

# Višekriterijska i GIS analiza u procjeni pogodnosti lokacija za izgradnju solarnih parkova

---

**Kružić, Lucija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:915517>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



*image not found or type unknown*

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Lucija Kružić**

**Višekriterijska i GIS analiza u procjeni pogodnosti lokacija za izgradnju  
solarnih parkova**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2020.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij**  
**Urbano inženjerstvo**  
**GIS u planiranju komunalne infrastrukture**

**Lucija Kružić**

**JMBAG: 0114024753**

**Višekriterijska i GIS analiza u procjeni pogodnosti lokacija za izgradnju  
solarnih parkova**

**Diplomski rad**

**Rijeka, rujan, 2020.**

Naziv studija: **Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo**  
Znanstveno područje: Tehničke znanosti  
Znanstveno polje: Građevinarstvo  
Znanstvena grana: Informacijski sustavi, ostale geofizičke discipline

Tema diplomskog rada

**VIŠEKRITERIJSKA I GIS ANALIZA U PROCJENI POGODNOSTI LOKACIJA ZA IZGRADNJU  
SOLARNIH PARKOVA**

**MULTI-CRITERIA AND GIS ANALYSIS IN ESTIMATING LOCATION SUITABILITY FOR SOLAR  
PARKS**

Kandidatkinja: **LUCIJA KRUŽIĆ**

Kolegij: **GIS U PLANIRANJU KOMUNALNE INFRASTRUKTURE**

Diplomski rad broj: **UI-2020-41**

**Zadatak:**

Solarna energija ima veliki potencijal za podmirenje rastućih potreba za energijom, kako u svijetu tako i u Hrvatskoj. Područje sjevernog Jadrana s oko 2500 osunčanih sati godišnje predstavlja područje zanimljivo s aspekta izgradnje sunčanih elektrana, a prvi korak je odabir povoljnih lokacija njihove izgradnje.

Međutim, osim sunčevog zračenja potrebno je uzeti u obzir i druge čimbenike. U tom smislu, zadatak diplomskog rada je sagledati infrastrukturne, prirodne i okolišne karakteristike područja te na temelju prikupljenih podataka, primjenom višekriterijske analize u GIS okruženju odabrati lokacije pogodne za izgradnju solarnih parkova.

**Tema rada je uručena: 25. veljače 2020.**

**Mentorica:**

doc. dr. sc. Bojana Horvat,  
dipl. ing. građ.

## ZAHVALE

Prije svega željela bih se zahvaliti svojoj mentorici, prof. dr. sc. Bojani Horvat koja mi je brojnim savjetima pomogla u izradi ovog diplomskog rada.

Također, posebno se zahvaljujem svojim roditeljima, Zorici i Ivanu, sestri Katarini i baki Anici koji su mi uvijek pružali podršku i bili uz mene. Najveću zaslugu za sve što sam postigla pripisujem upravo njima.

## **IZJAVA**

Diplomski rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Lucija Kružić

U Rijeci, 31. kolovoza 2020.

## SAŽETAK

U današnje vrijeme sve se više potiče korištenje obnovljivih izvora energije koji su ključni za transformaciju urbanih sredina u tzv. pametne gradove. Veliku ulogu u tome ima Sunčeva energija. Ona se može koristiti putem solarnih kolektora, fotonaponskih ćelija ili fokusiranjem sunčeve energije. Odabir lokacije pogodne za izgradnju takvih postrojenja ovisit će o nizu okolišnih, infrastrukturnih i klimatskih čimbenika. Cilj ovog diplomskog rada je na području Primorsko-goranske županije odrediti lokacije pogodne za izgradnju solarnih parkova integracijom višekriterijske analize i geografskog informacijskog sustava (GIS). Kao kriteriji u višekriterijskoj analizi korišteni su: osunčanost prostora, nagib i smjer nagiba terena te blizina naselja, prometnica, vodenih površina, državne granice i obalne linije. Shodno tome, ulazni podaci u analizi su: digitalni model terena, iz njega izvedeni nagib terena i smjerovi nagiba terena, Sunčevo zračenje, zaštićena područja, pokrov/korištenje zemljišta, položaj naselja, prometnica i vodenih površina te obalna linija i državna granica. Ulazni podaci su podijeljeni u dvije skupine: prvu skupinu čine podaci koji istraživano područje definiraju kroz dvije klase pogodnosti za izgradnju solarnih parkova (pogodno i nepogodno), a u drugu skupinu su svrstani podaci koji istraživano područje definiraju kroz više razina pogodnosti (nepogodno, manje pogodno, pogodno i vrlo pogodno). Na temelju tako podijeljenih ulaznih podataka, analiza je provedena u dvije faze: u prvoj fazi je na temelju prve skupine podataka istraživano područje podijeljeno na pogodno i nepogodno, dok je u drugoj fazi primijenjena višekriterijska analiza s podacima druge skupine kao kriterijima. Višekriterijska analiza je provedena primjenom metode analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP, engl. Analytic Hierarchy Process). Istraživano područje je usporedbom i ocjenom kriterija klasificirano na klase pogodnosti, a preklapanjem s područjima pogodnosti iz prve faze analize dobivena je konačna karta pogodnosti područja za izgradnju solarnih parkova. Budući da su svi ulazni podaci prostorni, analiza je provedena u GIS okruženju i u tu svrhu je korišten QGIS program. Ovakvim pristupom određena su područja koja su pogodna za izgradnju solarnih parkova te je procijenjena i razina njihove pogodnosti za izgradnju.

**Ključne riječi:** obnovljivi izvori energije, pametni gradovi, solarni parkovi, GIS, višekriterijska analiza, AHP metoda, razine pogodnosti

## ABSTRACT

Nowadays, the use of renewable energy sources is crucial for the transformation of urban areas into the so-called smart cities. Solar energy plays a big role in that. It can be used via solar collectors, photovoltaic cells or by focusing solar energy. The selection of a location suitable for the construction of such plants depends on a number of environmental, infrastructural and climatic factors. The goal of this master thesis is to determine the locations suitable for the construction of solar parks in the Primorsko-goranska County by integrating multi-criteria analysis and geographic information system (GIS). Criteria used in the multi-criteria analysis were: solar radiation of the area, slope and aspect of the terrain and proximity of towns, roads, water surfaces, state border and coastlines. Therefore, input data in the analysis are: digital elevation model, slope and aspect of the terrain, solar radiation, protected areas, land cover / land use, location of towns, roads and water surfaces, coastline and state border. These data is divided into two groups: first group consists of data that define the study area through two classes of benefits for the construction of solar parks (suitable and unsuitable), and the second group includes data that define the study area through several levels of suitability (unsuitable, less suitable, suitable and very suitable). Based on the grouped input data, the analysis was performed in two phases: in the first phase, based on the first group of data, the investigated area was divided into suitable and unsuitable, while in the second phase, multicriteria analysis was applied with data from the second group as criteria. Multicriteria analysis was performed using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. Investigated area was classified into suitability classes by comparison and evaluation of criteria, and by overlapping with the benefit areas from the first phase of the analysis a final map of the benefits of the area for the construction of solar parks, was obtained. Since all input data are spatial, the analysis was performed in a GIS environment and the QGIS program was used for this purpose. This approach determined the areas that are suitable for the construction of solar parks and assessed the level of their suitability for construction.

**Keywords:** renewable energy sources, smart cities, solar parks, GIS, multicriteria analysis, AHP method, suitability levels



# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1. Pametni gradovi</b> .....	2
<b>1.2. Uloga obnovljivih izvora energije u pametnim gradovima</b> .....	3
<b>1.3. Prikupljanje solarnog zračenja</b> .....	9
<b>1.4. Solarne fotonaponske (PV) elektrane</b> .....	10
<b>2. TEORETSKE OSNOVE</b> .....	15
<b>2.1. Općenito o GIS-u</b> .....	15
<b>2.2. QGIS softver</b> .....	18
<b>2.3. Višekriterijska analiza</b> .....	18
<b>2.3.1. AHP metoda</b> .....	19
<b>2.4. Integracija GIS-a i AHP metode</b> .....	23
<b>3. PODACI I METODE</b> .....	24
<b>3.1. Analizirano područje</b> .....	24
<b>3.2. Dostupni podaci</b> .....	26
<b>3.3. Metodologija</b> .....	34
<b>4. REZULTATI</b> .....	38
<b>4.1. Klasifikacija i reklasifikacija atributnih slojeva</b> .....	38
<b>4.2. Definiranje pogodnosti alternativa atributa</b> .....	40
<b>4.3. Određivanje intenziteta važnosti i prioriteta</b> .....	47
<b>4.4. Preklapanje otežanih karata pogodnosti atributa</b> .....	50
<b>4.5. Određivanje konačne karte pogodnosti područja za izgradnju solarnih parkova</b> 53	
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	55
<b>LITERATURA</b> .....	57

## POPIS TABLICA

Tablica 1: Opća i pojedinačna svojstva obnovljivih izvora energije (preuzeto iz Kalea, 2014)	6
Tablica 2: Potencijal nekih obnovljivih izvora energije u svijetu (preuzeto iz Kalea, 2014, a prema BDEW, Udruga njemačkog energetskeg i vodnog gospodarstva).....	7
Tablica 3: Saatyeva skala .....	21
Tablica 4: Slučajni indeks konzistencije (Saaty, 1980.).....	22
Tablica 5: Područja koja ne ulaze u obzir za izgradnju solarnih parkova .....	34
Tablica 6: Područja koja ulaze u obzir za izgradnju solarnih parkova.....	35
Tablica 7: Dodijeljeni intenziteti važnosti po parovima kriterija.....	47
Tablica 8: Matrica usporedbe .....	49

## POPIS SLIKA

Slika 1: Odnos između komponenti i značajki Pametnih gradova (preuzeto iz Strateški plan Rijeka Pametan grad, 2018, a prevedeno prema Europska Unija, 2014).....	3
Slika 2: Obnovljivi izvori energije (preuzeto iz: <a href="http://e-learning.gornjogradska.eu/energijaekologijaengleski-ucenici/1-obnovljivi-izvori-energije/">http://e-learning.gornjogradska.eu/energijaekologijaengleski-ucenici/1-obnovljivi-izvori-energije/</a> , 2015.-2016.) .....	5
Slika 3: Fotonaponski potencijal u Europi (preuzeto iz Psomopoulos, Ioannidis i Kaminaris, 2015).....	8
Slika 4: Parabolički kolektor u solarnoj termoelektrani u Izraelu (izvor: <a href="https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88">https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88</a> , 2020) .....	11
Slika 5: Parabolički kolektor u Čileu (izvor: <a href="https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88">https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88</a> , 2020).....	11
Slika 6: Parabolični paneli s protočnim medijem, Kramer Junction, California (izvor: <a href="https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88">https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88</a> , 2020) .....	11
Slika 7: Solarni parabolički tanjur (izvor: <a href="https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88">https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88</a> , 2020).....	12
Slika 8: Polje solarnih paraboličkih tanjura (izvor: <a href="https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88">https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88</a> , 2020).....	12
Slika 9: 2D solarna TE s paraboličnim tanjurima (izvor: <a href="https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88">https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88</a> , 2020) .....	13
Slika 10: Solarni toranj, Sevilla (Španjolska) (izvor: <a href="https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88">https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88</a> , 2020) .....	13
Slika 11: Koncept novih solarnih tornjeva (izvor: <a href="https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88">https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88</a> , 2020).....	14
Slika 12: Solarni toranj (izvor: <a href="https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88">https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88</a> , 2020).....	14
Slika 13: Komponente GIS-a (izvor: <a href="http://www.unaconsulting.ba/ba/usluge/usluga-8-gis-i-baze-podataka">http://www.unaconsulting.ba/ba/usluge/usluga-8-gis-i-baze-podataka</a> ) .....	16
Slika 14: Modeli podataka: a) rasterski model; b) vektorski model (izvor: <a href="http://www.oikon.hr/Portals/0/nastava/UVOD%20U%20GIS.pdf">http://www.oikon.hr/Portals/0/nastava/UVOD%20U%20GIS.pdf</a> ) .....	17
Slika 15: Hijerarhija problema odlučivanja AHP metode.....	20
Slika 16: Područje Primorsko-goranske županije s podjelom na gradove i općine .....	25
Slika 17: Nagib terena .....	28

Slika 18: Smjer nagiba terena.....	29
Slika 19: Globalno horizontalno sunčevo zračenje (izvor: The World Bank, 2019, Global Solar Atlas 2.0, Solar resource data: Solargis; <a href="https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/croatia">https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/croatia</a> ) .....	30
Slika 20: Zaštićena područja .....	31
Slika 21: Topografija područja.....	32
Slika 22: Pokrov/korištenje zemljišta (izvor: CORINE Land Cover Hrvatska, 2012) .....	33
Slika 23: Hijerarhija postupka odlučivanja u GIS okruženju (prilagođeno prema: Malczewski, 1999).....	36
Slika 24: Shematski prikaz proračuna karte pogodnosti .....	37
Slika 25: Klasifikacija rasterskih podataka: nagibi terena, smjerovi nagiba terena i Sunčevo zračenje.....	39
Slika 26: Klasifikacija vektorskih podataka o naseljima .....	39
Slika 27: Prikaz dodijeljenih ocjena prema važnosti .....	40
Slika 28: Klasifikacija Sunčevog zračenja za Primorsko-goransku županiju .....	41
Slika 29: Klasifikacija nagiba terena za Primorsko goransku županiju .....	43
Slika 30: Klasifikacija smjerova nagiba za Primorsko goransku županiju .....	44
Slika 31: Prikaz dodijeljenih ocjena za udaljenosti od naselja.....	45
Slika 32: Karta pogodnosti za udaljenosti od naselja za Primorsko-goransku županiju.....	46
Slika 33: Intenziteti važnosti parova kriterija u AHP kalkulator ( <a href="https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php">https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php</a> ) .....	48
Slika 34: Dobiveni prioriteti nakon proračuna u AHP kalkulatoru ( <a href="https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php">https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php</a> ) .....	50
Slika 35: Objedinjena karta svih područja na kojima nije dozvoljena gradnja.....	51
Slika 36: Karta procjene .....	52
Slika 37: Konačna karta pogodnosti.....	53

## 1. UVOD

U zadnje vrijeme u Hrvatskoj se sve više potiče korištenje obnovljivih izvora energije. Može se reći da je energija presudni čimbenik opstanka ljudske vrste. Od najdavnijih vremena ljudi su otkrivali razne vrste energije kako bi si omogućili opstanak. Energija se koristi za sve što je čovjeku bitno, od pročišćavanja vode i zraka, do proizvodnje raznih potrepština.

U ovom radu fokus je na Sunčevoj energiji, koja se može koristiti pomoću solarnih kolektora i fotonaponskih ćelija ili fokusiranjem Sunčeve energije. Najširu primjenu imaju fotonaponski sustavi. Količina Sunčeve energije koja svake godine dođe do Zemlje se ne mijenja, stoga Sunce možemo smatrati neiscrpnim izvorom energije. Nisu sva područja jednako pogodna što se tiče raspoređenosti Sunčevog zračenja po zemljinoj površini. Iz tog razloga, potencijal iskoristivosti Sunčeve energije je nejednoliko raspoređen. Osim što je Sunčevo zračenje nejednoliko u prostoru, može se reći da je nejednoliko i u vremenu obzirom da razina Sunčevog zračenja nije jednaka tijekom svih godišnjih doba, kao i tijekom 24 sata u danu.

Prilikom odabira najpogodnije lokacije za izgradnju solarnih parkova, potrebno je uzeti više kriterija u obzir. Sunčevo zračenje je svakako najbitnije, međutim, kriteriji poput nagiba i smjera nagiba terena, blizine naselja, prometnica, stajaćica, tekućica i obalne linije, također su vrlo bitni. Iz tog razloga, često se odabire višekriterijska analiza zbog mogućnosti korištenja velikog broja kriterija koji utječu na odabir najpogodnije lokacije.

Pojedini gradovi i općine u Primorsko-goranskoj županiji već su iskazali interes za korištenje Sunčeve energije te je još 2007. godine tiskan Vodič za korištenje Sunčeve energije u Primorsko-goranskoj-županiji (PGŽ, 2007). Prema dostupnim podacima, na otoku Cresu nedaleko naselja Orlec je u lipnju 2020. godine započela izgradnja SE Cres, a planira se i izgradnja SE Ustrine kod Osora te izgradnja fotonaponske elektrane na otoku Unije.

U ovom radu provedena je analiza područja Primorsko-goranske županije u pogledu pogodnosti izgradnje solarnih parkova kojima bi cilj bio opskrba pojedinih gradova i naselja na području županije električnom energijom. Za procjenu pogodnosti lokacija provedena je višekriterijska analiza, a kako se radi o prostornom fenomenu, svi ulazni podaci su prostorni te je analiza provedena u okruženju geografskog informacijskog sustava (GIS) i u tu svrhu je korišten QGIS program. GIS je računalni sustav koji se koristi za analiziranje, pohranjivanje i vizualizaciju

svih vrsta prostornih podataka. Metoda višekriterijska analize predstavlja pristup koji uzima u obzir više različitih kriterija prilikom donošenja odluke, odnosno proračuna.

