 0,2                            | Snaga vjetra, nadmorska visina,  |
| Miller i Li, 2014             | Northeast Nebraska, SAD                 | < 5,6               | > 20                                       | > 10                     | > 84             | -                          | -       | -                               | -                                    | -   | -                                      | -  | -                                | Gustoća naseljenosti   |
| Szurek i dr., 2014            | Prusice, Poljska                        | -                   | < 0,25                                     | < 0,05                   | > 10             | < 0,5                      |         | -                               | -                                    | -   | Nema zone                              | -  | < 0,2                            | Udaljenost od šuma i telekomunikacijskih objekata  |
| Whang i dr., 2014             | Fukushima, Japan                        | < 6                 | -  | -                        | > 20             | < 2                        | < 0,5   | < 2,5                           | -                                    | -   | < 1                                    | -  | < 0,5                            | Nadmorska visina, udaljenost od arheoloških i povijesnih lokaliteta  |
| Atici i dr., 2015             | Zapadna Turska                          | -                   | < 0,25                                     | < 0,5                    | > 10             | < 2                        | -       | < 5                             | < 0,5                                | -   | < 2                                    | -  | < 3                              | Nadmorska visina, udaljenost od rasjeda, rudnika i radio i TV odašiljača   |
| Latinopoulos i Kechagia, 2015 | Kozani, Grčka                           | < 4,5               | -  | < 1,5                    | > 25             | < 1                        | < 0,5   | < 3                             | -                                    | Navodnjavano zemljište  | < 1                                    | -  | -                                | Udaljenost od arheoloških i povijesni lokaliteta, turistički objekti   |
| Siyal i dr., 2015             | Švedska                                 | -                   | < 0,2                                      | < 0,2                    | -                | < 1                        | -       | < 2,5                           | < 0,2                                | -   | Nema zone                              | -  | < 0,1                            | Udaljenost od pojedinačnih stambenih objekata  |
| Zhang, 2015                   | Hebei Province, Kina                    | -                   | > 20                                       | > 20                     | > 15             | < 0,5                      | -       | < 2,5                           | -                                    | -   | < 0,5                                  | -  | < 0,5                            | Udaljenost od šuma   |
| Hofer i dr., 2016             | Aachen, Njemačka                        | < 6                 | < 0,1                                      | No bufer                 | > 30             | < 0,55                     | < 0,4   | -                               | < 0,1                                | Izgrađeni prostori, vodene površine i šume                            | Nema zone                              | < 0,3  | < 0,5                            | Udaljenost od turističkih znamenitosti   |
| Gigović i dr., 2016           | Vojvodina, Srbija                       | < 3,5               | < 0,2                                      | < 0,2                    | > 7 %            | < 0,5                      | -       | < 3                             | -                                    | Izgrađeni prostori i vodene površine                                  | < 2                                    | -  | -                                | Telekomunikacijski objekti, turističke znamenitosti, vojni objekti, orijentacija padina, gustoća naseljenosti                            |
| Noorollahi i dr., 2016        | Markazi, Iran                           | < 5,6               | < 0,25                                     | < 0,5                    | > 15             | < 2                        | < 0,5   | < 2,5                           | < 0,3                                | -   | < 2                                    | -  | < 0,5 (rijeke), < 1 (jezera)     | Povijesni i kulturni spomenici, rasjedi, nadmorska visina  |
| Bobeck, 2017                  | New South Wales, Australija             | < 5                 | > 100                                      | < 0,5 i > 10             | > 15             | < 2                        |         | < 5                             | < 0,5                                | Izgrađeni prostori, vodene površine i šume                            | < 1                                    | -  | < 0,4                            | Udaljenost od turističkih znamenitosti   |
| Chamenehpur i dr., 2017       | South Khorasan, Iran                    | -                   | -  | < 0,15                   | -                | < 1                        | < 0,5   | < 2,5                           | -                                    | -   | < 0,25                                 | -  | < 0,15                           | Udaljenost od rasjeda, od izvora pitke vode i bunara   |
| Pamućar i dr., 2017           | South Banat                             | < 3                 | < 0,1 i > 5                                | -                        | > 7              | < 0,5                      | -       | -                               | -                                    | -   | -                                      | -  | -                                | Orijentiranost padina i udaljenost od telekomunikacijskih objekata   |
| Sadeghi i Karimi, 2017        | Teheran, Iran                           | -                   | < 0,25                                     | -                        | > 15             | < 0,5                      | -       | < 2,5                           | -                                    | -   | -                                      | -  | -                                | Nadmorska visina   |
| Villacreses i dr., 2017       | Ekvador                                 | < 5                 | -  | -                        | > 15             | < 3                        | -       | < 2,5                           | -                                    | -   | < 0,25                                 | -  | -                                | Arheološki i povijesni lokaliteta  |