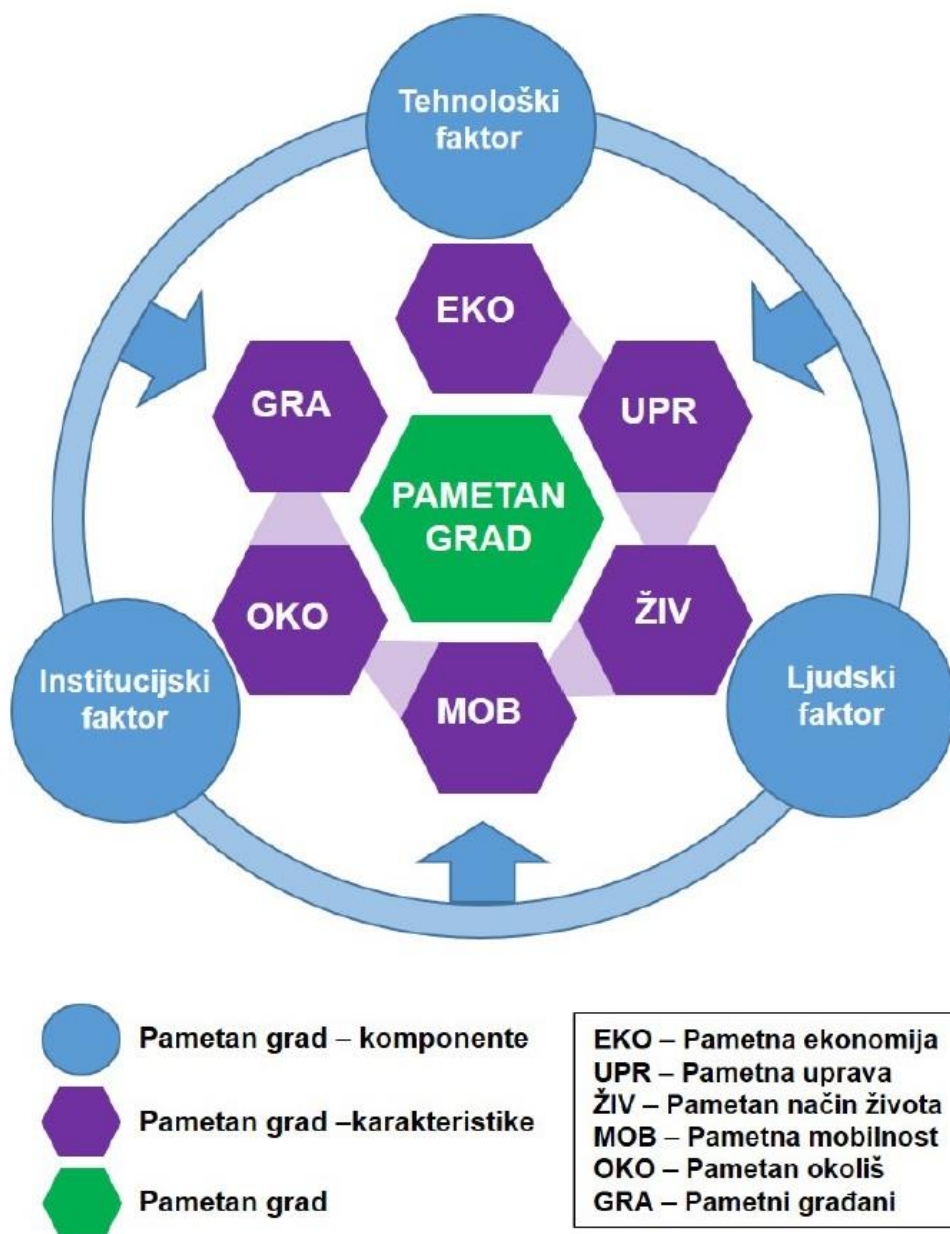
## **1.1. Pametni gradovi**

Prema Eurostat statistikama, 75% Europljana živi u gradovima. Urbana područja doprinose potrošnji energije i efektu staklenka što uvelike utječe na klimatske promjene (Energy and smart cities, 2020). No, veliki gradovi su i glavni pokretači ekonomije u Europi, stoga su novije tehnologije sve više počele preuzimati mjesto konvencionalnim izvorima energije. Iz godine u godinu tendencija je smanjivanje plinova i povećanje udjela u obnovljivim izvorima energije, a do 2030., prema nekim podacima, predviđa se da će se potrošnja plina smanjiti u pola, a korištenje obnovljivih izvora energije rasti.

Projekt pametnih gradova (eng. *Smart Cities*) potencira niz mjera i novih tehnologija koje potiču korištenje obnovljivih izvora energije u svakodnevnom životu (Smart Cities, 2020).

Pametni grad je, zapravo, vizija urbanog razvoja u kojem se koristi digitalna i komunikacijska tehnologija kako bi se zadovoljile potrebe građana i unaprijedila učinkovitost gradskih usluga. Pametni gradovi znače manje isparavanje štetnih plinova, inteligentniju mrežu gradskog prijevoza, unaprijeđene vodne rezerve i odlagališta smeća te učinkovitiji način osvjetljenja i grijanja zgrada. Javni prostori su sigurniji za okupljanje svih dobnih skupina. Ovakvi gradovi pružaju održivost jer se povećava potencijal pojedinaca, ali i čitave zajednice. U fokusu su građani i njihove potrebe, rast gospodarstva te optimalno korištenje resursa. Kao primjer možemo navesti plaćanje parkirnog mjesta SMS porukom, pametne klupe i pametno drveće. U pametnom gradu se gotovo nikada ne radi o jednom rješenju, već o kombinaciji više njih, a sve u službi ugodnijeg života građana.

U Europi postoje pametni gradovi koji mogu služiti kao uzor ne samo ostalim europskim gradovima, već i ostatku svijeta. Godine 2015. na prvom se mjestu našla Barcelona, a za njom i Beč, Kopenhagen te Stockholm kojima je prioritetna upotreba energije iz obnovljivih izvora i zelene IT tehnologije. U Hrvatskoj više gradova (Zagreb, Rijeka, Zadar, Dubrovnik, Bjelovar, Vukovar) aktivno rade na svojoj infrastrukturi kako bi postali dijelom zajednice pametnih gradova. Za razvoj Pametnih gradova, općenito, ključne su tri osnovne komponente: tehnološka, insitucionalna i ljudska, a svaka od njih povezana je s nizom značajki (Slika 1).



Slika 1: Odnos između komponenti i značajki Pametnih gradova (preuzeto iz Strateški plan Rijeka Pametan grad, 2018, a prevedeno prema Europska Unija, 2014)

## 1.2. Uloga obnovljivih izvora energije u pametnim gradovima

Energija je čovjeku poznata od najdavnijeg doba, samo u različitim oblicima. Tijekom povijesti počeo ju je koristiti za svoj opstanak, a s vremenom i razvitkom kako čovječanstva, tako i znanosti, pronalazio je različite izvore energije. Od otkrića i korištenja iscrpivih izvora energije poput ugljena, preko električne energije otkrivene krajem 19. i početkom 20. st. do prve svjetske energetske krize 1973. godine kada je čovjek shvatio da je potrebno energiju koristiti

učinkovitije kako bi se isti učinak postigao s manje uložene energije. Također, veliki problem je bilo i onečišćenje okoliša koje je bilo neminovno. Kako bi se, između ostalog, ono izbjeglo, počelo se težiti opskrbnj kombinaciji izvora energije (tzv. *energetskoj smjesi*) (Kalea, 2014) koja bi sadržavala čim veći udio obnovljivih izvora kako bi se smanjilo širenje štetnih emisija. Tako je u posljednjih nekoliko desetljeća čovječanstvo počelo formirati *stavove o nužnom okretanju i korištenju obnovljivih izvora energije* (Kalea, 2014). Na taj se način čuvaju preostale zalihe iscrpivih izvora (i to ne samo energije) za buduće potrebe.

Cilj je 100 %-tna opskrba iz obnovljivih izvora energije i takav je sustav teoretski zamisliv. Međutim, veliki dio obnovljivih izvora je nestalan i neusklađiv (Kalea, 2014) te da bi tako postavljeni cilj bio ostvariv, u postrojenjima obnovljivih nestalnih izvora energije trebalo bi osigurati uskladištavanje velikih rezervi energije. Ta bi se energija uskladištavala u razdobljima manje potražnje te koristila u razdobljima povećane potražnje. Nažalost, današnje stanje sa skladištenjem energije nije povoljno - veće količine električne energije mogu se uskladištiti u crpno-akumulacijskim elektranama, međutim za njih ima malo lokacija koje su povoljne.

Jedna od varijanti je potpuno okretanje Sunčevu zračenju te stvaranje prijenosnog pojasa oko Zemlje u ekvatorijalnom smjeru (Kalea, 2014), a njegova moć bi trebala biti jednaka ili veća od istovremene potražnje energije u čitavom svijetu. Pojas bi sadržavao čvorišta na koja bi se priključivale solarne elektrane te bi u svakom trenutku tijekom dana kada je osunčanost najveće bila zamisliva opskrba cijelog svijeta.

U realnim okvirima današnjih saznanja, 100 %-tna opskrba iz obnovljivih izvora energije nije ni ekonomski ni tehnički dostižan energetski sustav (Kalea, 2014).

Od obnovljivih izvora danas su najraširenije upotrebe energije Sunca, vjetra i vode te biomasa i geotermalna energija (Slika 2). Većini je osnova i ishodište energetska aktivnost Sunca. Sunčevo zračenje se može koristiti neposredno ili preobraženo u neki drugi oblik poput morskih valova, vjetra, strujanje vodotokova itd. (Kalea, 2014).





Slika 2: Obnovljivi izvori energije (preuzeto iz: <http://e-learning.gornjogradska.eu/energijaekologijaengleski-ucenici/1-obnovljivi-izvori-energije/>, 2015.-2016.)

Korištenje Sunčeve energije može biti pasivno i aktivno. Pasivnim energetske korištenjem Sunca nazivamo povoljno postavljanje zgrada u odnosu na putanju Sunca, promišljeno oblikovanje i sl. dok se aktivnim korištenjem Sunčeve energije može nazvati izlaganje posebnih uređaja na osunčanim mjestima. U tom slučaju se uređajima zahvaća energija u obliku nastalom prirodnom preobrazbom tog zračenja.

Obnovljivi izvori energije odlikuju se brojnim prednostima i nedostacima (Tablica 1). Prednosti su prvenstveno u njihovom potencijalu, obnovljivosti i više-manje ravnomjernoj površinskoj distribuciji.

Tablica 1: Opća i pojedinačna svojstva obnovljivih izvora energije (preuzeto iz Kalea, 2014)

Svojstva	Referentno stanje	Velike hidroelektrane	Male hidroelektrane	Toplinsko korištenje Sunčevim zračenjem	Fotonaponsko korištenje Sunčevim zračenjem	Vjetar	Korištenje unutarnje okoline dizalicom topline	Biomasa i otpad, bioplin	Geotermalna energija
mogućnost raspršenog korištenja	da	↔	=	=	=	=	=	=	=
potencijal	velik	?	↔	=	=	?	=	=	↔
površinska distribucija	ravnomjerna	↔	↔	=	=	?	=	?	↔
površinska gustoća	mala	↔	↔	=	=	=	=	=	↔
mogućnost izvornog transporta	ne postoji	=	=	=	=	=	=	↔	=
mogućnost izvornog uskladištenja	ne postoji	?	=	=	=	=	↔	↔	↔
korištenje u prirodnom obliku	nemoguće	=	=	=	=	=	=	?	↔
trošak pridobivanja izvornog oblika	ne postoji	=	=	=	=	=	↔	↔	=
Trošak izvornog transporta i skladištenja	ne postoji	=	=	=	=	=	=	↔	=
zauzimanje prostora na mjestu transformacije	veliko	=	↔	?	=	=	?	↔	↔
lokalno vizualno opterećenje	veliko	=	?	?	=	=	↔	?	↔
mogućnost kogeneracije	nije moguća	=	=	?	=	=	=	↔	↔
emisija na mjestu transformacije	ne postoji	?	=	=	=	?	=	↔	=
kumulativna CO <sub>2</sub> - neutralnost	da	=	=	=	↔	=	=	=	=
stupanj djelovanja pri transformaciji	malen	↔	↔	↔	=	?	↔	?	=
energetski omjer	malen	↔	=	↔	=	↔	=	=	=
trajanje energetske amortizacije	veliko	↔	=	↔	=	↔	=	=	=
oscilacija prirodnog dotoka	velika	=	=	=	=	=	?	=	↔
trajanje iskorištenja instalirane snage	malo	?	=	=	=	=	↔	↔	↔
<b>rezerva ili akumulacija</b>	<b>nužna</b>	?	=	=	=	=	↔	↔	↔
povjerenje u instaliranu snagu	malo	?	=	=	=	=	↔	↔	↔
djelovanje na zapošljavanje	moguće	?	?	=	=	?	=	=	?
Ukupno poželjnih sustava	8	7	8	11	7	6	13	11	15

● poželjno stanje

= pojedinačno stanje (pod)jednako referentnom

~ pojedinačno stanje slabije izraženo od referentnog

↔ pojedinačno stanje suprotno referentnom

Potencijal obnovljivih izvora vrlo je velik (Tablica 2). Na primjer, Hrvatska danas na godišnjoj razini od Sunca primi 500 puta njene ukupne godišnje potrošnje primarne energije.

*Tablica 2: Potencijal nekih obnovljivih izvora energije u svijetu (preuzeto iz Kalea, 2014, a prema BDEW, Udruga njemačkog energetskeg i vodnog gospodarstva)*

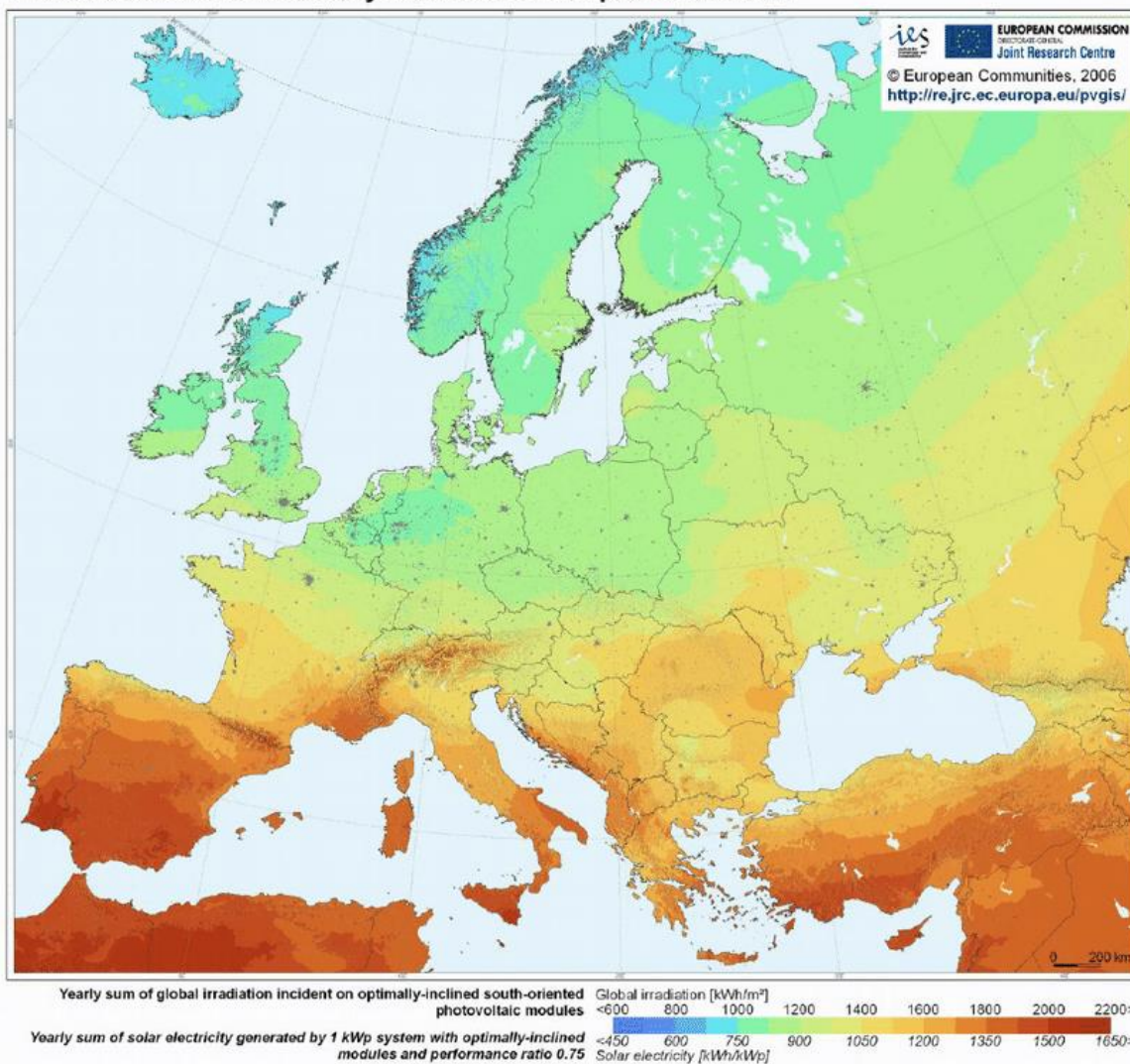
Izvor	Procjena svjetskog potencijala
Sunčevo zračenje	ukupna dozraka oko 8000 puta TPES* ; iskoristivo?
biomasa	energetski iskoristivo oko 2 puta TPES
vjetar	teorijski iskoristivo oko 25 % TPES-a
vodne snage (velike i male HE)	tehnički iskoristivo oko 15 % TPES-a
geotermalna energija	teorijski: oko 2 % TPES-a, korištenjem na sadašnji način (inače je ukupni teorijski potencijal procijenjen na 2 puta TPES)

\*Total Primary Energy Supply (ukupna sadašnja svjetska potrošnja primarne energije) iznosi 12 Mtoe

U pogledu obnovljivosti, količina Sunčeve energije koja svake godine dođe do Zemlje se ne mijenja te kad govorimo o Suncu govorimo o neiscrpnom izvoru energije, za razliku od npr. primarnih fosilnih goriva.

Raspoređenost Sunčevog zračenja po zemljinoj površina karakteristika je geografske lokacije pa je i potencijal iskoristivosti Sunčeve energije nejednoliko raspoređen (Slika 3). Tako su, primjerice, sjeverni dijelovi Europe siromašniji tim oblikom energije od južnijih područja, ali zahvaljujući tehnologiji, iskoristivost sunčeve energije omogućena je i u krajevima s manjim fotonaponskim potencijalom.

### Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Slika 3: Fotonaponski potencijal u Europi (preuzeto iz Psomopoulos, Ioannidis i Kaminaris, 2015)

Osim u prostoru, Sunčevo je zračenje izrazito varijabilno i u vremenu: kako na dnevnoj (dan-noć) tako i godišnjoj razini (ljet-zima)

Od nedostataka obnovljivih oblika energije valja spomenuti problem transporta te energije, te složenost i visoka cijena tehnologije za prikupljanje i eksploataciju energije. Zbog nestalnosti prirodnog dotoka kod većine obnovljivih izvora nužno je osigurati akumulaciju energije pa je koristiti iz akumulatora ako potražnja postoji. Što se samih postrojenja za pretvorbu obnovljive energije tiče, ona spadaju u visoku tehnologiju. Riječ je o složenim i skupim uređajima za automatizaciju i regulaciju pogona koji bi bez toga imali znatno snižene efekte što poskupljuje i proizvedenu energiju.

### 1.3. Prikupljanje solarnog zračenja

Solarna arhitektura je svoj puni razvoj dosegla u prvoj polovici 20. st. (Radosavljević, Pavlović, Lambić, 2010.) Sedamdesetih godina prošlog stoljeća naglo se proširila izgradnja solarnih objekata u cijelome svijetu, a osamdesetih godina program istraživanja i usavršavanja solarnih sustava dosegao je veliku ekspanziju. Tako je krenulo usavršavanje programa za korištenje alternativnih izvora energije.

Urbanističkim planiranjem čuvaju se prirodni uvjeti, stvara se zdrava klima te se štedi energija. Urbana organizacija treba ići u prilog solarnoj arhitekturi. Prirodne čimbenike čine geološke i topografske karakteristike, klimatski uvjeti, lokacije itd. Stvorene uvjete čine orijentacija objekta, međusobni položaj objekta, arhitektonska forma objekta, vegetacija itd.

Sunčeva energija se može prikupiti na tri načina: termalnim kolektorima, solarnim elektranama te fotonaponskim kolektorima. Prvi tip tehnologije izravno iskorištava toplinu iz Sunca, a druga dva zahtijevaju pretvaranje sunčeve energije u električnu (Hamilton, 2018). Sunčeva se energija može koristiti za mnogo stvari: zagrijavanje zraka ili vode u kućanstvima, bazenima, zgradama itd., ili izravno za zagrijavanje prostora doma, staklenika i ostalih zgrada. Stariji kolektori izgledaju kao uvijene i tamno obojane cijevi koje su smještene na krovu, a iz kojih se zagrijana voda gravitacijom dovodi do perilica rublja i do čovjeka. Moderniji kolektori su metalni spremnici koji sadrže površine koje upijaju toplinu te vodovod kojim ona kruži nekom zgradom. Često se koristi voda ili antifriz kao nosač topline, Njihov se protok regulira ventilima i spremnicima, a kontrolira pomoću računala. Solarni sustavi za zagrijavanje prostorija često se klasificiraju kao aktivni, odnosno pasivni (Hamilton, 2018). U pasivnim solarnim zgradama prozori, zidovi i podovi napravljeni su tako da skladište i distribuiraju sunčevu energiju u obliku topline zimi, a odbacuju toplinu ljeti. To se naziva pasivnim solarnim projektiranjem jer se ne koriste nikakvi električni uređaji. Pri projektiranju takvih zgrada najvažnije je iskoristiti lokalnu klimu na najbolji mogući način. Tu se u obzir uzimaju smještaj prozora, termoizolacija, termalna masa itd. To se najlakše izvodi pri projektiranju novih zgrada, mada nije nemoguće prilagoditi ili osuvremeniti postojeće zgrade tako da prikupljaju Sunčevu toplinu.

Sustav aktivnog zagrijavanja zahtijeva kolektore. Za protok zagrijanog zraka koriste se ventilatori i pumpe. Ovakvi sustavi često sadrže i neku vrstu sustava pohrane energije. Najčešća vrsta kolektora su kolektorski paneli, a koriste se kada se zahtjeva temperatura viša od 90 stupnjeva Celzijevih. Nekoncentrirajući kolektori najčešće se koriste za zagrijavanje zgrada i vode za pranje. U njima površina apsorbira sunčevo isijavanje koje se zatim prenosi u područje

koje treba zagrijati. Kolektori se sastoje od: ravnog apsorpcijskog panela, prozirnog pokrova, medija i termoizolacijske podloge. Ravni apsorpcijski paneli najčešće se stavljaju na krovove ili na tlo i to tako da su okrenuti prema smjeru iz kojeg najčešće dopire Sunce. Osim ovakvih panela, postoje i oni mehanizirani koji prate putanju Sunca.

#### **1.4. Solarne fotonaponske (PV) elektrane**

Solarne termoelektrane koriste Sunčeve zrake kako bi ugrijale tekućinu na vrlo visoke temperature. Tekućina se zatim cirkulira kroz cijevi i na taj način prenosi toplinu na vodu koja stvara vodenu paru. Para se u turbini pretvara u mehaničku energiju i generatorom u električnu energiju (Hamilton, 2018.) Solarne elektrane rade na isti način kao i elektrane na fosilna goriva, jedino što se u ovom slučaju para stvara toplinom dobivenom od Sunca. Tri glavna tipa solarnih koncentrirajućih sustava topline su solarni tanjur, solarni toranj i paraboličko korito.

Paraboličko korito je tip solarne elektrane koji je u najširoj uporabi. Karakterizira ga dugačak kolektor u obliku parabole koji usmjerava sunčeve zrake na cijev smještenu u centru parabole. Kolektor se nagnje prateći dnevno kretanje Sunca. Zbog paraboličkog oblika korito fokusira Sunce 30 do 100 puta u odnosu na uobičajenu jačinu zračenja u smjeru prijemne cijevi koja je smještena duž linije korita. Na taj način postižu se radne temperature i preko 400 stupnjeva Celzijevih. Redovi solarnih paraboličkih korita čine solarno polje: tekućina-nosač topline se prolazeći kroz cijevi zagrijava i vraća u niz izmjenjivača topline na nekoj lokaciji. Tekućina cirkulira cijevima i prenosi svoju toplinu na vodu koja se pod pritiskom pretvara u vrelu paru. Para se zatim upućuje u turbinu gdje generator proizvodi električnu energiju. Ovakva se korita koriste u najvećoj solarnoj elektrani na svijetu koja je smještena u pustinji Mojave u Kramer Junctionu u Kaliforniji. Elektrana tamo postoji još od 1980-ih i od tamo dolazi većina električne energije proizvedene solarnim elektranama u Sjedinjenim Državama.



Slika 4: Parabolički kolektor u solarnoj termoelektrani u Izraelu (izvor: <https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88>, 2020)



Slika 5: Parabolički kolektor u Čileu (izvor: <https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88>, 2020)



Slika 6: Parabolični paneli s protočnim medijem, Kramer Junction, California (izvor: <https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88>, 2020)

Solarni tanjur je solarni uređaj koji se koristi u solarnim kolektorima koji prate Sunce i koncentriraju njegovu energiju na žarišnu točku tanjura (Hamilton, 2018). Omjer koncentracije solarnog tanjura iznosi preko 2000, a radna temperatura mu je preko 750 stupnjeva Celzijevih. Oprema za proizvodnju električne energije koja se koristi solarnim tanjurom može se instalirati na žarišnu točku tanjura ili se energija može prikupljati iz više instalacija, kao što je to slučaj kod korita. Takav uređaj kod solarnog tanjura pretvara toplinu u mehaničku snagu komprimiranjem radnog fluida. Motor se uparuje s električnim generatorom i tako se dolazi do električne energije.



Slika 7: Solarni parabolički tanjur (izvor: <https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88>, 2020)



Slika 8: Polje solarnih paraboličkih tanjura (izvor: <https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88>, 2020)





Slika 9: 2D solarna TE s paraboličnim tanjurima (izvor: <https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88>, 2020)

Elektrane koje imaju solarne tornjeve proizvode električnu energiju pomoću topline koju dobivaju iz termalnih kolektora. Centralni prijemnik ili solarni toranj proizvode električnu energiju iz sunčeve svjetlosti tako da fokusiraju koncentriranu sunčevu energiju na izmjenjivač topline koji se nalazi na tornju. Ovakvi sustavi koriste na tisuće zrcalnih panela koji prate kretanje Sunca i reflektiraju energiju prema centralnom tornju. Na ovaj se način može koncentrirati energija i do 1500 puta više od one koja dolazi od Sunca. Da bi bili ekonomični, solarni tornjevi moraju biti veliki. U usporedbi s paraboličkim koritima, još uvijek su u ranoj fazi razvoja, ali diljem svijeta su napravljeni probni pogoni.



Slika 10: Solarni toranj, Sevilla (Španjolska) (izvor: <https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88>, 2020)



Slika 11: Koncept novih solarnih tornjeva (izvor: <https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88>, 2020)



Slika 12: Solarni toranj (izvor: <https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88>, 2020)

## 2. TEORETSKE OSNOVE

### 2.1. Općenito o GIS-u

GIS (eng. Geographic Information System) je računalni sustav koji se koristi za analiziranje, pohranjivanje i vizualizaciju svih vrsta prostornih podataka, a njegova primjena je vrlo široka.

Razvoj GIS-a započeo je 60-ih godina prošlog stoljeća, a pionikom i utemeljiteljem GIS-a u današnjem smislu smatra se englesko-kanadski geograf Roger Tomlinson. Tomlinson je osmislio i razvio kanadski katastar, prvi je započeo primjenjivati digitalno preklapanje karata i koncept GIS-a u katastru te je razvio prvi pravi GIS – Kanadski geoinformacijski sustav (CGIS). Zahvaljujući svemu tome, danas ga se smatra ocem GIS-a.

Geoinformacijski sustav može se koristiti za mjerenja terena, kartografiju, imovinska upravljanja, ima veliku primjenu u geodeziji, geologiji, hidrologiji, u planiranjima puta, u raznim znanstvenim istraživanjima i proračune. GIS ima mogućnost prikaza velikog broja različitih podataka na karti poput ulica, zgrada i vegetacije, što omogućuje korisnicima da lakše razumiju i analiziraju veze među podacima. Svi objekti koji su smješteni u prostoru definirani su koordinatama. Osim mogućnosti prikaza raznih fizičkih podataka, u ovaj program prilikom analiza možemo uključiti i razne podatke o populaciji, obrazovanju, prihodima. Velika prednost ovog sustava je mogućnost vizualizacije podataka, odnosno prikaz velike količine atributnih podataka u slikovitom i jednostavnom, čovjeku razumljivom obliku.

Korištenjem GIS-a omogućeno je lakše upravljanje informacijama te integracija svih postojećih ili dostupnih podataka o prostoru. Također, GIS primjenjuje sofisticirane analitičke metode, a rezultati provedenih analiza dobivaju se u formi karata i drugih grafičkih prikaza. Jedna od velikih prednosti GIS-a, osim njegove mnogostruke primjene, svakako je i jednostavnost njegova korištenja. U svega nekoliko koraka moguće je doći do željenih informacija. Iz tog razloga, GIS se danas često koristi i kao jezgra upravljanja informacijama unutar nekog sustava.

Geoinformacijski sustav ima pet osnovnih komponenti (Beato, 2014.) (Slika 13):

- korisnici – GIS analitičari, informatičari, stručnjaci u raznim područjima,
- podaci – prostorni i atributni,
- softver – programska potpora; omogućuje funkcije i alate koji su potrebni za analiziranje i prikazivanje podataka, kao i njihovu pohranu,
- hardver – tehnička osnova (računala, mreže, uređaji za vizualizaciju, oprema za ispis),

- metode i procedure – mogućnosti prikupljanja, upravljanja, obrade, prikazivanja podataka



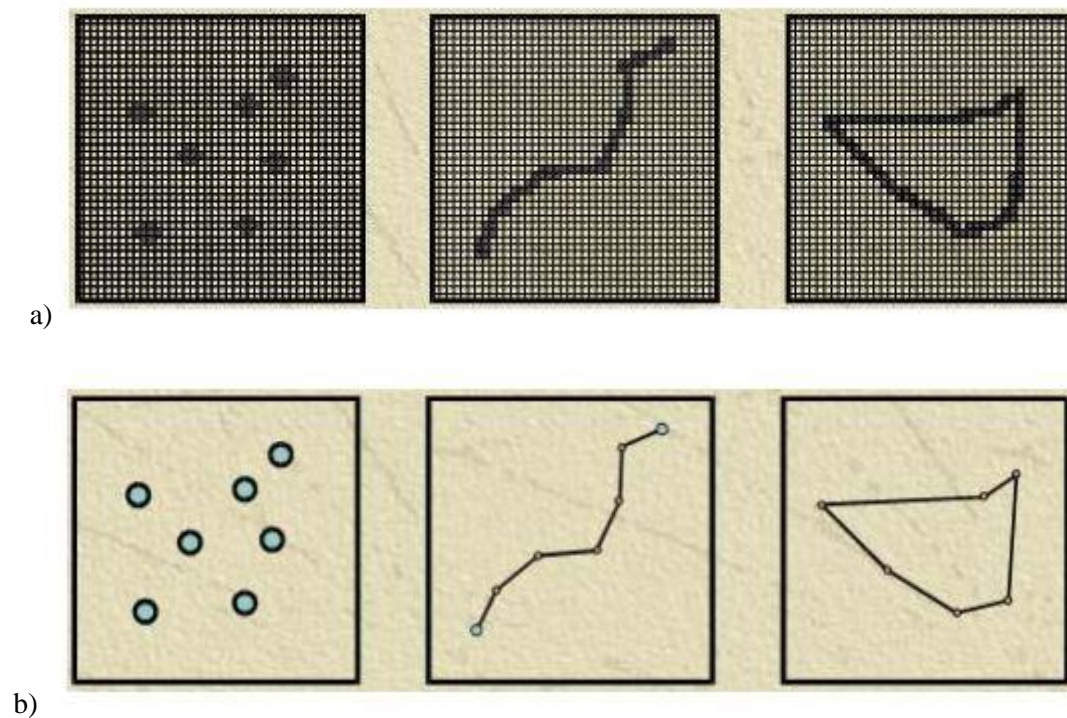
Slika 13: Komponente GIS-a (izvor: <http://www.unaconsulting.ba/ba/usluge/usluga-8-gis-i-baze-podataka>)

Podaci čine temelj GIS-a, a prikupljaju se direktno primjenom različitih tehnika prikupljanja (mjerenje na terenu, GPS, daljinska istraživanja) ili indirektno (izvedeni iz postojećih karata i snimaka skeniranjem, podaci preuzeti od raznih institucija i drugih korisnika). Podaci u GIS-u opisuju fenomene u stvarnom svijetu. Ti fenomeni se mogu podijeliti u dvije kategorije: objekti (u ovu grupu spadaju npr. kuće, prometnice) te polja koja mogu biti diskretna i kontinuirana (količina oborina, nadmorske visine, geološke jedinice i slično). S obzirom na vrstu fenomena, podaci o njima se mogu pohraniti na dva načina – u formi vektora (točka, linija, poligon) ili u formi rastera.

Raster (Slika 14a) pohranjuje podatke u formi međusobno spojenih pravokutnih ćelija raspoređenih u redove i stupce, a prostorno se karakteriziraju rezolucijom. Rezolucija rastera je najmanja veličina stvarne površine prikazane jednom ćelijom u rasteru. Duljine stranica ćelije u horizontalnom i vertikalnom smjeru su u pravilu jednake, ali ne nužno. Na primjer, ako je rezolucija rastera 1 m znači da je najmanja veličina stvarne površine koju je moguće prikazati rasterom 1 m<sup>2</sup>, odnosno stvarne dimenzije prikazane ćelijom u rasteru su 1 × 1 m.

Rasteri se mogu kreirati konverzijom vektora u rastere (tzv. rasterizacija), skeniranjem analognih karata te kao produkt snimanja kamerom i senzorom (avionske, satelitske i dronske snimke).

U vektore (Slika 14b) ubrajamo linije, poligone i točke. Vektorima prikazujemo elemente poput prometnica, vodotoka, dalekovoda, željezničkih pruga, kao i diskretne elemente poput mjernih postaja i šahtova. Također, u vektore spadaju elementi koji predstavljaju granice posjeda, rubove zgrada i ostalih građevina. Osim za korištenje u svrhu poštivanja prostornog integriteta, vektorski podaci se koriste i za prikaz kontinuirano varijabilnih fenomena pa se tako nepravilne mreže i izolinije upotrebljavaju za prikaz nadmorskih visina, količina oborina ili nekih drugih fenomena koji se neprestano mijenjaju u prostoru. Vektorski podaci se prikupljaju geodetskim mjerenjima i GPS-om, a mogu se kreirati i konverzijom postojećih rastera u vektore (tzv. vektorizacija).



Slika 14: Modeli podataka: a) rasterski model; b) vektorski model  
(izvor:<http://www.oikon.hr/Portals/0/nastava/UVOD%20U%20GIS.pdf> )

## **2.2. QGIS softver**

Danas je na raspolaganju niz GIS softvera koji omogućuju unos i pripremu podataka, njihovu pohranu, pretraživanje i analizu te vizualizaciju. Budući da nisu svi alati isti, odabir softvera ovisit će o specifičnoj namjeni. Osnovna podjela GIS softvera je na softvere otvorenog koda (open source) koji su besplatni i dostupni širokom krugu korisnika te komercijalne (vlasničke) softvere koji su obično specijalizirani, a licence su im skupe. Svaki od njih odlikuje se nizom prednosti i nedostataka, u ekonomskom i funkcionalnom smislu.