## Prilog 2. Lokacije postojećih i planiranih vjetroelektrana u Splitsko-dalmatinskoj županiji

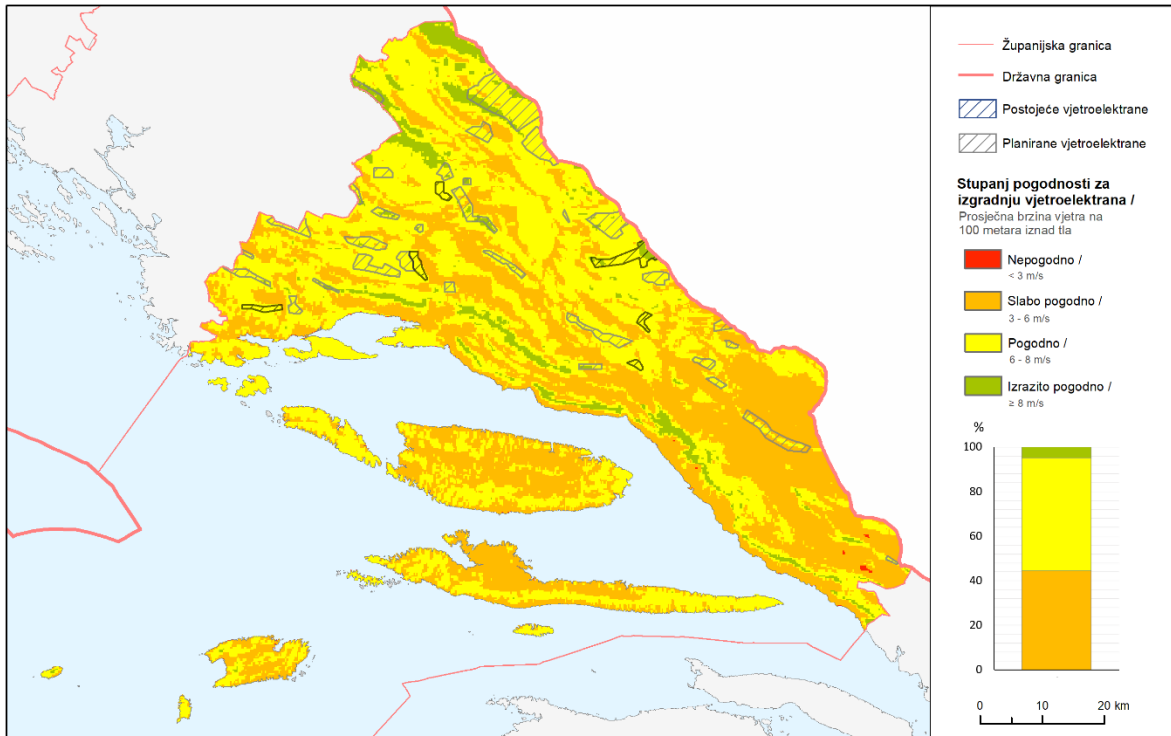


|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Izgrađeni vjetroregaji</li> <li>Makrolokalne predviđene za izgradnju vjetroelektrana</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zračne Luke s radarom</li> <li>Vjetroinske točke</li> <li>Urbana naselja</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Cestovna mreža</li> <li>Autocesta</li> <li>Brze ceste</li> <li>Državne ceste</li> <li>Županijske ceste</li> <li>Lokalne ceste</li> <li>Ostale asfaltnane ceste</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zaštićena područja</li> <li>Posebni rezervati</li> <li>Park prirode</li> <li>Spomenici prirode</li> <li>Kopnene vode</li> <li>Ekološka mreža Natura 2000</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Spomenici kulturne arhitekture</li> <li>Zaštićeni krajolici</li> <li>Park kuma</li> </ul> |
|--|--|--|--|--|

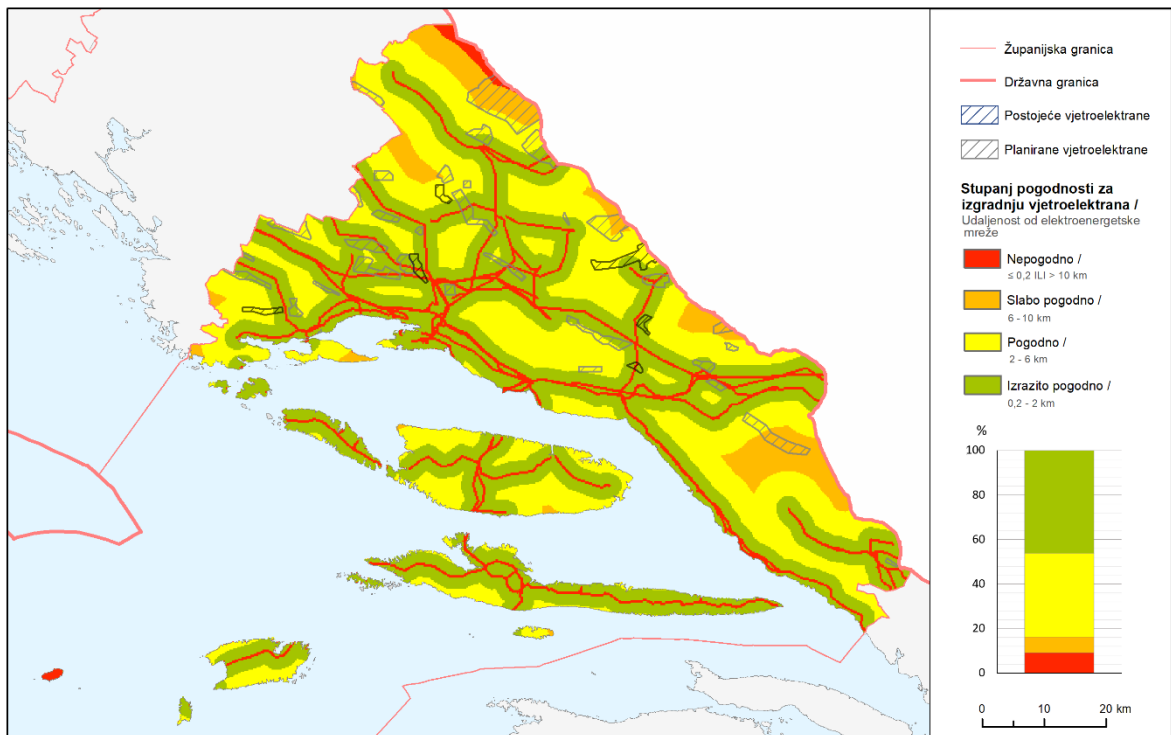


43°30'N 15°45'E 16°00'E 16°15'E 16°30'E 16°45'E 17°00'E 17°15'E 17°30'E 43°30'N 43°30'N 43°30'N

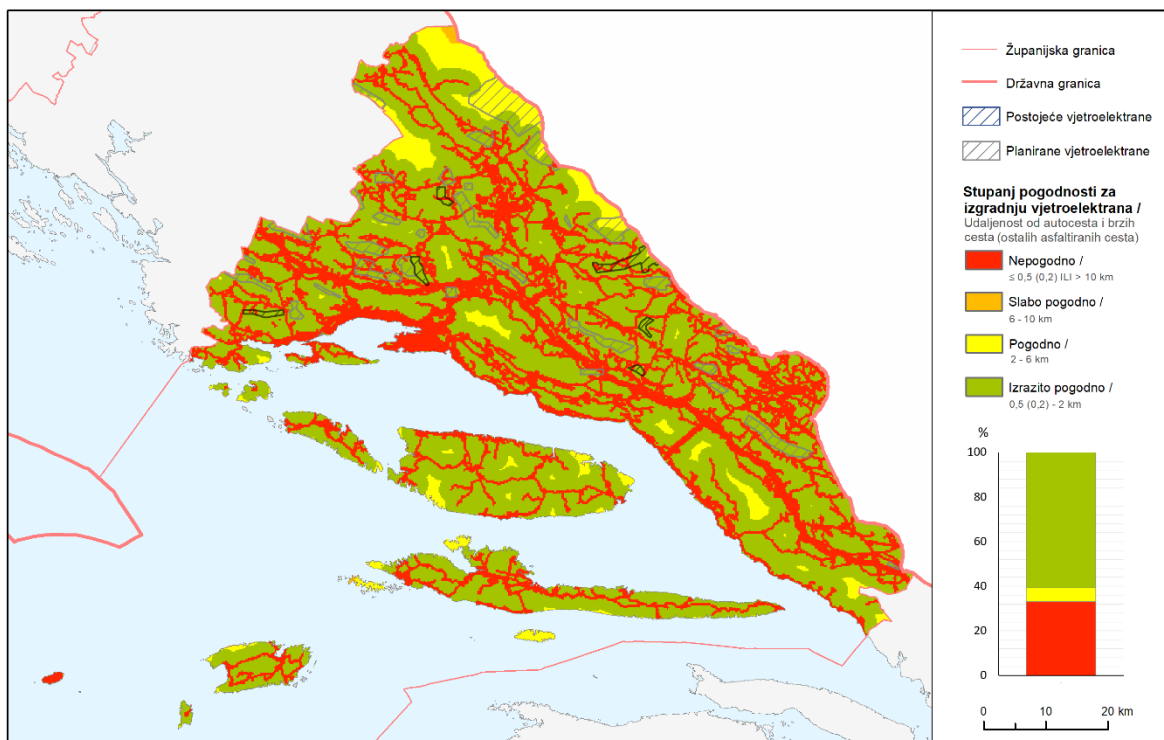
Prilog 3. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema prosječnoj brzini vjetra na 100 metara iznad tla



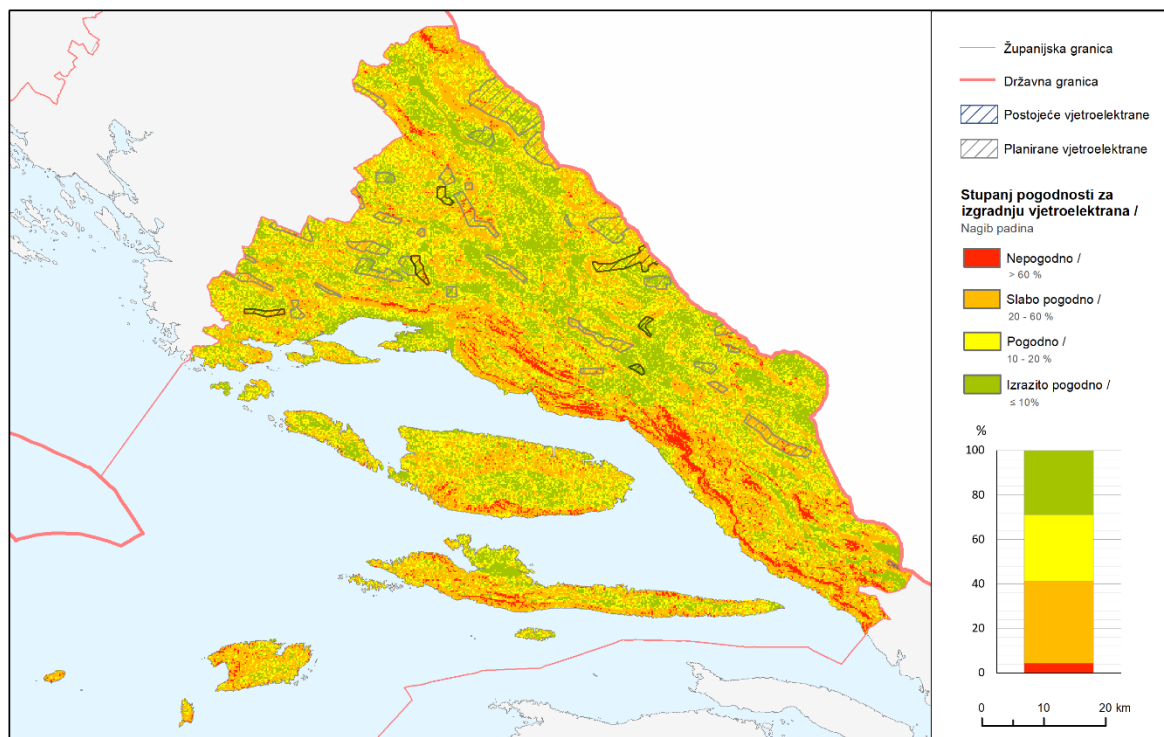
Prilog 4. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od elektroenergetske mreže



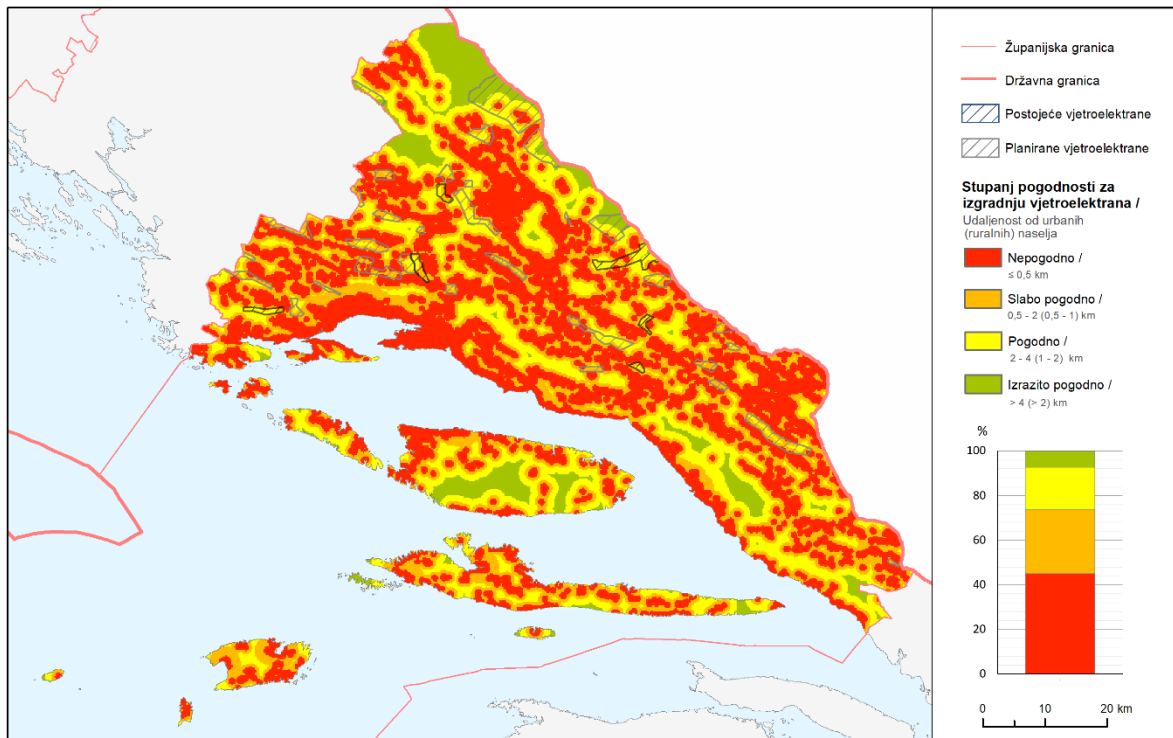
Prilog 5. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od cestovne mreže



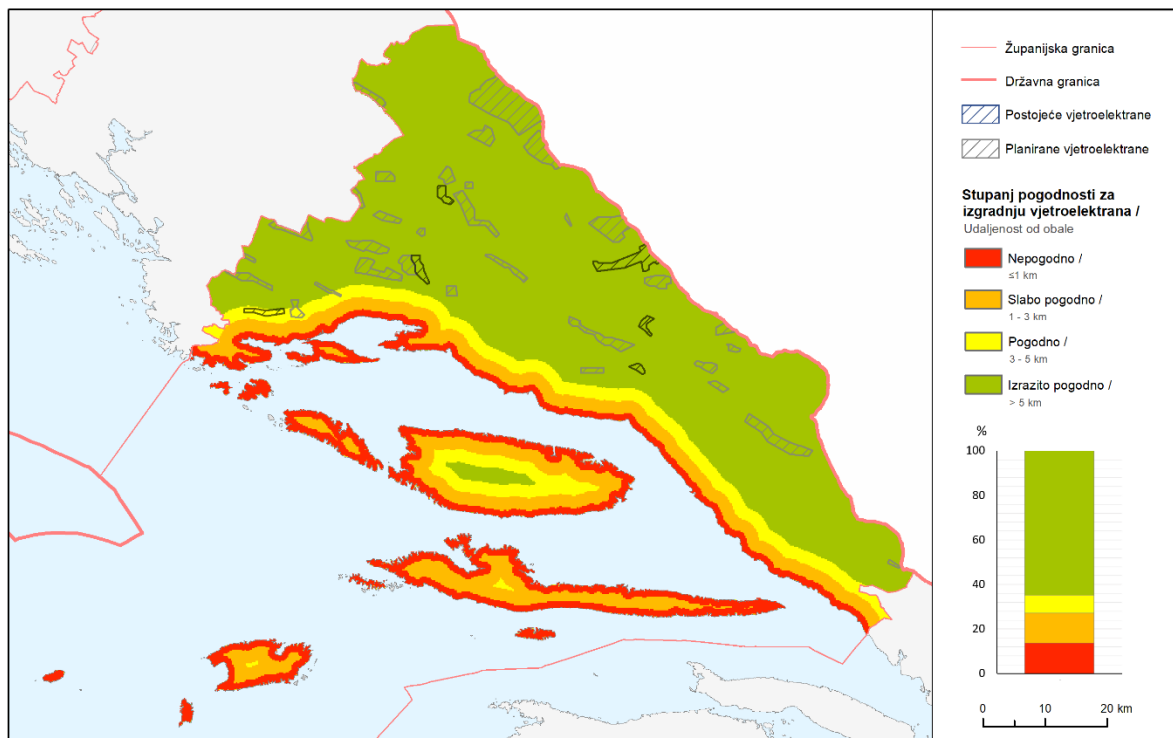
Prilog 6. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema nagibu padina