U ovom je radu korišten QGIS, softver otvorenog koda s vrlo širokim područjem primjene.

Ovaj program brzo odgovara na pitanja, pomaže nam razumjeti što je gdje te uvelike olakšava provedbu analizi raznih vrsta. GIS pripada jednoj od najbrže rastućih tehnologija novijeg doba. Iako su geoinformacijski sustavi i njihovi softveri u osnovi složeni, njihova primjena kao i korištenje može biti jednostavno.

QGIS je besplatan geoinformacijski sustav, jednostavan za korištenje. Njegov razvoj započeo je 2002.godine, a prva verzija izdana je 2009. godine (Klobučar, 2012.). Ovaj program je službeni projekt Geoprostorne zaklade otvorenog koda (Open Source Geospatial Foundation). Prilagođen je korištenju na svim operacijskim sustavima: Linuxu, Unixu, Macu, OSX-u, Windowsu i Androidu. Instalacija je vrlo jednostavna te dostupna svim korisnicima.

U ovom programu moguće je stvarati karte koje mogu biti različitih namjena, ali i sastavljene u različitim formama. Omogućuje pregled, stvaranje i uređivanje velikog broja vektorskih i rasterskih podataka. Unutar programa moguće je dodatno instalirati razne dodatke koji proširuju već postojeću funkcionalnost.

## **2.3. Višekriterijska analiza**

Višekriterijska analiza predstavlja pristup koji uzima u obzir više različitih kriterija prilikom donošenja odluke, odnosno proračuna. Ovim se pristupom dolazi do logičnih rezultata koji se kasnije mogu lako identificirati i posložiti po prioritetima.

Višekriterijska analiza se primjenjuje ukoliko postoji više čimbenika koji se trebaju uzeti u obzir prilikom odabira, najčešće je to prilikom određivanja ekološki osjetljivih područja, blizine prometne i cestovne infrastrukture, pogodnosti određene lokacije, udaljenosti područja od stanovništva i sl.

Koristi se za određivanje najprikladnije mogućnosti u odnosu na sve kriterije i ograničenja, također i za sažimanje prihvatljivih ili neprihvatljivih mogućnosti s kojima se nastavlja detaljnija procjena.

Svrha ovog pristupa nije donošenje konačne odluke već pomoć prilikom planiranja i donošenja odluka. Odlika ovog pristupa je da je eksplicitan i transparentan.

Danas je na raspolaganju niz metoda višekriterijske analize, a svaka od njih na svojstveni način sintetizira ulazne podatke potrebne za definiranje problema i prilagođene su različitim primjenama (energetika, gospodarenje vodama, upravljanje okolišom, promet, graditeljstvo, poslovni procesi, ekonomija itd.). Metode koje se najčešće koriste su: AHP (eng. Analytic Hierarchy Process), PROMETHEE (eng. Preference Ranking, Organization Method for Enrichment Evaluations), MAUT (eng. Multi-attribute utility theory), ANP (Analytic Network Process), TOPSIS (eng. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) i MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation).

Kako bi se uspješno provela višekriterijska analiza, potrebno je provesti sljedeće korake (Krpan, Šteko, Koren, 2012.):

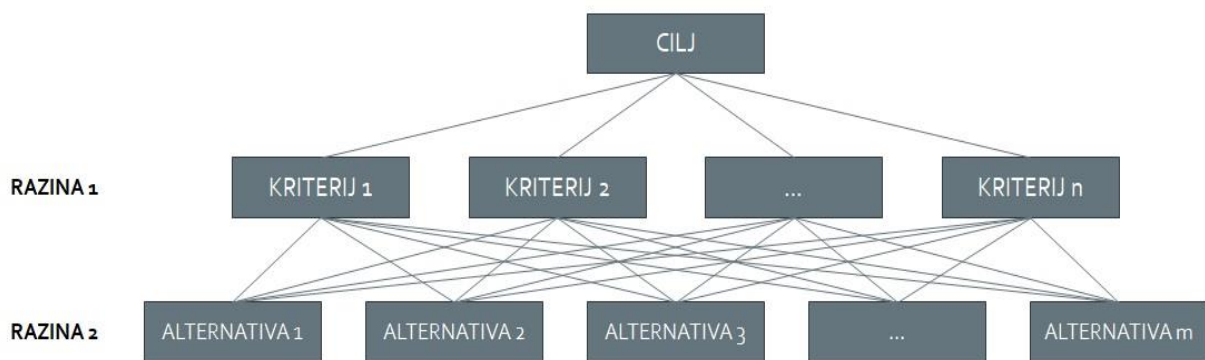
- određivanje problema i definiranje ciljeva,
- definiranje kriterija po kojima će se vršiti analiza,
- standardiziranje čimbenika/kriterija,
- definiranje težinskih vrijednosti,
- objedinjavanje kriterija i
- provjera i potvrda rezultata.

### **2.3.1. AHP metoda**

U zadnjih desetak godina, veliki broj pravila iz višekriterijske metode odlučivanja implementiran je u GIS okruženje, pa tako i AHP metoda. AHP (Analitički hijerarhijski proces) je osmislio Thomas L. Saaty. Ova metoda je razvijena kako bi omogućila korisnicima jednostavno rješenje za kompleksna pitanja i odluke.

Kako bi se AHP metoda ispravno provela, potrebno je provesti određene korake. Za početak je potrebno hijerarhijski podijeliti problem na način da se unutar hijerarhije definiraju svi elementi problema. Na vrhu hijerarhije je konačni cilj te se od njega hijerarhija grana dalje na točnije

određene elemente problema odnosno kriterije i dalje na alternative koje su na nižim razinama (Slika 15). Slijedi usporedba u parovima elemenata na nižim razinama u odnosu na pojedine elemente na višoj razini te donošenje odluke koji je element para bitniji za element na višoj razini. Cilj je na vrhu hijerarhije te se on ne uspoređuje niti s jednim elementom hijerarhije. Usporedba kreće od najniže razine tj. alternativa koje se, u parovima, uspoređuju u odnosu na svaki pojedini kriterij na višoj razini. Nakon usporedbe alternativa, slijedi usporedba kriterija, također u parovima, u odnosu na konačni cilj. Potrebno je  $n*(n-1)/2$  usporedbi, odnosno broj usporedbi približno odgovara kvadratu broja elemenata koji se uspoređuju.



Slika 15: Hijerarhija problema odlučivanja AHP metode

U svakoj usporedbi elemenata para, bilo da se radi o usporedbi alternativa ili usporedbi kriterija, svakom elementu promatranog para se dodjeljuje vrijednost tzv. intenziteta važnosti. Riječ je o cjelobrojnim vrijednostima u rasponu od 1 do 9 koji čine Saatyevu skalu vrednovanja (Tablica 3.).



Tablica 3: Saatyeva skala

Intezitet važnosti	Definicija	Opis
1	Jednaka važnost	Dva kriterija ili alternative jednako doprinose cilju
3	Slaba dominacija (umjereno važnije)	Na temelju iskustva i procjene daje se umjerena prednost jednom kriteriju/alternativi u odnosu na drugi
5	Jaka dominacija (strogo važnije)	Na temelju iskustva i procjena strogo se favorizira jedan kriterij/alternativa u odnosu na drugi
7	Demonstrirana dominacija (vrlo stroga, dokazana važnost)	Jedan kriterij/alternativa izrazito se favorizira u odnosu na drugi, njezina dominacija dokazuje se u praksi
9	Apsolutna dominacija (ekstremna važnost)	Dokazi na temelju kojih se favorizira jedan kriterij ili alternativa u odnosu na drugi potvrđeni su s najvećom uvjerljivošću
2,4,6,8	Međuvrijednosti	

Dodijeljeni intenziteti važnosti usporedbe se svrstavaju u matrice usporedbe i na temelju nje se svakoj alternativu odnosno kriteriju određuje prioritet u odnosu na postizanje konačnog cilja.

#### Matematička pozadina AHP analize

Promatramo skup od  $n$  alternativa i svaka od njih ima težinu (prioritet)  $w_i$  koju treba odrediti na temelju procjene vrijednosti omjera težina alternativa  $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}$ .

Omjeri težina su rezultat subjektivne procjene, a vrijednosti im se dodjeljuju ovisno o važnosti pojedinog kriterija (ili alternative) u promatranom paru na način:

- ako je  $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} = 1$ , kriteriji (ili alternative) su jednako važni;
- ako je  $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} > 1$ , kriterij (ili alternativa)  $A_i$  je važniji od kriterija (ili alternative)  $A_j$ ;
- ako je  $a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} < 1$ , kriteriji (ili alternativa)  $A_j$  je važniji od kriterija (ili alternative)  $A_i$ .

Tako dodijeljeni omjeri težina alternativa čine matricu  $A$  relativnih važnosti:

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Matrica  $A$  je pozitivna i recipročna tj. elementi  $a_{ij}$  koje sadrži su pozitivni i zadovoljavaju uvjet  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ .

Određivanje težina  $w_i$  se može svesti na rješavanje jednadžbe:

$$Aw = \lambda w, \quad \lambda \neq 0 \quad (2)$$

gdje je  $\lambda$  svojstvena vrijednost, a  $w$  svojstveni vektor matrice  $A$ . U Saatyjevom pristupu (Saaty, 1980), vektor  $w$  je normalizirana komponenta vlastitog vektora koja odgovara najvećoj svojstvenoj vrijednosti,  $\lambda_{max}$  tj.

$$Aw = \lambda_{max} w \quad (3)$$

Najveća vlastita vrijednost recipročne matrice  $n$ -tog reda je  $\lambda_{max} \geq n$ . U idealnom slučaju, kad je matrica u potpunosti konzistentna,  $\lambda_{max} = n$ .

Težine  $w_i$  mogu se odrediti rješavanjem sustava jednadžbi:

$$(A - \lambda_{max} I)w = 0, \quad \sum_i w_i = 1 \quad (4)$$

Prilikom određivanja težina, mogu se javiti teškoće zbog nekonzistentnosti u procesu uspoređivanja pojedinih parova hijerarhije odnosno u procjeni omjera težina  $a_{ij}$ . Da bi se to izbjeglo, izračunava se omjer konzistencije  $CR$  (engl. Consistency Ratio):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

gdje je  $RI$  slučajni indeks konzistencije (engl. Random Consistency Index) (Tablica 4), a  $CI$  indeks konzistencije (engl. Consistency Index) koji se određuje pomoću izraza:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

Tablica 4: Slučajni indeks konzistencije (Saaty, 1980.)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45	1,49

Da bi dodijeljene vrijednosti omjera težina bile konzistentne i cijeli postupak valjan, mora biti zadovoljen uvjet  $CR \geq 0,1$ . Ukoliko je CR manji od te vrijednosti, postupak se mora ponoviti.

## **2.4. Integracija GIS-a i AHP metode**

Geoinformacijski sustav ima mnogobrojne mogućnosti za skladištenje, upravljanje, manipulaciju, analizu i vizualizaciju prostornih podataka, dok višekriterijska analiza nudi procedure, algoritme i tehnike za donošenje odluka i ocjenu alternativa.

Ovakav način postupka obuhvaća sljedeće korake (Gigović, Regodić, Kostić, 2015.):

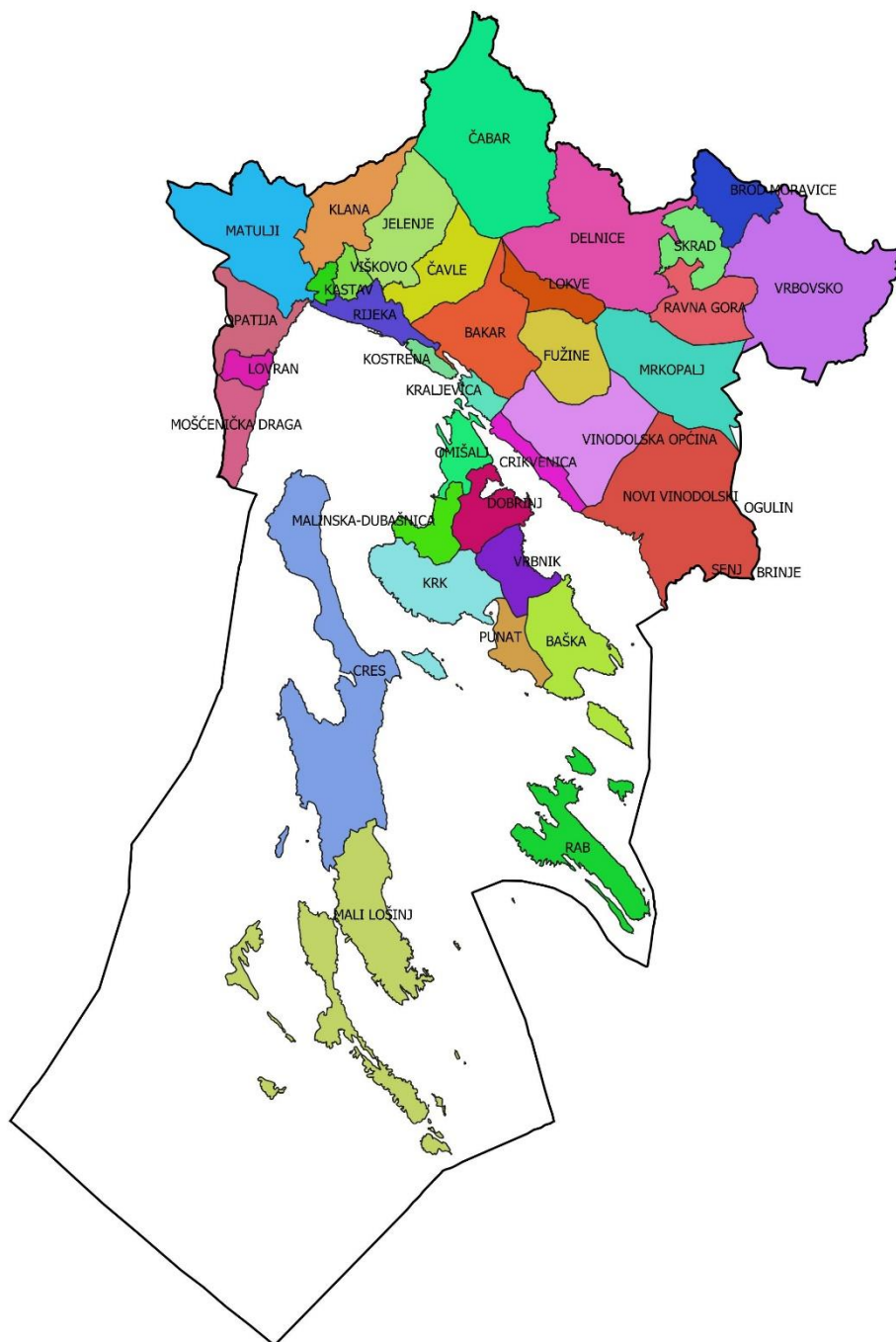
1. korak : Definiranje problema i obuhvata studije
2. korak: Određivanje ograničenja i kriterija na temelju potrebnih ciljeva
3. korak: Prikupljanje podataka i slojeva za svako pojedino ograničenje ili kriterij
4. korak: Formiranje slojeva s ograničenjima
5. korak: Standardizacija skupova podataka, kreiranje novih slojeva pogodnosti za svaki kriterij
6. korak: Formiranje matrice odlučivanja te određivanje težinskih koeficijenata kriterija, korištenje Analitičkog hijerarhijskog procesa
7. korak: sumiranje ponderiranih slojeva i dobivanje novog sloja – sloj pogodnosti
8. korak: vizualizacija konačnog rješenja kao kartografski prikaz.

U ovom radu glavni metodološki pristup bio je integriranje GIS-a i AHP metode. Prioriteti su izračunati uz pomoć AHP kalkulatora (<https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>).

### **3. PODACI I METODE**

#### **3.1. Analizirano područje**

Određivanje lokacija najpogodnijih za izgradnju solarnih parkova provedeno je za cjelokupno područje Primorsko-goranske županije. Primorsko-goranska županija obuhvaća 14 gradova, 22 općine i 510 naselja, a njena površina iznosi 7.931 km<sup>2</sup> od čega kopneni i otočni dio obuhvaća 3.587 km<sup>2</sup>, a more 4.344 km<sup>2</sup>. Unutar županije obuhvaćeno je područje grada Rijeke, sjeveroistočni dio istarskog poluotoka, Hrvatsko primorje, Gorski kotar te Kvarnerski otoci (Slika 16). Sjedište županije je grad Rijeka, koji je po veličini treći hrvatski grad.



Slika 16: Područje Primorsko-goranske županije s podjelom na gradove i općine

Ova županija ima vrlo raznolika geografska obilježja. Od vrlo razvedene obale s brojnim otocima, do šumovitog gorja (<https://ju-priroda.hr/primorsko-goranska-zupanija/>):

- priobalje s neposrednim zaleđem (oko 34 % teritorija županije),

- otoci (oko 29 % teritorija županije) i
- Gorski kotar (oko 37 % teritorija županije).