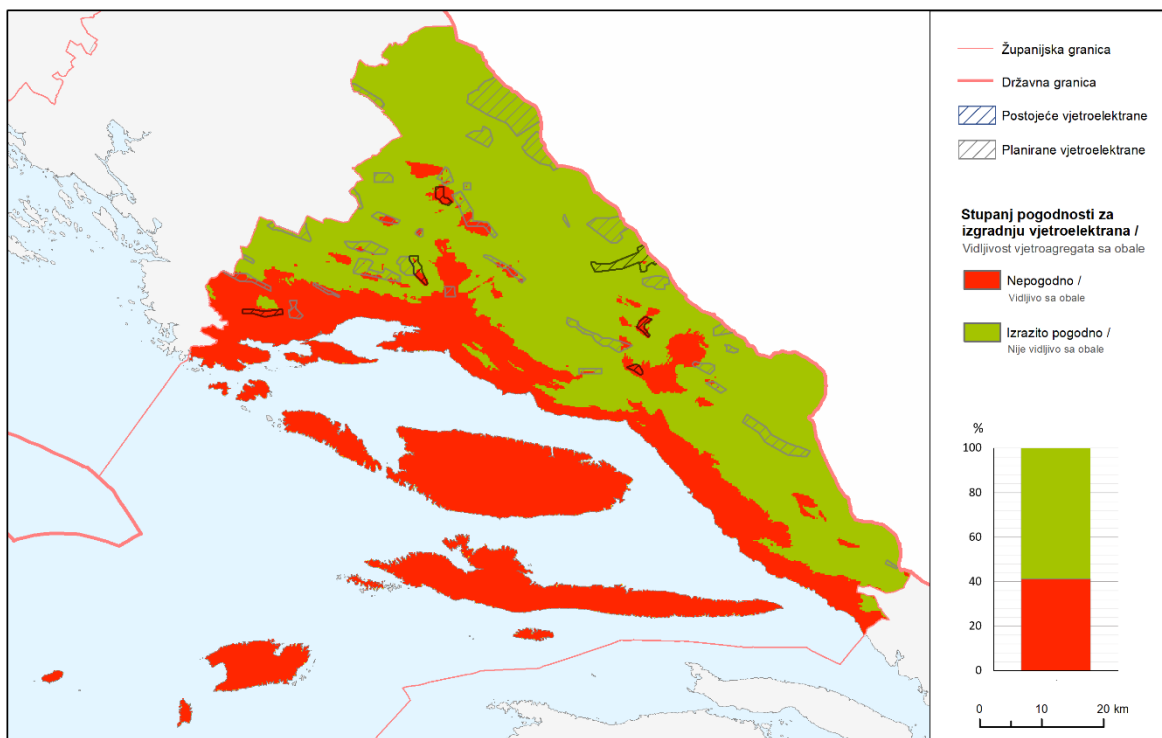
Prilog 7. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od naselja



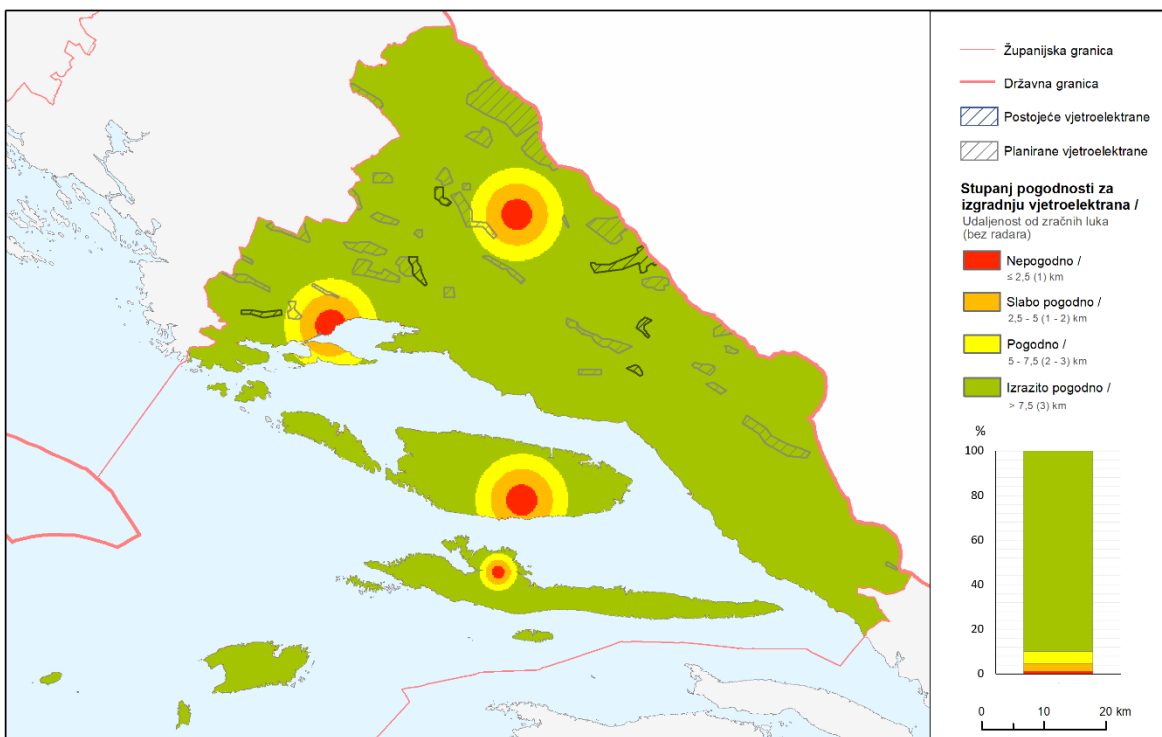
Prilog 8. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od obale



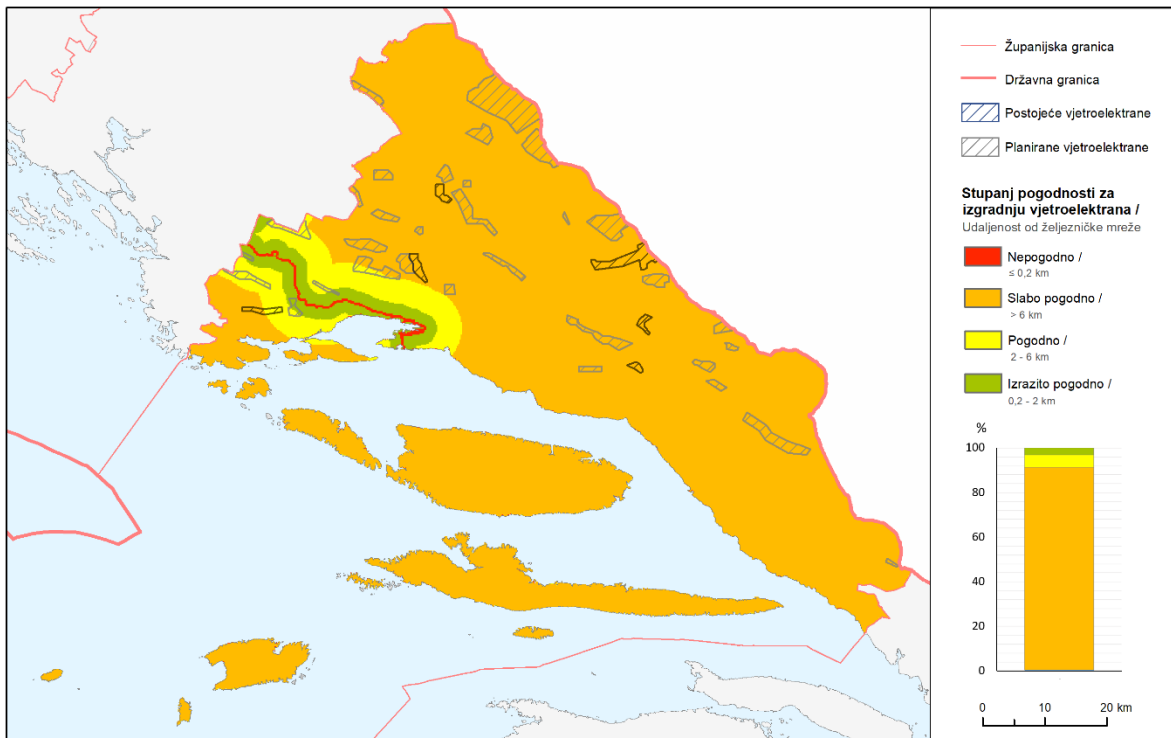
Prilog 9. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema potencijalnoj vidljivosti vjetroagregata s obale i okolnog akvatorija



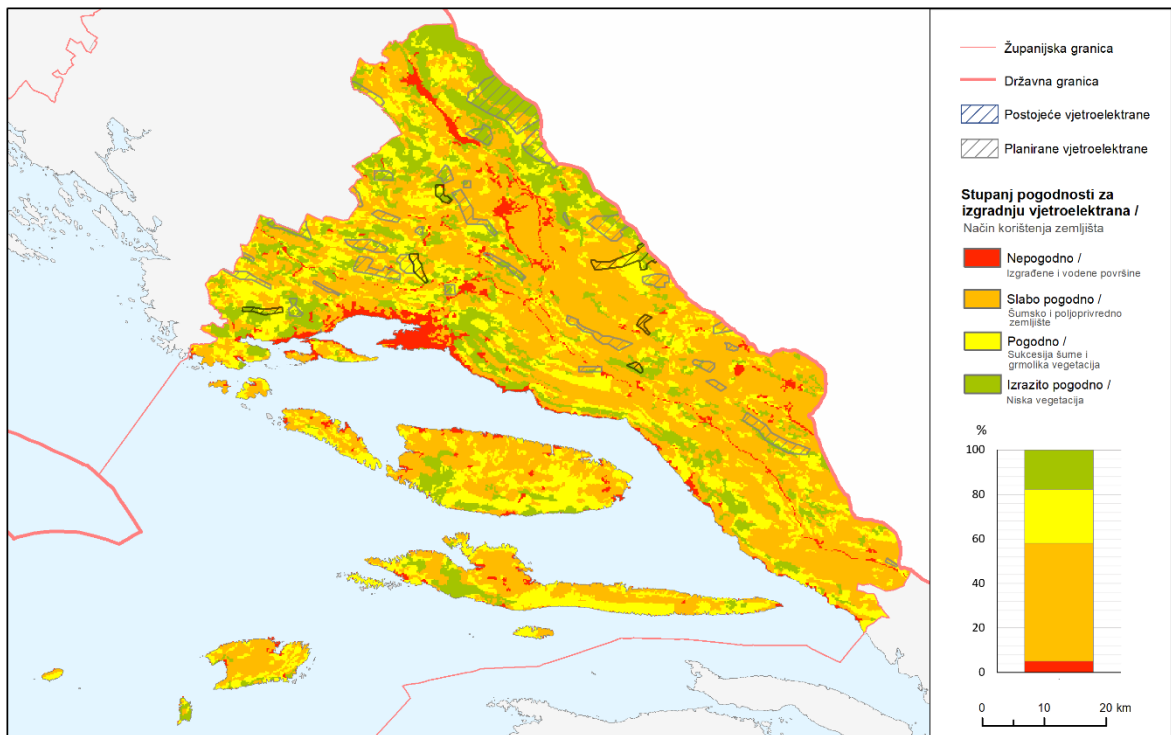
Prilog 10. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od zračnih luka



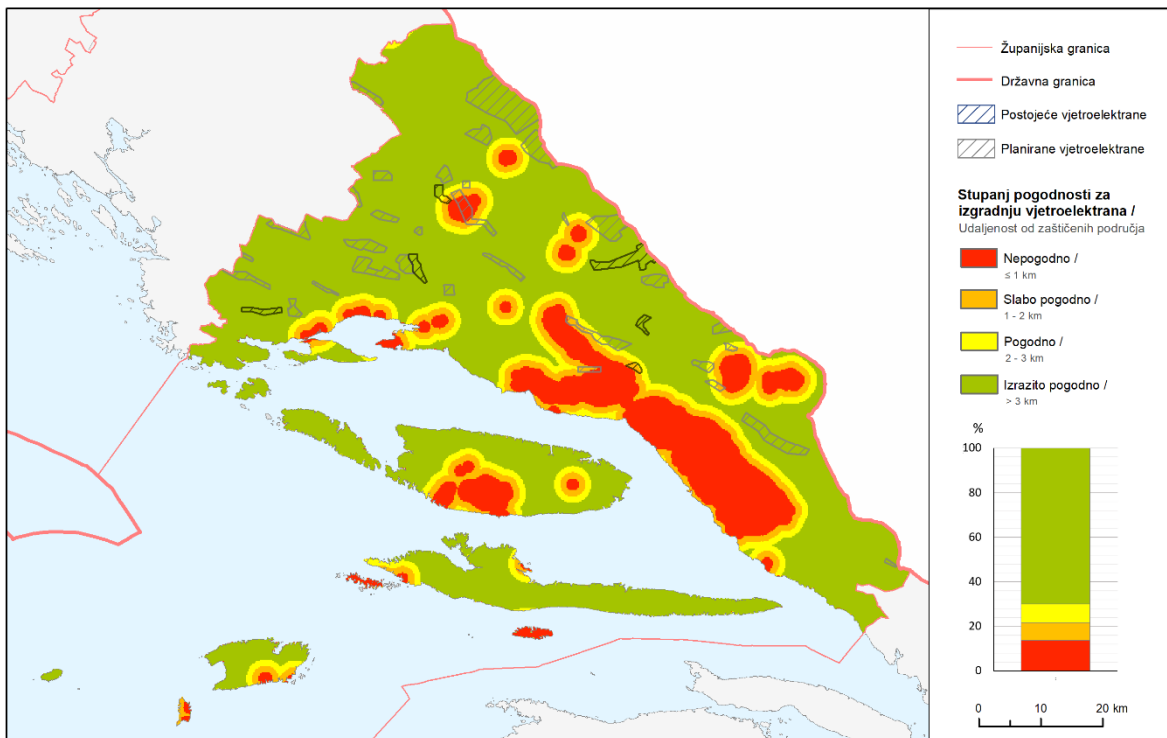
Prilog 11. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od željezničke mreže