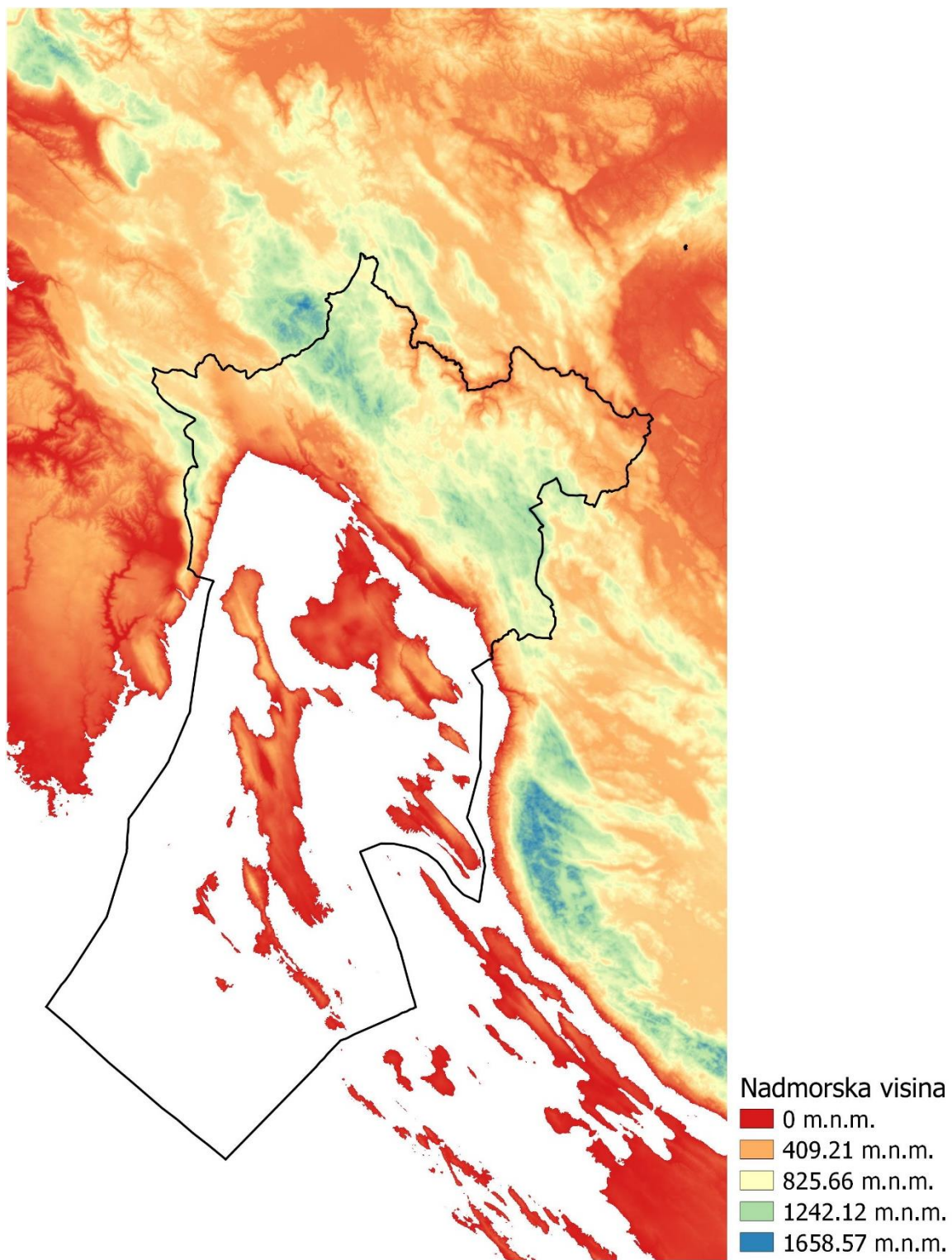
Na odabir lokacije za izgradnju solarnih parkova utjecat će niz kriterija. Najznačajnije je sunčevo zračenje, no karakteristike terena, udaljenost od naselja koja će se opskrbljivati prikupljenom energijom, razni okolišni čimbenici također imaju značajan utjecaj na proces odabira lokacije. Stoga je odabrana višekriterijska analiza odnosno AHP metoda.

### 3.2. Dostupni podaci

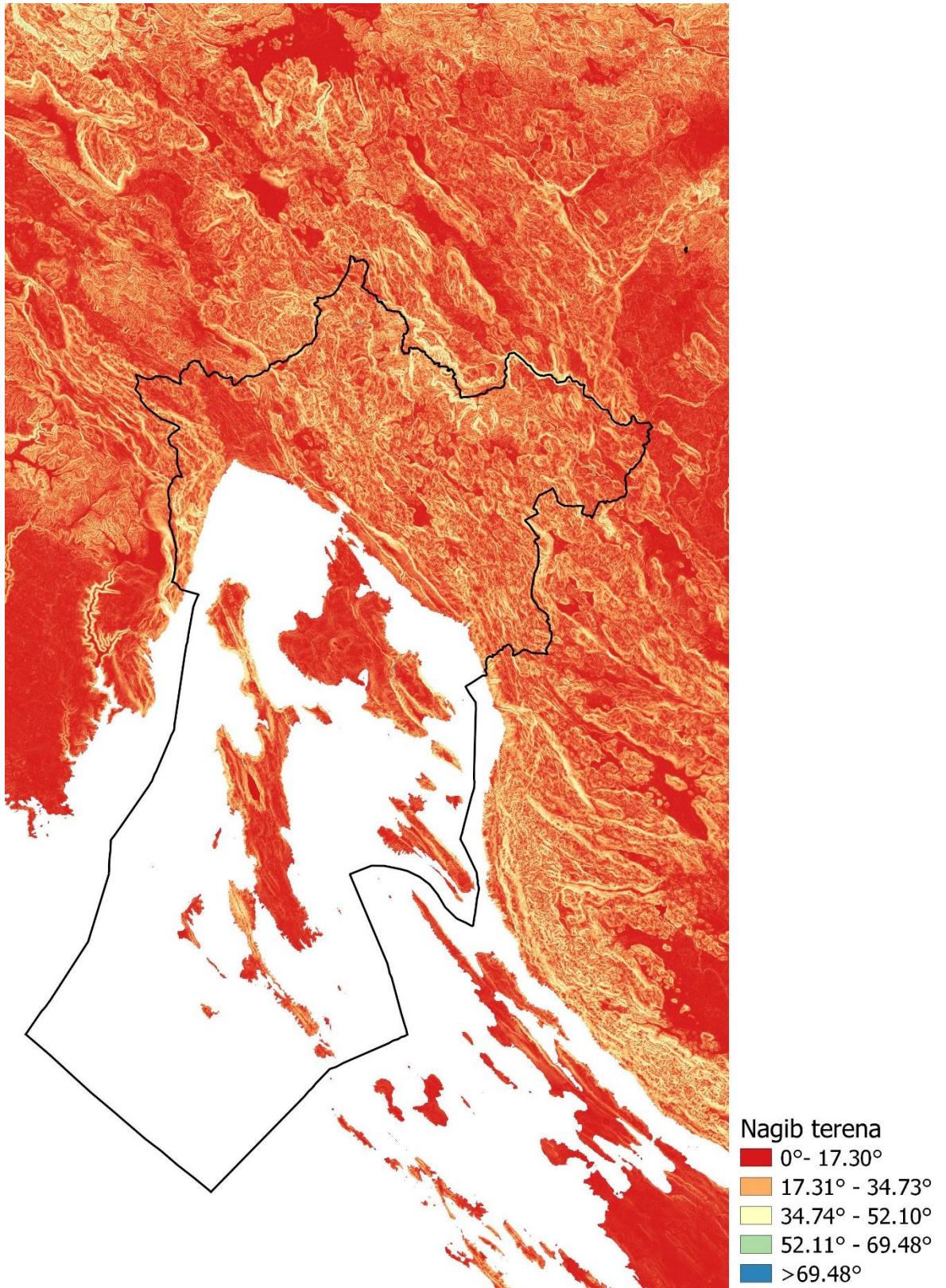
Kako bi se mogla provesti analiza u QGIS programu, za početak je bilo potrebno prikupiti sve podatke, karte, literaturu. U ovoj analizi korišteni su prostorni podaci koji su bili dostupni u vrijeme izrade diplomskog rada.

Kao podloga su korišteni osnovni podaci u prostoru za Primorsko goransku županiju, gdje spadaju:

- digitalni model terena (DEM), iz njega izvedeni nagibi terena te smjerovi nagiba terena (Slika 16, 17, 18),
- sunčevo zračenje (eng. *Global Horizontal Irradiation* (GHI) u kWh/m<sup>2</sup> (eng. *Solargis Global Model*) (Slika 19),
- zaštićena područja prirode (Natura 2000, zone sanitarne zaštite) (Slika 20),
- naselja, prometnice, vodene površine, obalna linija, državna granica (Slika 21),
- karta pokrova/korištenja zemljišta (CORINE pokrov i korištenje zemljišta) (Slika 22).

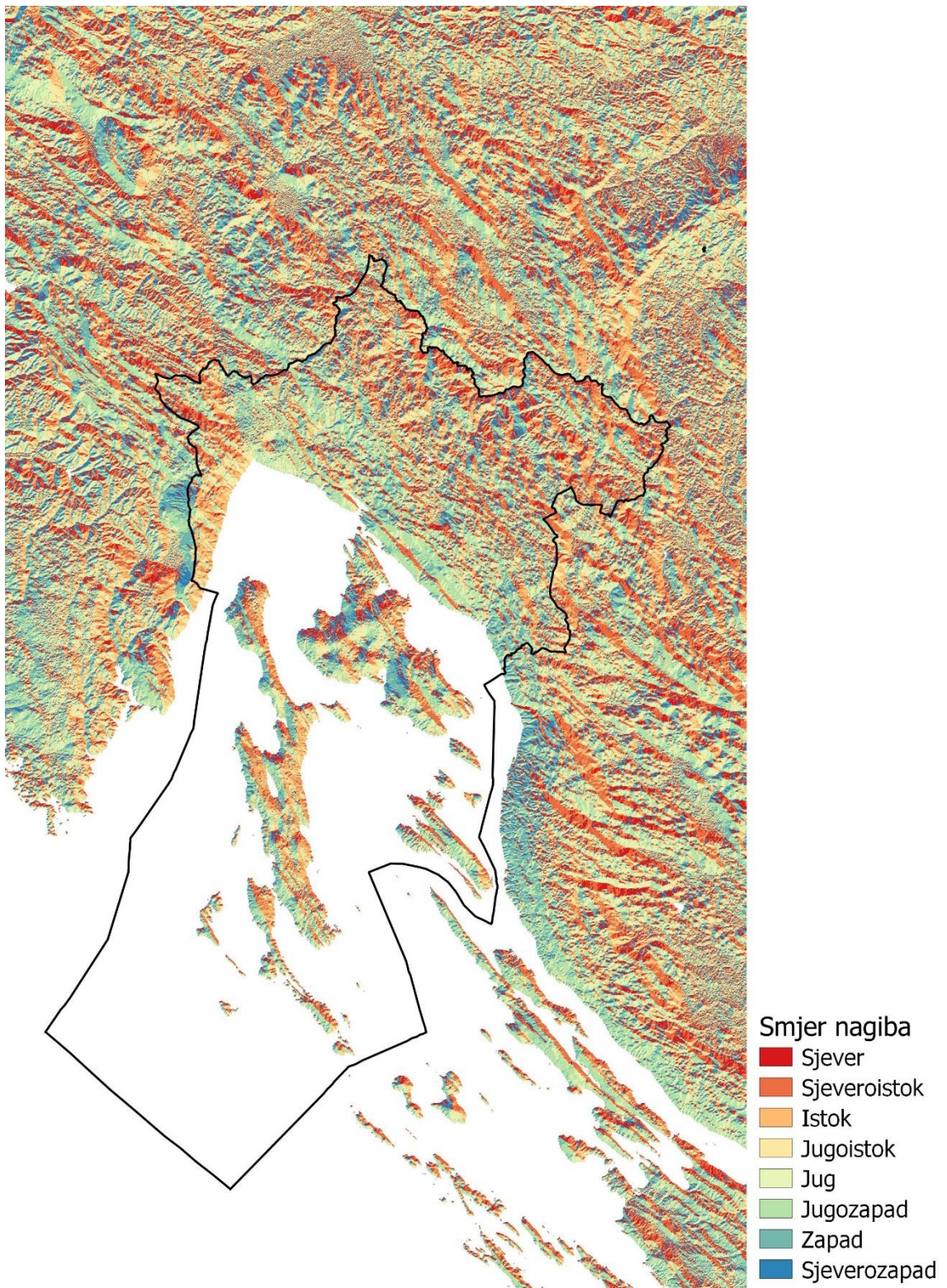


Slika 16: Digitalni model terena (izvor: European Digital Elevation Model (EU-DEM), version 1.1)