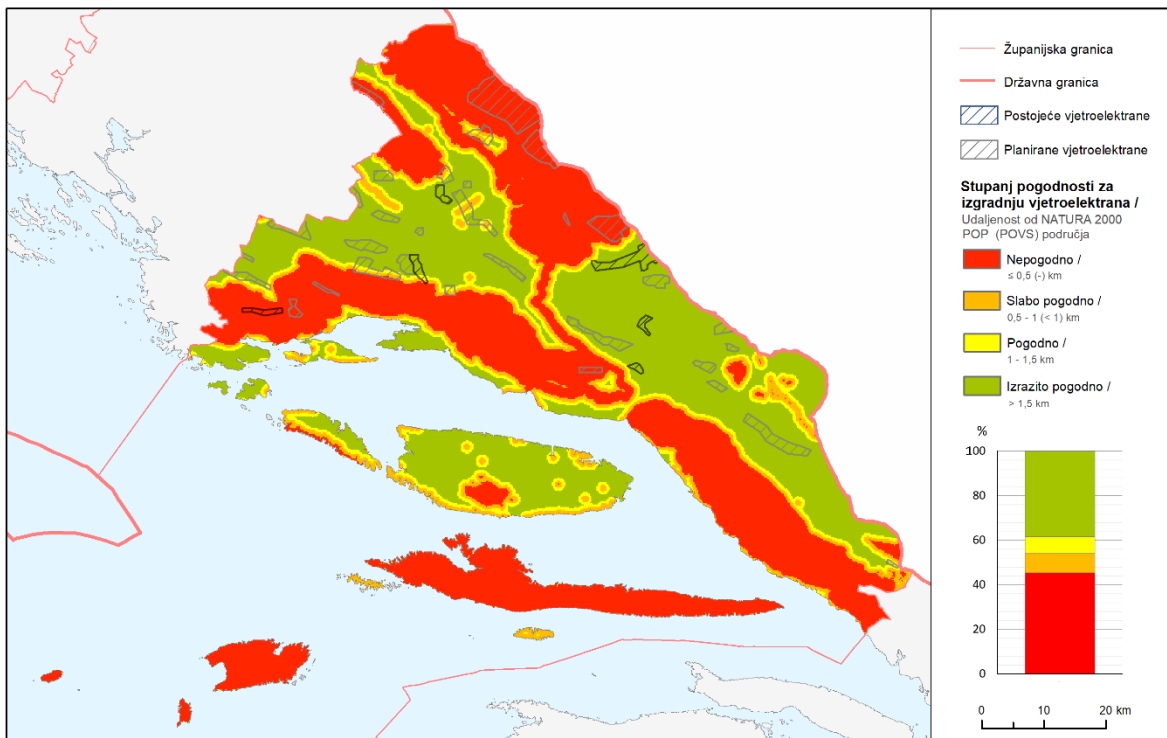
Prilog 12. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema načinu korištenja zemljišta



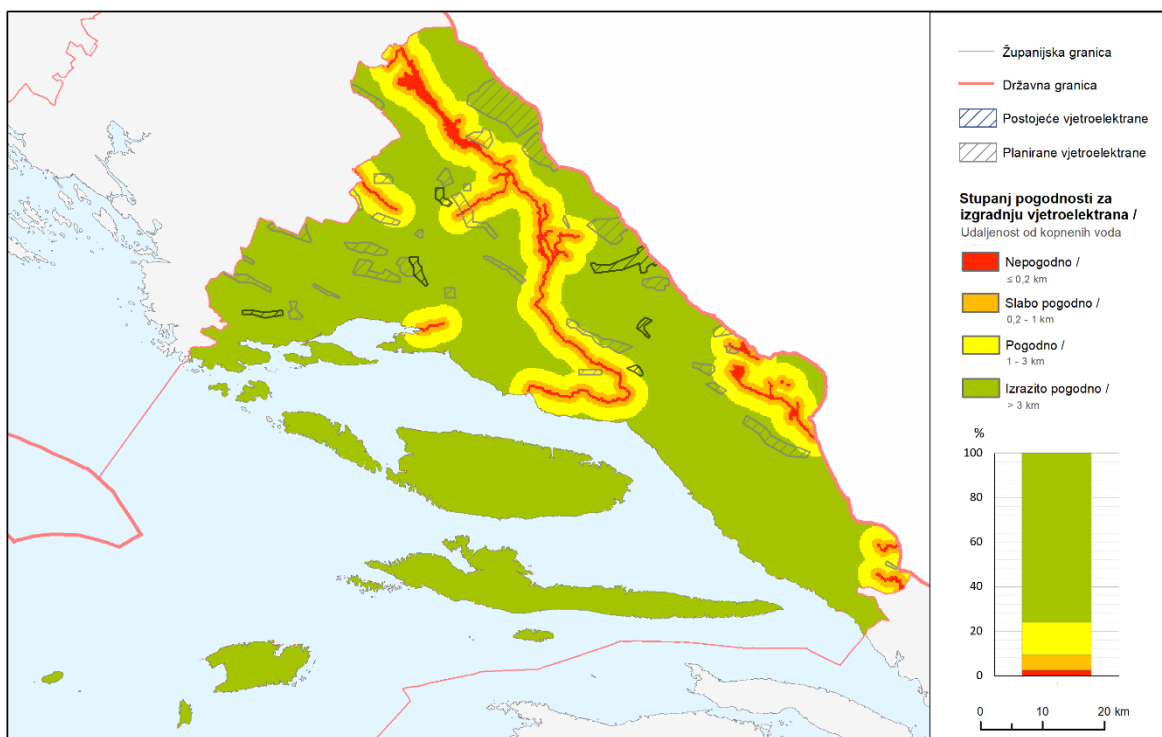
Prilog 13. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od zaštićenih područja



Prilog 14. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od ekološke mreže NATURA 2000



Prilog 15. Pogodnost prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana prema udaljenosti od kopnenih voda