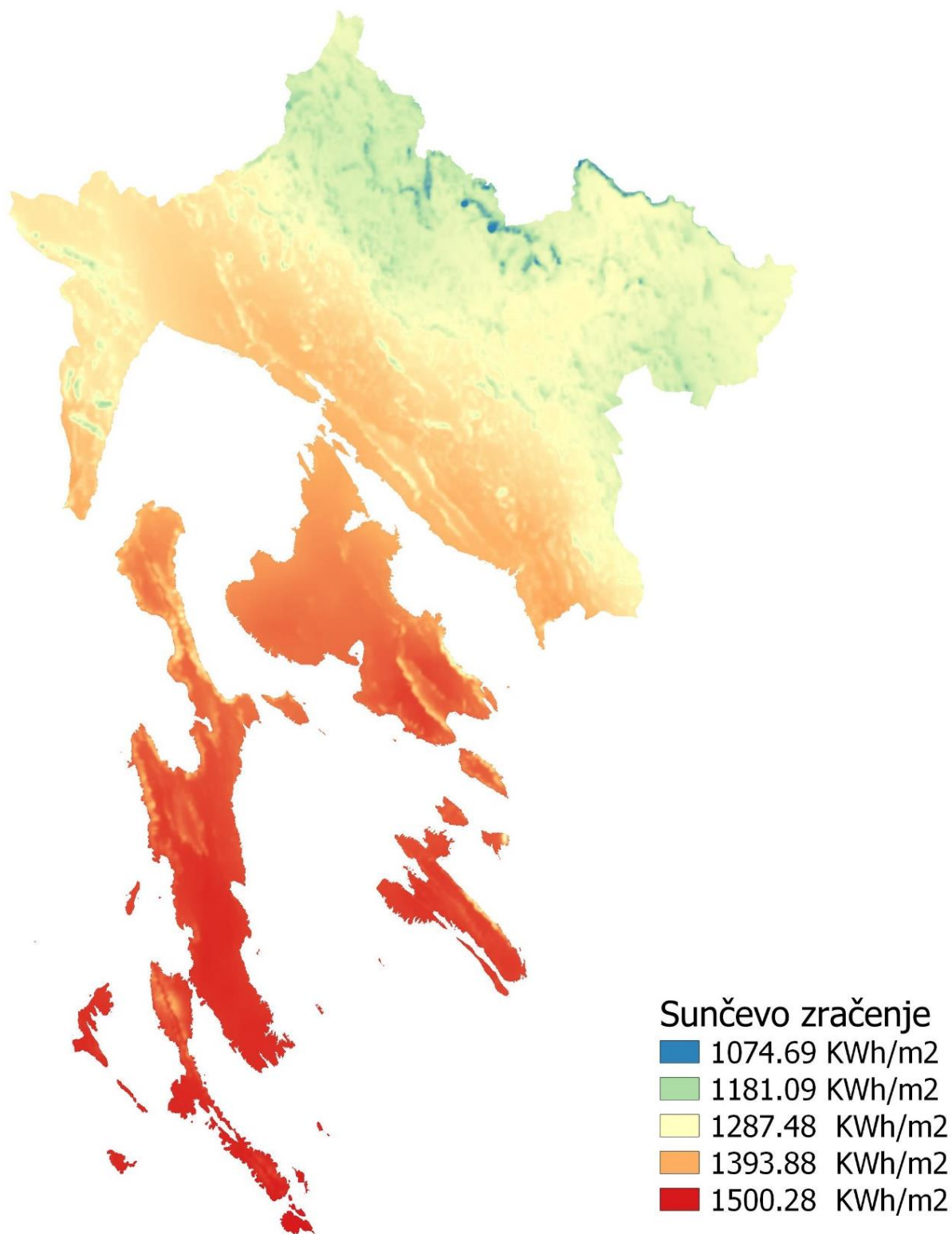


Slika 17: Nagib terena

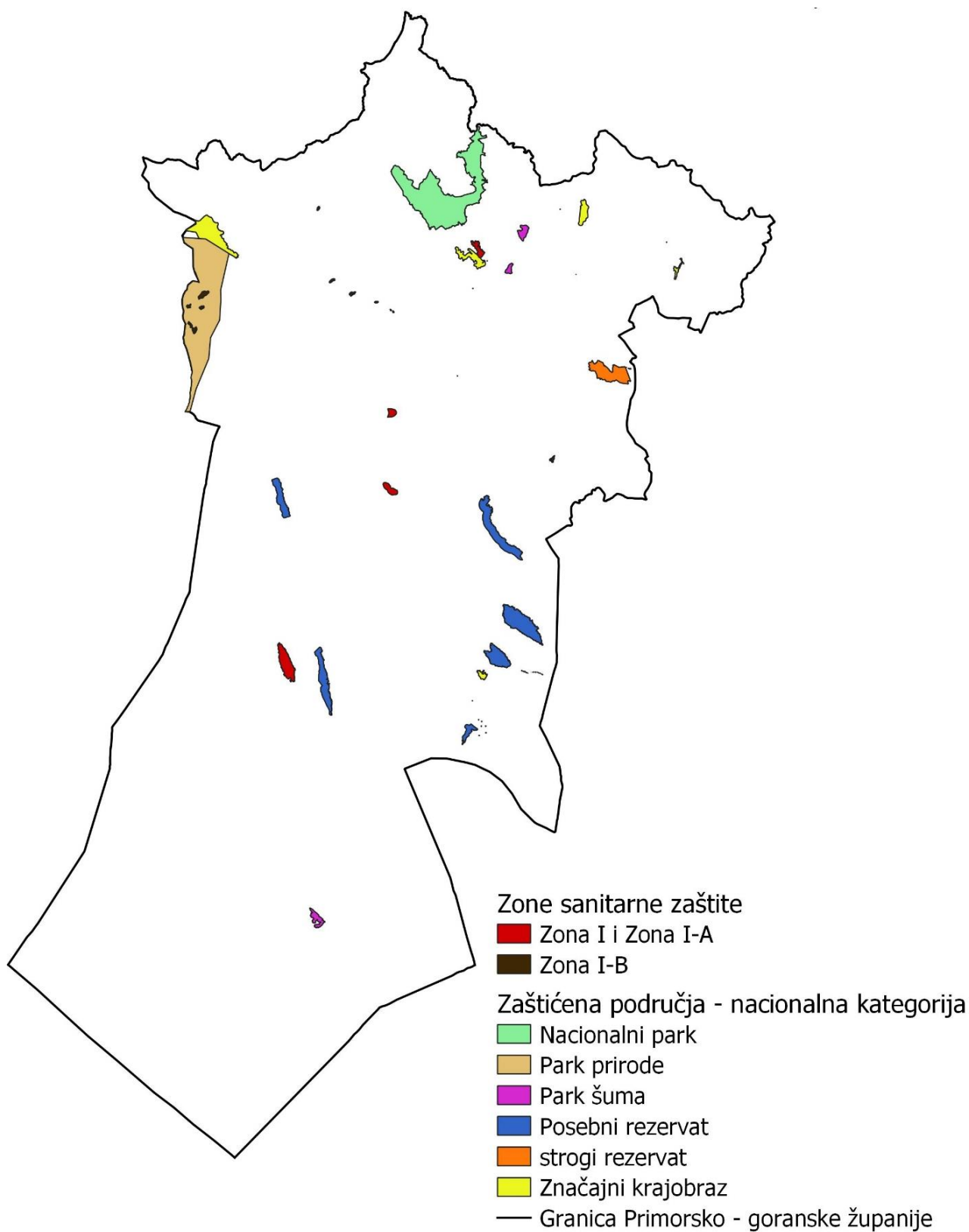




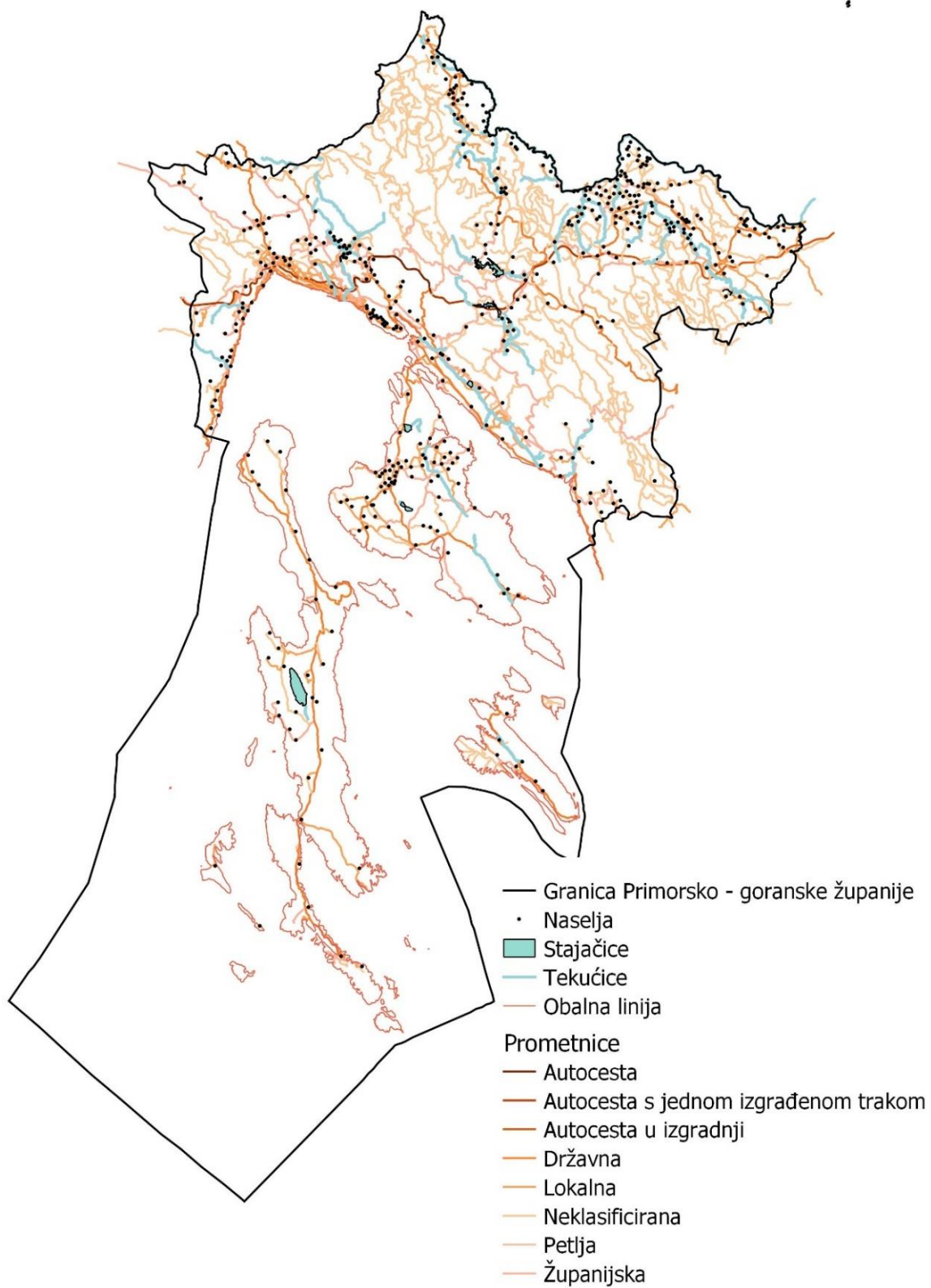
Slika 18: Smjer nagiba terena



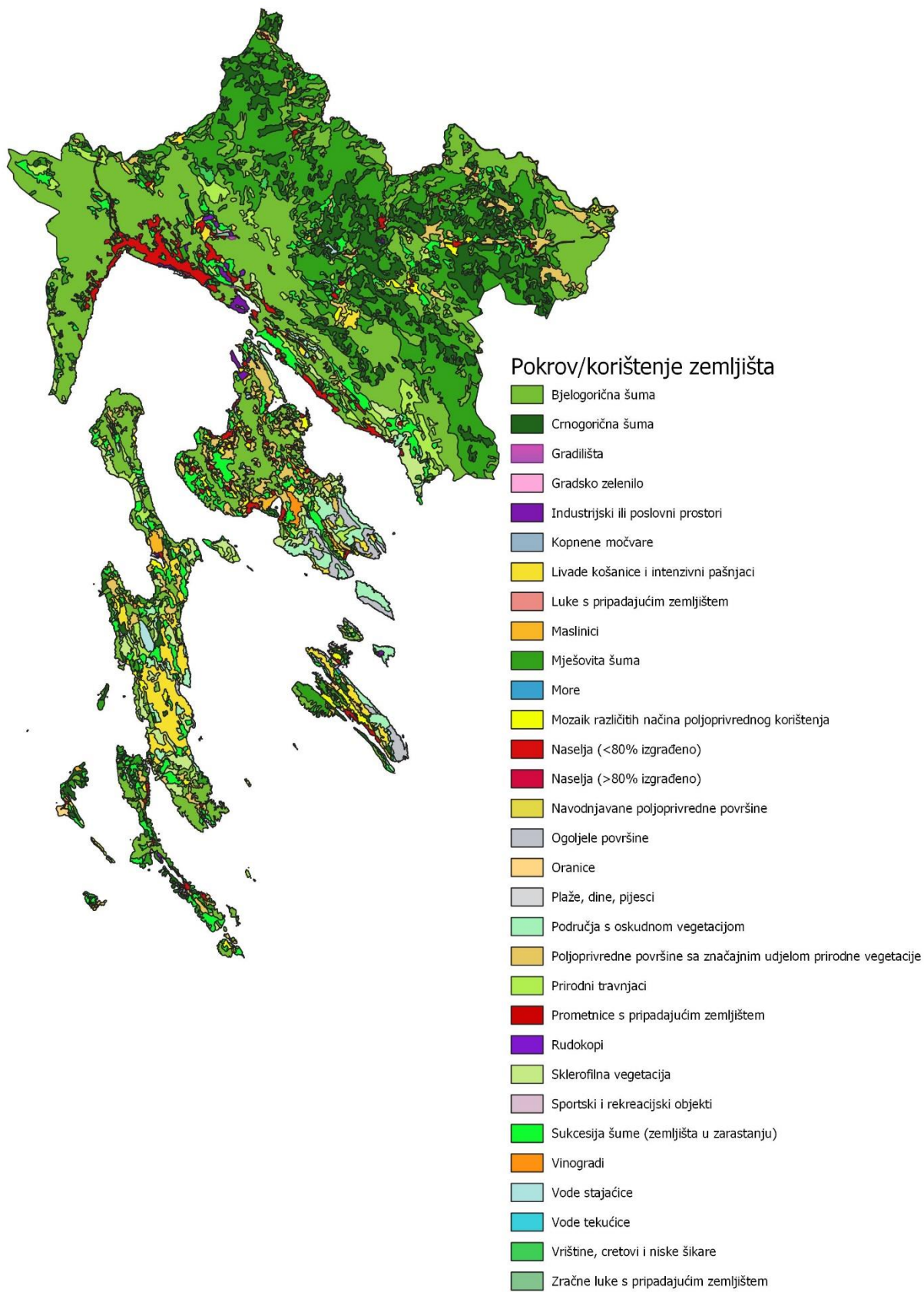
Slika 19: Globalno horizontalno sunčevo zračenje (izvor: The World Bank, 2019, Global Solar Atlas 2.0, Solar resource data: Solargis; <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/croatia>)



Slika 20: Zaštićena područja



Slika 21: Topografija područja



Slika 22: Pokrov/korištenje zemljišta (izvor: CORINE Land Cover Hrvatska, 2012)

### 3.3. Metodologija

Metodološki pristup se, s obzirom na ulazne podatke, provodi u dvije faze:

1. **faza:** analiza podataka koji istraživano područje dijele samo na dvije klase – povoljno i nepovoljno i ne koriste se u AHP metodi (Tablica 5);
2. **faza:** analiza podataka koji više ili manje pridonose pogodnosti područja za izgradnju solarnih elektrana i koriste se u AHP metodi (Tablica 6).

*Tablica 5: Područja koja ne ulaze u obzir za izgradnju solarnih parkova*

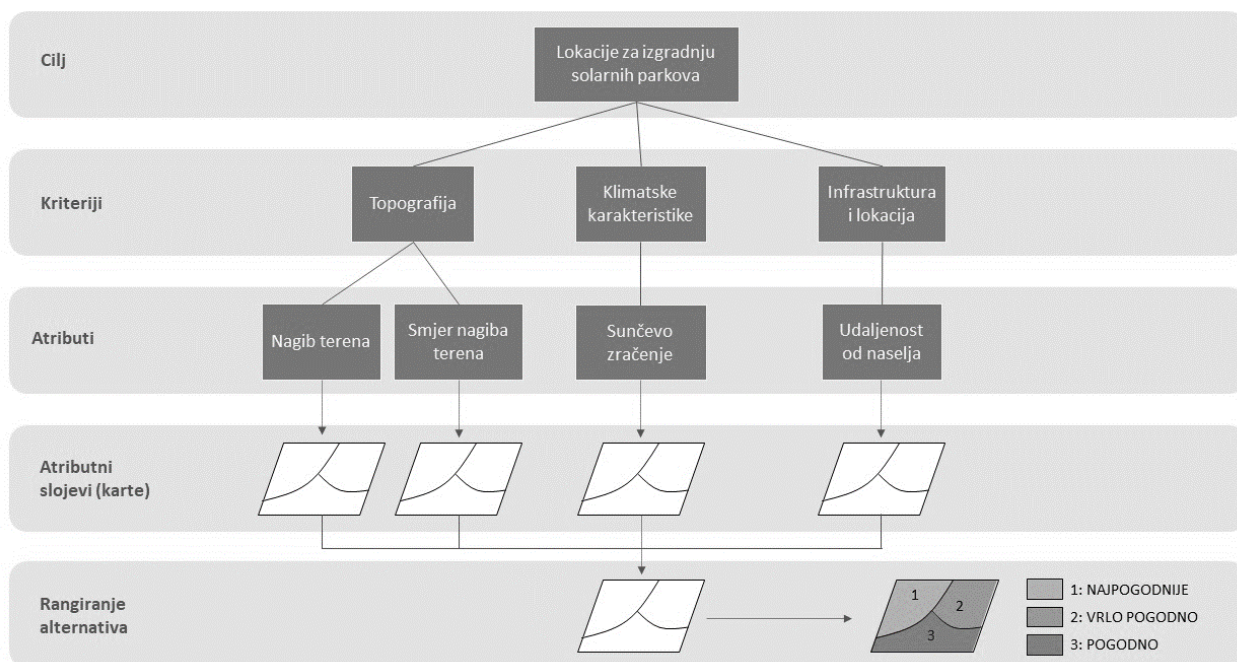
Podloga	Kriteriji	Referenca
Prometnice	< 500 m	Mierzwiak i Calka, 2017
Naselja	< 500 m	-
Pokrov/korištenje zemljišta	Naselja, industrijski ili poslovni prostori, šume, vodene površine, obalne lagune, plaže, luke i pripadajuće zemljište, dine, pijesci, kopnene močvare, slane močvare, vinogradi, maslinici, poljoprivredne površine, livade košarice i pašnjaci, gradsko zelenilo, rudokopi, sportski i rekreacijski objekti, voćnjaci, zračne luke, gradilišta	Janke (2010)
Zaštićena područja	Zone sanitarne zaštite (I zona), zaštićena područja prema Zakonu o zaštiti prirode	Pravilnik o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta, NN 55/02; Zakon o zaštiti prirode, NN 80/13, 15/18, 14/19, 127/19
Državna granica	< 1000 m	OIKON, 2010
Obalno područje mora	≤ 1000 m	Prostorni plan PGŽ, SN 32/13
Obalno područje kopnenih voda	≤ 100 m	Prostorni plan PGŽ, SN 32/13

Tablica 6: Područja koja ulaze u obzir za izgradnju solarnih parkova

Podloga	Kriterij	Referenca
Nagib terena	< 2° (ravno) 2° - 5° (blagi nagib) 5° - 10° (umjereni nagib) >10° (strmo)	
Smjer nagiba terena	0° - 22.5° (S) 22.5° - 67.5° (SI) 67.5° - 112.5° (I) 112.5° - 157.5° (JI) 157.5° - 202.5° (J) 202.5° - 247.5° (JZ) 247.5° - 292.5° (Z) 292.5° - 337.5° (SZ) 337.5° - 360° (S)	
Solarno zračenje	< 1.25 MWh/m <sup>2</sup> 1.25 – 1.30 MWh/m <sup>2</sup> 1.30 – 1.35 MWh/m <sup>2</sup> 1.35 – 1.40 MWh/m <sup>2</sup> > 1.40 MWh/m <sup>2</sup>	OIKON, 2010
Udaljenost od naselja	500 – 5000 m 5000 – 10000 m > 10000 m	

U prvoj fazi su jednostavnim algoritmom izdvojena područja koja ne ulaze u obzir za izgradnju solarnih parkova (Tablica 5).

Proceduru provedbe analize u drugoj fazi potrebno je pažljivo osmisliti sukladno hijerarhijskom pristupu opisanom na slici 15. Prije svega, treba definirati cilj analize. U ovom slučaju, to je odabir najpogodnijih lokacija za izgradnju solarnog parka na području Primorsko-goranske županije (Slika 23). Nakon toga, određuju se kriteriji. Prilikom odabira kriterija, bitno je uzeti u obzir sve stavke koje bi mogle utjecati na krajnji rezultat. Za izgradnju solarnih parkova u obzir treba uzeti topografiju, klimatske karakteristike te infrastrukturu i lokaciju. Ukoliko se pogleda detaljnije, bitni su nagib terena, smjer nagiba terena, sunčevo zračenje, udaljenost od naselja te udaljenost od prometnica. U GIS okruženju, alternative AHP metode su atributi odnosno atributni slojevi u formi karata. Rangiranjem alternativa dobiva se traženi rezultat.