Prilog 16. Izvedbeni plan za izbornu nastavu geografije - 2. razred opće gimnazije

| Mjesec   | Redni broj sata | Naslov   | Tip sata             |
|----------|-----------------|--|----------------------|
| Rujan    | 1.              | Upoznavanje s ciljevima i planom realizacije projekta  | Uvodni sat           |
|          | 2.              | Važnost obnovljivih izvora energije i ciljevi energetske politike RH   | Obrada               |
|          | 3.              | Analiza energetske balance i strukture energetske proizvodnje  | Obrada               |
|          | 4.              | Analiza razvoja energije vjetra u Hrvatskoj  | Obrada               |
| Listopad | 5.              | Usporedba Hrvatske s drugim državama Europske unije  | Obrada               |
|          | 6.              | Prirodno-geografska obilježja Splitsko-dalmatinske županije  | Obrada               |
|          | 7.              | Terenska nastava (obilazak vjetroelektrana) – upoznavanje s radom vjetroelektrana                                  | Kombinirani          |
|          | 8.              | Terenska nastava (posjet Državnom hidrometeorološkom zavodu) – karakteristike vjetra na prostoru SDŽ               | Kombinirani          |
| Studeni  | 9.              | Analiziranje kriterija: srednja brzina vjetra  | Obrada               |
|          | 10.             | Analiziranje kriterija: nagib padina   | Obrada               |
|          | 11.             | Analiziranje kriterija: udaljenost od elektroenergetske mreže  | Obrada               |
|          | 12.             | Analiziranje kriterija: udaljenost od cestovne mreže   | Obrada               |
| Prosinac | 13.             | Kreiranje i analiza ekonomskog modela  | Kombinirani          |
|          | 14.             | Terenska nastava – istraživanje stavova stanovništva o vjetroelektranama   | Kombinirani          |
|          | 15.             | Analiziranje kriterija: udaljenost od naselja  | Obrada               |
| Siječanj | 16.             | Analiziranje kriterija: udaljenost od obale  | Obrada               |
|          | 17.             | Analiziranje kriterija: vidljivost s obale   | Obrada               |
|          | 18.             | Analiziranje kriterija: udaljenost od zračnih luka i željezničke mreže   | Obrada               |
| Veljača  | 19.             | Kreiranje i analiza socijalnog modela  | Kombinirani          |
|          | 20.             | Utjecaj vjetroelektrana na okoliš (u suradnji s učiteljem biologije)   | Obrada               |
|          | 21.             | Analiziranje kriterija: način korištenja zemljišta   | Obrada               |
|          | 22.             | Analiziranje kriterija: udaljenost od zaštićenih prostora  | Obrada               |
| Ožujak   | 23.             | Analiziranje kriterija: udaljenost od ekološke mreže Natura 2000   | Obrada               |
|          | 24.             | Analiziranje kriterija: kopnene vode   | Obrada               |
|          | 25.             | Kreiranje i analiza okolišnog modela   | Kombinirani          |
|          | 26.             | Kreiranje i analiza konačne karte prikladnosti prostora Splitsko-dalmatinske županije za izgradnju vjetroelektrana | Kombinirani          |
| Travanj  | 27.             | Analiza postojećih lokacija vjetroelektrana u SDŽ  | Obrada               |
|          | 28.             | Analiza planiranih lokacija vjetroelektrana u SDŽ  | Obrada               |
|          | 29.             | Sinteza istraživanja te smjernice energetske i gospodarske razvoja SDŽ   | Tematsko ponavljanje |
| Svibanj  | 30.             | Pisanje rada, izrada postera i pripremanje za prezentaciju rezultata istraživanja                                  | Kombinirani          |
|          | 31.             |  | Kombinirani          |
|          | 32.             |  | Kombinirani          |
|          | 33.             |  | Kombinirani          |
| Lipanj   | 34.             | Prezentacija rezultata istraživanja pred ostalim učenicima i učiteljima škole                                      | Tematsko ponavljanje |
|          | 35.             | Vrednovanje učenika i zaključivanje ocjena   | Ocjenjivanje         |

Prilog 17. Pisana priprema za nastavne satove geografije

| <b>PISANA PRIPREMA ZA NASTAVNE SATOVE GEOGRAFIJE<sup>4</sup></b> |  |
|--|--|
| <b>Naziv i sjedište škole</b>                                    | I. gimnazija Split   |
| <b>Obrazovni program (zanimanje)</b>                             | Opća gimnazija   |
| <b>Ime i prezime nastavnika</b>                                  | Andrijana Horvat   |
| <b>Datum izvođenja nastavnog sata</b>                            | 3. 9. 2018. – 14. 6. 2019.   |
| <b>Naziv nastavne jedinice</b>                                   | Potencijal iskorištavanja energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji   |
| <b>Razred</b>  | 2.   |
| <b>Tip sata</b>  | Projektna nastava  |
| <b>Kompetencije</b>  | <b>Odgajno-obrazovni ishodi</b>  |
| <b>1. Geografska znanja i vještine</b>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- obrazložiti važnost obnovljivih izvora energije</li> <li>- utvrditi postoji li potreba za izgradnju vjetroelektrana kroz analizu ciljeva energetske politike te strukture energetske opskrbe Hrvatske</li> <li>- objasniti razvoj energije vjetra u Hrvatskoj</li> <li>- usporediti razvoj i trenutno stanje energetske opskrbe Hrvatske sa drugim državama Europske unije</li> <li>- obrazložiti opasnosti suboptimalnog lociranja vjetroelektrana</li> <li>- obrazložiti kriterije za odabir lokacija vjetroelektrana</li> <li>- razviti vještinu rješavanja prostornih problema primjenom GIS-a</li> <li>- odrediti potencijalne lokacije za izgradnju vjetroelektrana</li> <li>- provesti analizu lokacija postojećih i planiranih vjetroelektrana</li> </ul> |
| <b>2. Metodička kompetencija</b>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- poticati samostalno razmišljanje i zaključivanje</li> <li>- primijeniti pravila u izradi i analizi grafičkih priloga</li> <li>- primijeniti kartografske vještine samostalne izrade tematskih karata</li> <li>- razviti vještinu prikupljanja i obrade podataka</li> <li>- kroz korelaciju s drugim nastavnim predmetima razvijati interdisciplinarnost</li> <li>- razviti vještinu povezivanja, zaključivanja i istraživanja proučavanjem geografskih sadržaja</li> </ul>  |
| <b>3. Komunikacijska kompetencija</b>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- razvijati vještinu rasprave i iznošenja argumenata</li> <li>- razvijati sposobnost usmenog izražavanja</li> <li>- razvijati vještine aktivnog slušanja nastavnika i drugih učenika</li> </ul>   |

<sup>4</sup> Dinamika rada prilagođava se razini kompetencija učenika utvrđenoj na početku nastavne godine, nakon formiranja obrazovne skupine koja će pohađati izbornu nastavu.