Slika 23: Hijerarhija postupka odlučivanja u GIS okruženju (prilagođeno prema: Malczewski, 1999)

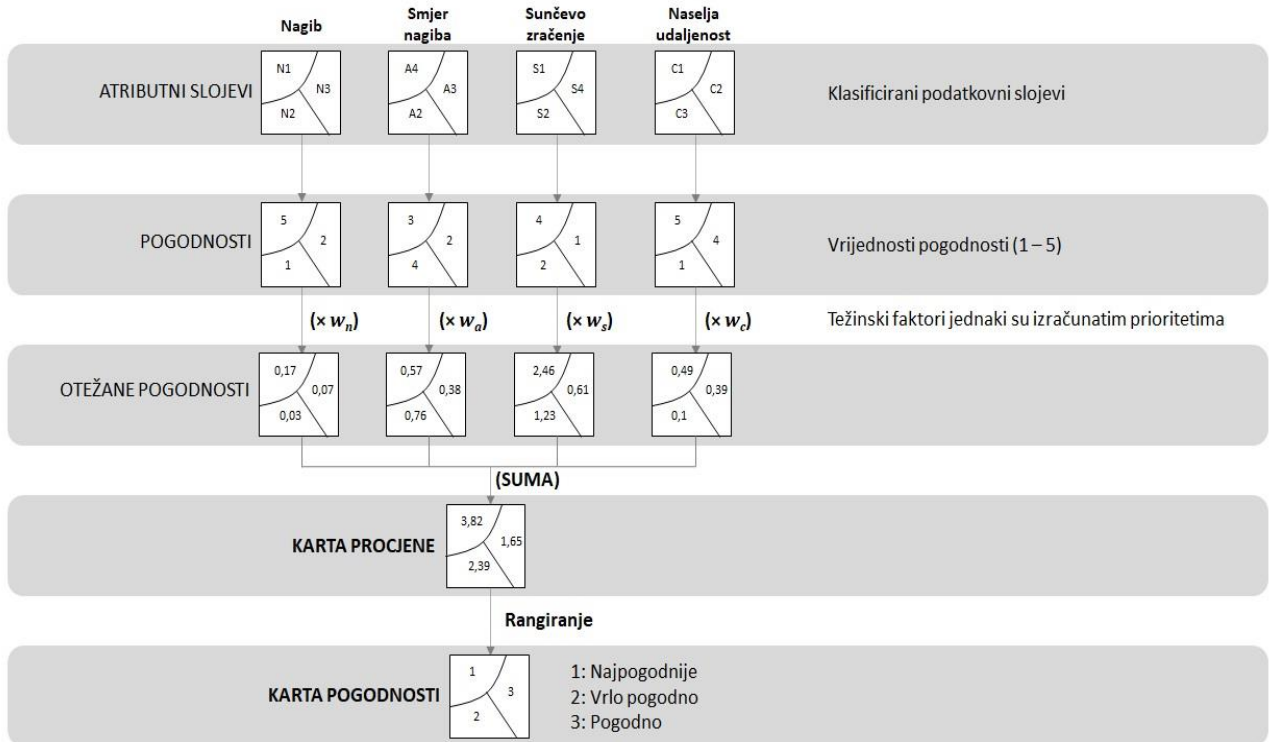
Izradom hijerarhije AHP procedure, lako je uvidjeti koje je daljnje korake potrebno poduzeti. Nakon što se definiraju kriteriji, potrebno je usporediti parove kriterija u ovisnosti o postavljenom cilju te im dodijeliti odgovarajuće intenzitete važnosti prema Saatyjevoj skali. Tako nastaju matrice usporedbe na temelju kojih se za svaki kriterij pomoću AHP kalkulatora proračunava prioritet u odnosu na postavljeni cilj. Posljednji korak je provjera konzistentnosti dodijeljenih intenziteta važnosti te se u tu svrhu izračunava tzv. omjer konzistentnosti (CR). Da bi dodijeljeni intenziteti važnosti i izračunati prioriteti bili valjani, vrijednost koeficijenta ne smije prelaziti 0,1. Vrijednosti veće od 0,1 upućuju na nekonzistentnost ulaznih podataka odnosno dodijeljenih intenziteta važnosti pojedinim kriterijima i postupak se ponavlja.

Postupak procjene konačne karte pogodnosti shematski je prikazan na slici 24. Ulazni atributni slojevi mogu biti kvalitativni i kvantitativni te ih nije moguće usporediti i ocijeniti u izvornom obliku. Da bi međusobno bili usporedivi, nužno ih je svesti na zajednički nazivnik odnosno dodijeliti im se vrijednosti iz zajedničke domene. Stoga se svi ulazni atributni slojevi klasificiraju na klase pogodnosti koje se ocjenjuju vrijednostima od 0 do 5.

Tako dobivene pojedinačne karte ne utječu podjednako na konačni rezultat. Značaj tog utjecaja regulira se množenjem s težinskim koeficijentima koji su jednaki prethodno izračunatim prioritetima za pripadajući atributni sloj. Rezultat su karte otežanih pogodnosti. Njihov zbroj



rezultat će ukupnom kartom procjene odnosno konačnom kartom pogodnosti nakon provedene klasifikacije (Slika 24).



Slika 24: Shematski prikaz proračuna karte pogodnosti

## 4. REZULTATI

### 4.1. Klasifikacija i reklasifikacija atributnih slojeva

Ulazni podaci prve faze klasificirani su prema kriterijima navedenim u tablici 6.

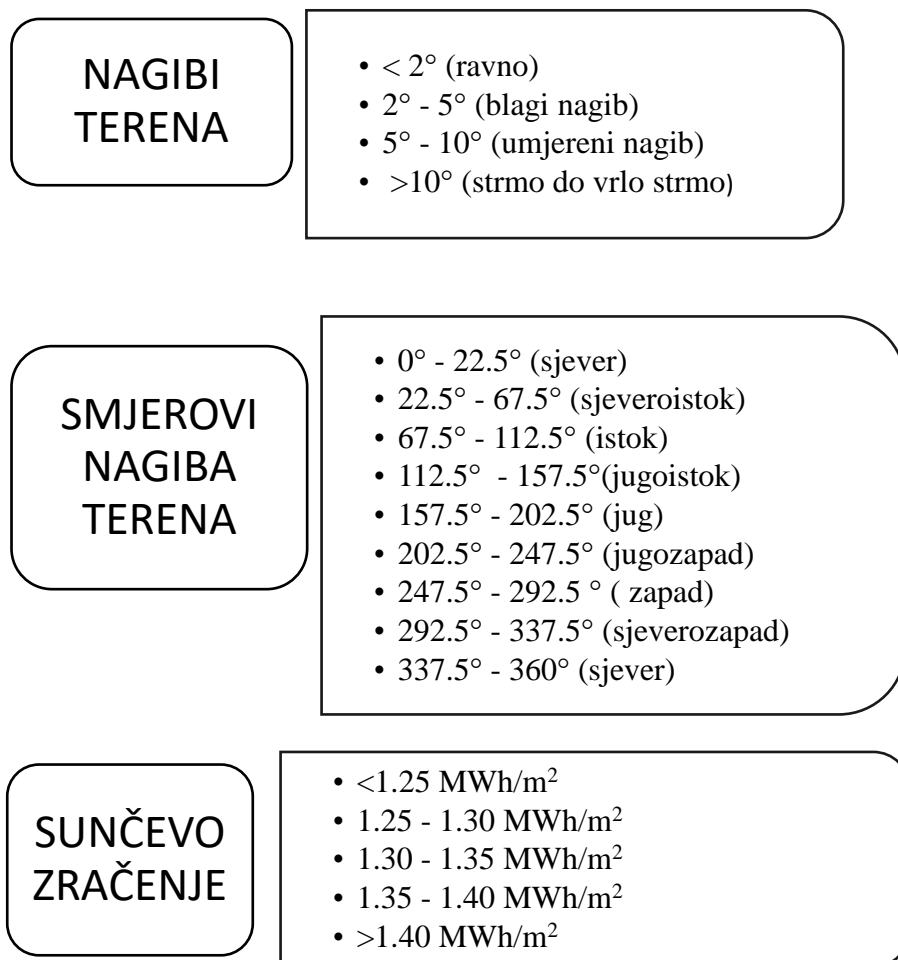
Kako nije moguća gradnja na uskom području uz obalnu liniju, granica, prometnice, tekućice i stajaćice, ta su područja označena kao nepogodna dok su sva ostala područja definirana kao pogodna. Tako su za sve navedeno u obzir uzeta područja na udaljenosti većoj od 100 m, osim za područje uz državnu granicu gdje je minimalna udaljenost 1000 m.

Kod pokrova/korištenja zemljišta, u područja koja su pogodna za gradnju izdvojene su: ogoljele površine, područja s oskudnom vegetacijom, prirodni travnjaci, sklerofilna vegetacija, sukcesija šume (zemljišta u zarastanju), vrištine, cretovi i niske šikare, livade košarice i intenzivni pašnjaci, mozaik različitih načina poljoprivrednog korištenja te poljoprivredne površine sa značajnim udjelom prirodne vegetacije.

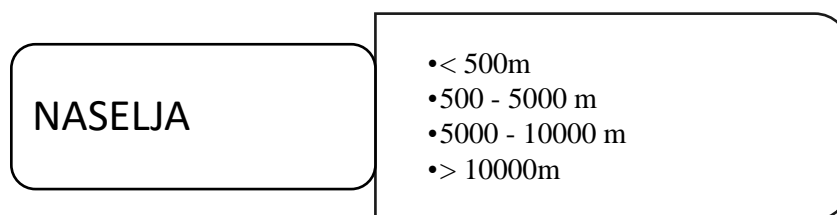
Zone sanitarne zaštite također je potrebno podijeliti na pogodna i nepogodna područja. Sve zone osim 1. zone zaštite, gdje spadaju područja zaštite izvorišta pitke vode (zona: I, I-A i I-B), pogodne su za gradnju.

Sva zaštićena područja smještena unutar istraživanog područja su nepogodna za gradnju i izdvojena iz daljnje analize.

Priprema podataka za AHP metodu u drugoj fazi metodološkog pristupa odnosi se na klasifikaciju postojećih podataka na područja na kojima se može primijeniti zadani kriterij pogodnosti, bilo da je riječ o rasterskim ili vektorskim podacima. Rezultat klasifikacije su klase navedene u Tablici 6 i na Slikama 25 i 26.



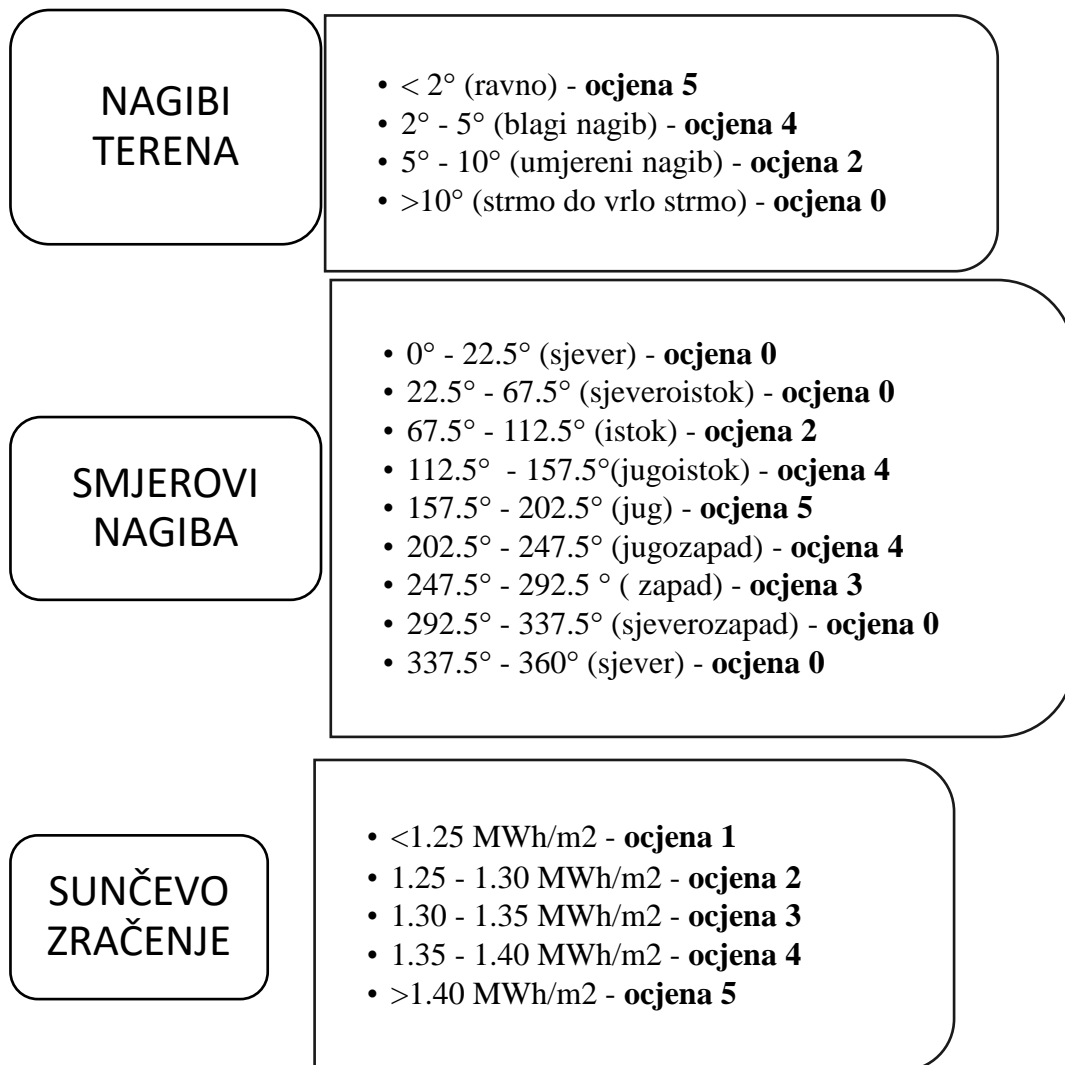
Slika 25: Klasifikacija rasterskih podataka: nagibi terena, smjerovi nagiba terena i Sunčevo zračenje



Slika 26: Klasifikacija vektorskih podataka o naseljima

## 4.2. Definiranje pogodnosti alternativa atributa

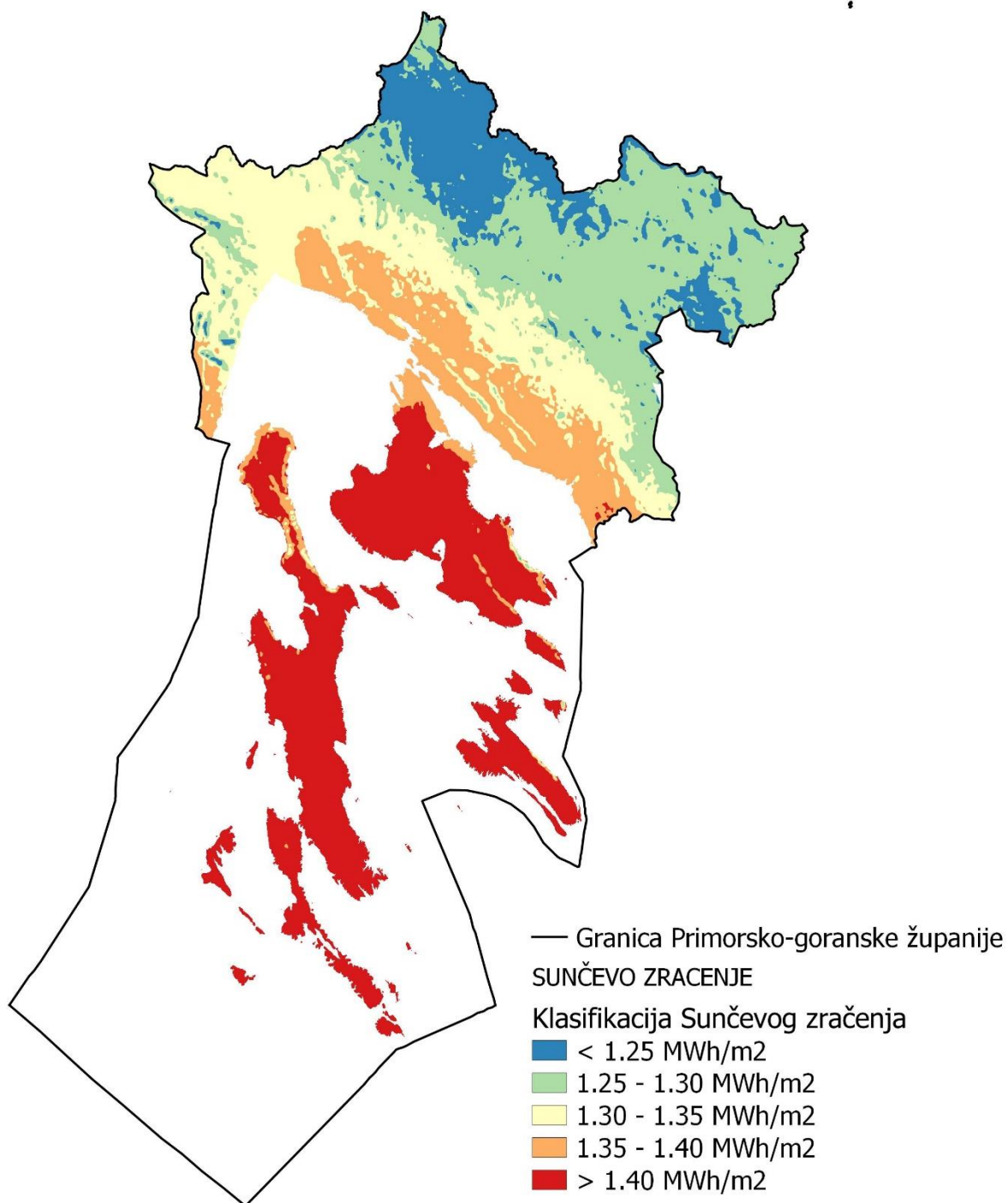
Nisu svi dijelovi istraživanog područja podjednako pogodni za gradnju solarnih elektrana. Prema tome, potrebno prethodno definirane klase potrebno je reklasificirati na stupanj pogodnosti u rasponu vrijednosti 0 – 5 gdje 0 označava nepogodno, a 5 izrazito pogodno. U tom smislu, područja koja su najviše ocjenjena u ovom modelu, predstavljaju najprivlačnije lokacije. (Slika 27).