| <b>4. Socijalna kompetencija</b> |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- razvijati smisao za timski rad</li> <li>- pridržavati se zadanih pravila i određenog vremenskog okvira</li> <li>- razvijati sposobnost uvažavanja tuđeg mišljenja</li> <li>- razvijati kritičko mišljenje</li> </ul>  |   |
|----------------------------------|---|--|---|
| <b>TIJEK NASTAVNOG SATA</b>      |   |  |   |
| Etape sata                       | Cilj etape  | Opis aktivnosti učitelja   | Opis aktivnosti učenika   |
| <b>Uvod</b>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>-provjera predznanja i poticanje znatiželje</li> <li>-najava cilja</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- postavlja pitanja kojima provjerava predznanje i potiče znatiželju</li> <li>- predstavlja učenicima temu i glavne ciljeve projekta</li> <li>- predstavlja vremenski plan i način rada</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- odgovaraju na pitanja i iznose vlastita iskustva</li> <li>- postavljaju pitanja vezana za realizaciju projekta</li> </ul>  |
| <b>Glavni dio sata</b>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- razviti svijest o važnosti obnovljivih izvora energije</li> <li>- razvijati sposobnost izrade i analize grafičkih priloga, tablica i tematskih karata</li> <li>- upoznati se sa obilježjima prostora istraživanja i svladati osnove rada u GIS-u</li> <li>- upoznati se sa osnovama rada vjetroelektrana</li> <li>- razviti vještinu prostornog promatranja</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- metodom razgovora i neizravnom grafičkom metodom objašnjava važnost obnovljivih izvora energije</li> <li>- svakoj skupini daje zadatak i upute za rad, pomaže učenicima u izvršenju zadataka, vodi učenike u analizi rezultata i donošenju zaključaka</li> <li>- metodom demonstracije upoznaje učenike s osnovama rada u GIS programu kroz izradu karte Prirodno-geografskih obilježja SDŽ</li> <li>- vodi učenike na terensku nastavu - upoznaje ih s radom vjetroelektrana, postavlja brojna pitanja s ciljem poticanja prostornog promatranja i donošenja samostalnih zaključaka</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- u paru proučavaju dobivene materijale, raspravljaju i formuliraju odgovore na pitanja, iznose vlastito mišljenje</li> <li>- prikupljaju potrebne podatke</li> <li>- izrađuju i analiziraju grafičke priloge i tablice</li> <li>- iznose rezultate analize i vlastite zaključke</li> <li>- učenici izrađuju kartu i istodobno uz pomoć učitelja analiziraju osnovna prirodno-geografska obilježja SDŽ</li> <li>- aktivno sudjeluju na terenskoj nastavi, postavljaju pitanja, promatraju prostor i donose zaključke, vode bilješke</li> </ul> |

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
|  | <p>- naučiti osnovne o nastanku vjetra, načinima prikupljanja podataka i karakteristikama vjetra u SDŽ</p> <p>- objasniti utjecaj odabranih kriterija za izgradnju vjetroelektrana</p> <p>- provesti analizu odabranih kriterija za izgradnju vjetroelektrana</p> <p>- razviti vještine: obrade podataka u GIS-u, izrade i interpretacije tematskih karti, čitanja teksta, usmenog izražavanja</p> <p>- objasniti negativni utjecaj vjetroelektrana na stanovništvo</p> <p>- razviti vještine: obrade podataka u GIS-u, interpretacije</p> | <p>- vodi učenike kroz terensku nastavu</p> <p>- u suradnji sa djelatnicima DHMZ-a objašnjava učenicima nastanak vjetra, načine prikupljanja podataka te karakteristike vjetra na prostoru SDŽ</p> <p>- za svaki od odabranih kriterija metodom razgovora vodi i usmjerava učenike i formuliranju obrazloženja razlog odabira, objasniti utjecaj i određivanju zona pogodnosti</p> <p>- priprema podatke potrebne za analizu</p> <p>- metodom demonstracije vodi učenike kroz proces obrade podataka u GIS-u, tako da kroz svaki kriterij učenici upoznaju i objasne neki alat ili postupak za obradu podataka</p> <p>- vodi učenike u analizi rezultata</p> <p>-vodi učenike na terenskoj nastavi</p> <p>-daje učenicima osnovne upute o terenskom istraživanju: koja pitanja postaviti, kako se ponašati i sl.</p> <p>- dijeli učenike u skupine te svakoj skupini daje zadatak i detaljne upute za rad</p> <p>- nadzire i vrednuje rad učenika</p> | <p>- aktivno sudjeluju na terenskoj nastavi, pozorno slušaju i vode bilješke, postavljaju i odgovaraju na pitanja</p> <p>- uz pomoć djelatnika DHMZ-a i učitelja opisuju karakteristike vjetra u SDŽ</p> <p>- proučavaju dobivene materijale na temelju kojih aktivno sudjeluju u razgovoru i donošenju odluka o odabiru kriterija</p> <p>- pažljivo slušaju, ponavljaju nove i primjenjuju prethodno naučene korake u obradi podataka u GIS-u</p> <p>- izrađuju tematske karte</p> <p>- analiziraju i prezentiraju rezultate</p> <p>- pažljivo slušaju upute, pripremaju se za terensko istraživanje</p> <p>- razgovaraju s mještanima, bilježe njihove odgovore</p> <p>- raspravljaju o prikupljenim informacijama</p> <p>- na temelju prethodno naučenih postupaka u GIS-u, samostalno izrađuju konačnu</p> |
|--|--|---|--|

|                         |   |   |   |
|-------------------------|---|---|---|
|                         | <p>tematskih karti, izrade i analize grafičkih priloga, pridržavanja pravila rada u skupinama, usmenog izražavanja</p> <p>- razvijati vještine: usmenog i pisanog izražavanja, organiziranja, dogovaranja, timskog rada</p> | <p>- ako je potrebno pomaže učenicima</p> <p>- usmjerava ih u donošenju zaključaka</p> <p>- daje samo osnovne upute učenicima</p> <p>- prati njihov rad</p> <p>- ako je potrebno pomaže i savjetuje učenike</p> | <p>kartu geografskog potencijala energije vjetra u SDZ</p> <p>- prema danim uputama svaka skupina analizira zadane lokacije vjetroelektrana, izrađuju i analiziraju strukturne stupce, raspravljaju i donose zaključke</p> <p>- učenici samostalno pišu kratak opis istraživanja, izrađuju plakat i pripremaju prezentaciju</p> <p>- prezentiraju rezultate istraživanja pred drugim učenicima i učiteljima</p> |
| <b>Završni dio sata</b> | <p>o formativno vrednovanje</p>   | <p>- samovrednovanje i formativno vrednovanje učenika</p> <p>- ukazati učenicima na napredak koji su ostvarili kroz projekt</p>   | <p>- učenik vrednuje svoju ulogu u skupini pri izradi projektnog zadatka i aktivnosti za koje je bio zadužen</p> <p>- iznose svoje mišljenje o provedenom projektu te daju prijedloge za sljedeće projekte</p>  |

**Nastavne metode:**

- Metoda usmenog izlaganja, metoda razgovora, metoda rada na tekstu, metoda rada na računalu, neizravna grafička metoda, izravna grafička metoda, metoda demonstracije

**Oblici rada:**

- Samostalni rad, rad u paru, rad u skupinama, frontalni rad

### **Nastavna sredstva i pomagala**

- računala, Microsoft Office programski paket, program QGis, projektor, školska ploča, flomasteri, atlas, pripremljeni materijali (tekstovi, karte, tablice), ploča, internet

### **Popis literature i izvora za učitelja/nastavnika**

EU Guidance - Wind energy developments and Natura 2000, European Commission, [http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/Wind\\_farms.pdf](http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/Wind_farms.pdf) (20. 03. 2018.)

Höfer, T., Sunak, Y., Siddique, H., Madlener, R., 2016: Wind farm siting using a spatial Analytic Hierarchy Process approach: A case study of the Städteregion Aachen, *Applied Energy*, 163 (1), 222–243.

Horvat, A., 2018: *Potencijal iskorištavanja energije vjetra u Splitsko-dalmatinskoj županiji*, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek

Magaš, D. 2013: *Geografija Hrvatske*, Sveučilište u Zadru, Zadar

Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske do 2020. godine, <http://www.europski-fondovi.eu/content/strategija-energetskeg-razvoja-republike-hrvatske-do-2020-godine> (13. 2. 2018.)