Slika 27: Prikaz dodijeljenih ocjena prema važnosti

Podrazumijeva se da je potencijal Sunčevog zračenja najvažniji kriterij za odabir lokacije solarnog parka. Najosunčanija područja će biti ocijenjena kao najpogodnija, ocjenom 5, dok su

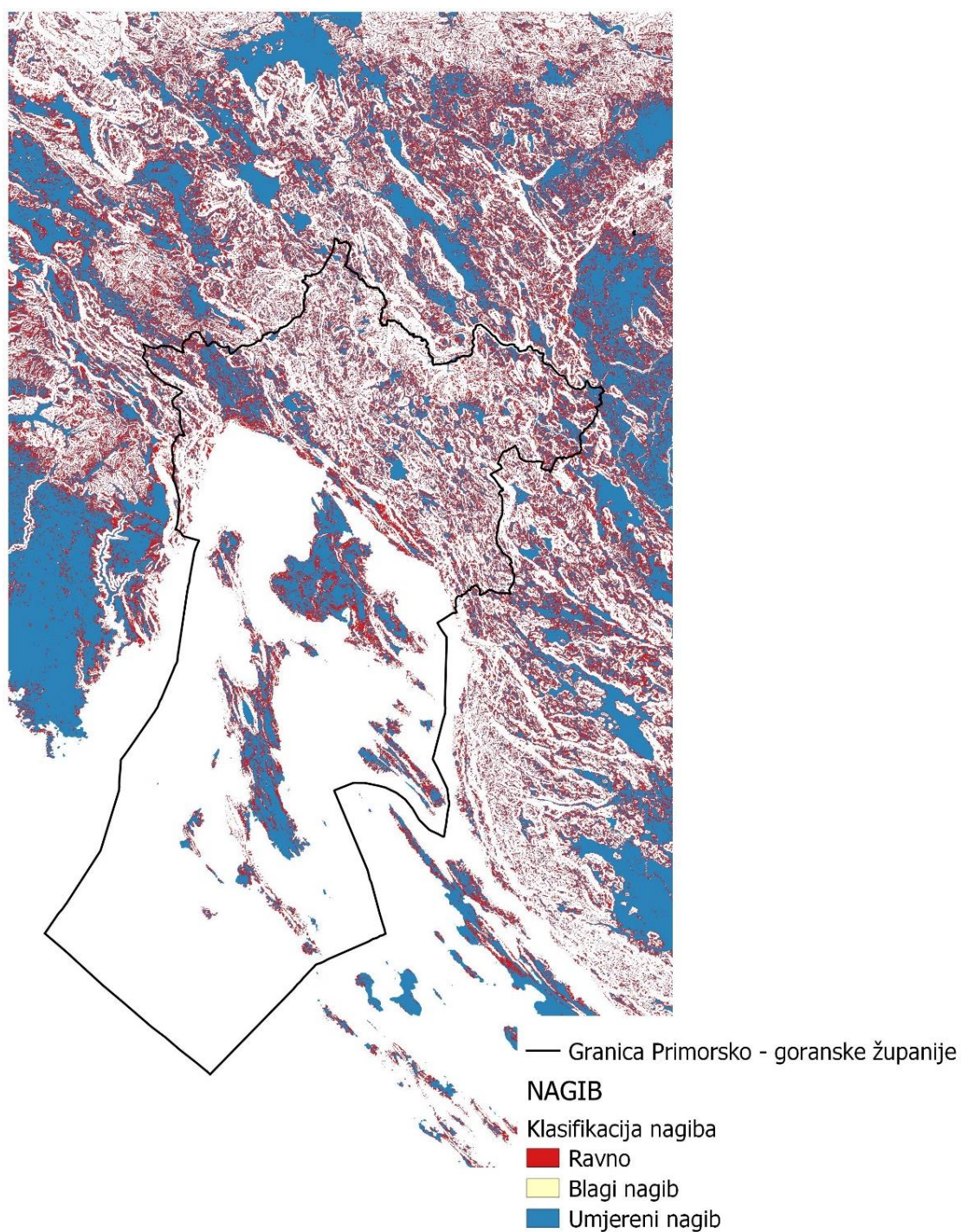
najmanje osunčana područja najnepogodnija za gradnju, te dobivaju najnižu ocjenu. Kao što je vidljivo na Slici 28., otoci imaju najveći potencijal Sunčevog zračenja, dok najmanji Sunčev potencijal imaju sjeverni i središnji dijelovi Gorskog kotara.



Slika 28: Klasifikacija Sunčevog zračenja za Primorsko-goransku županiju

Reljef, uz Sunčevo zračenje predstavlja najvažniji kriterij. Ovisno o raznim reljefnim oblicima i nagibima, nije svako područje jednako pogodno te se iz tog razloga nagib i smjer nagiba također dijele prema pogodnosti.

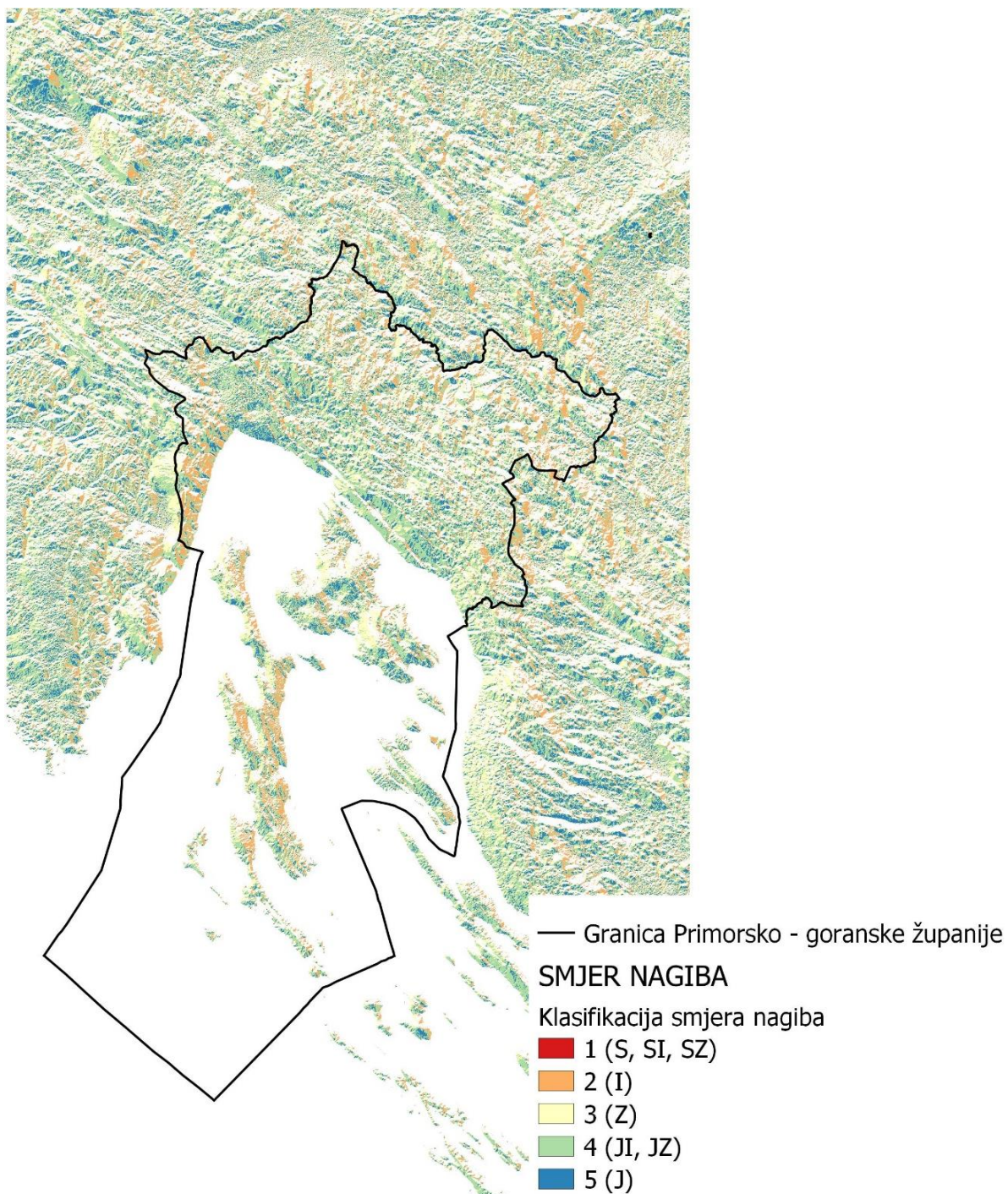
Prilikom dodjeljivanja ocjena za nagib terena, ravni teren, kao najpogodniji za izgradnju solarnih parkova, ocjenjuje se ocjenom 5. Blagi nagib je također relativno pogodan te se kao takvome dodjeljuje ocjena 4. Umjereni nagib nije pretjerano pogodan te dobiva ocjenu 2. Svi nagibi veći od  $10^\circ$  smatraju se nepogodnima te se vrednuju ocjenom 0. Dobiva se karta sa prihvatljivim nagibima, koja ne ulaze u daljnju analizu (Slika 29.).



Slika 29: Klasifikacija nagiba terena za Primorsko goransku županiju

Kako bi se Sunčevo zračenje u potpunosti iskoristilo, smjer nagiba terena također ima vrlo veliku ulogu. Najpovoljnija je situacija kada je smjer nagiba terena prema jugu. Takva područja dobivaju najpovoljniju ocjenu - 5. Kao vrlo pogodna područja mogu se ubrojiti ona koja imaju

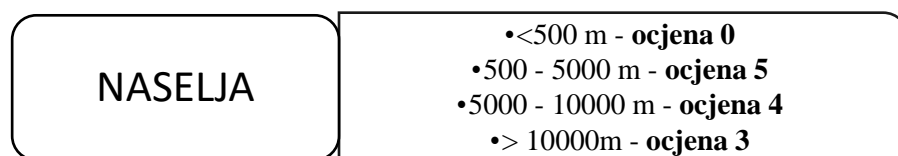
smjer nagiba prema jugoistoku te jugozapadu, ocjena 4. Smjer nagiba prema zapadu nešto je povoljniji nego onaj prema istoku, iz tog razloga zapad se ocjenjuje ocjenom 3, a istok ocjenom 2. Sva ostala područja (sjever, sjeveroistok i sjeverozapad) smatraju se nepogodnima za izgradnju solarnih parkova te im se dodjeljuje ocjena 1 (Slika 30.).



Slika 30: Klasifikacija smjerova nagiba za Primorsko goransku županiju

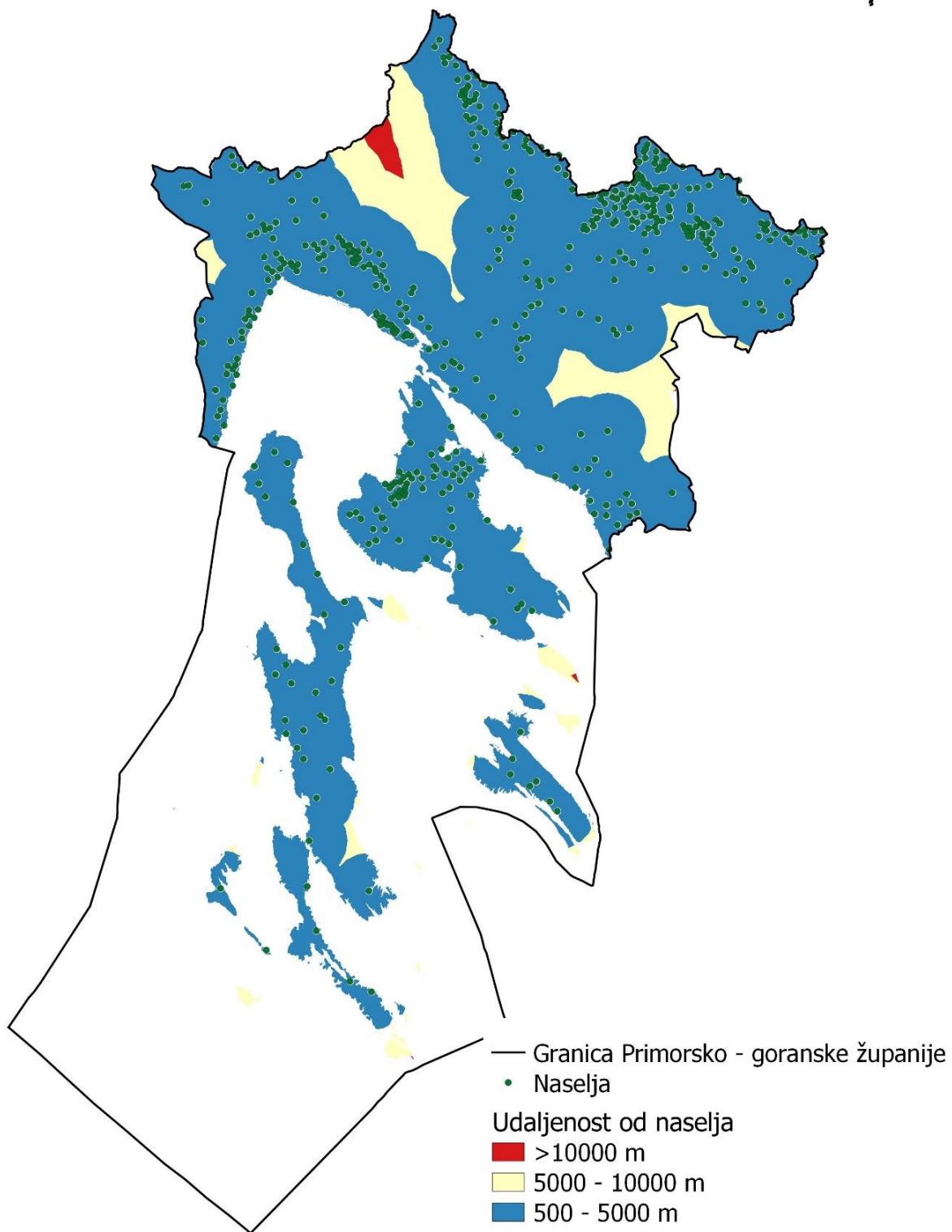


Solarne parkove poželjno je smjestiti u blizini naselja, kako bi bili što bliže industrijskim i poslovnim prostorima, postojećim energetske infrastrukturalama (plinovod, naftovod, produkovod), dalekovodima i trafostanicama. Uzimajući to u obzir, područja koja su na udaljenosti 500 do 5000 metara od centra naselja smatraju se najpogodnija te im se dodjeljuje ocjena 5. Udaljenost od 5000 do 10000 metara također je dosta pogodna, iz tog razloga dobiva ocjenu 4. Područja koja su na udaljenosti većoj od 10000 metara, relativno su pogodna te dobivaju ocjenu 3, dok se područja na udaljenosti manjoj od 500 metara smatraju nepogodnima te dobivaju ocjenu 0 (Slika 31.).



Slika 31: Prikaz dodijeljenih ocjena za udaljenosti od naselja

Dodijeljene pogodnosti mogu se vidjeti na Slici 32., gdje plava boja predstavlja najpogodnija područja, odnosno područja koja su na udaljenosti <500 m od naselja.



Slika 32: Karta pogodnosti za udaljenosti od naselja za Primorsko-goransku županiju

### 4.3. Određivanje intenziteta važnosti i prioriteta

Matricu usporedbe čine intenziteti važnosti dodijeljeni pojedinim parovima kriterija. U ovom je slučaju definirano 4 kriterija

Kriteriji su podijeljeni u četiri kategorije:

- K<sub>1</sub> : Sunčevo zračenje,
- K<sub>2</sub> : Nagib terena,
- K<sub>3</sub> : Smjer nagiba terena i
- K<sub>4</sub> : Udaljenost od naselja.

Svako slaganje kriterija vrši se davanjem ocjena prema Saatyevoj skali, što je prikazano u Tablici 5.

Potrebno je usporediti parove kriterija u ovisnosti o postavljenom cilju. Uspoređuju se Sunčevo zračenje i nagib terena, Sunčevo zračenje i smjer nagiba terena, Sunčevo zračenje i udaljenost od naselja, nagib terena i smjer nagiba terena, nagib terena i udaljenost od naselja te smjer nagiba terena i udaljenost od naselja (Tablica 7, Slika 33.).

Tablica 7: Dodijeljeni intenziteti važnosti po parovima kriterija

Parovi kriterija			
Kriterij 1	Intenzitet važnosti	Kriterij 2	Intenzitet važnosti
K1	9	K2	1
K1	5	K3	1
K1	7	K4	1
K2	1	K3	4
K2	1	K4	3
K3	4	K4	1

K1 – Sunčevo zračenje

K2 – nagib terena

K3 – smjer nagiba terena

K4 – udaljenost od naselja

A - wrt AHP priorities - or B?		Equal	How much more?								
1	<input checked="" type="radio"/> Sunčevo zračenje	<input type="radio"/> Nagib terena	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input checked="" type="radio"/> 9
2	<input checked="" type="radio"/> Sunčevo zračenje	<input type="radio"/> Smjer nagiba terena	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
3	<input checked="" type="radio"/> Sunčevo zračenje	<input type="radio"/> Udaljenost od naselja	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input checked="" type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
4	<input type="radio"/> Nagib terena	<input checked="" type="radio"/> Smjer nagiba terena	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input checked="" type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
5	<input type="radio"/> Nagib terena	<input checked="" type="radio"/> Udaljenost od naselja	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
6	<input checked="" type="radio"/> Smjer nagiba terena	<input type="radio"/> Udaljenost od naselja	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input checked="" type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
CR = 8.6% OK											
<input type="button" value="Calculate"/>			<input type="button" value="Download_(.csv)"/> <input type="checkbox"/> dec. comma								

AHP Scale: 1- Equal Importance, 3- Moderate importance, 5- Strong importance, 7- Very strong importance, 9- Extreme importance (2,4,6,8 values in-between).

Slika 33: Intenziteti važnosti parova kriterija u AHP kalkulator (<https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>)

Usporedba kriterija i obrazloženje su prikazani u nastavku:

- **Kriterij 1 i Kriterij 2** – Nagib terena je bitan za odabir lokacije gradnje solarnog parka, međutim u usporedbi sa Sunčevim zračenjem može se reći da je zanemarivo. Sunčevo zračenje se izrazito favorizira u odnosu na nagib terena te mu je iz tog razloga dodijeljena ocjena 9.
- **Kriterij 1 i Kriterij 3** – Za smjer nagiba terena može se reći da je najbitniji nakon Sunčevog zračenja, no još uvijek je Sunčevo zračenje važnije. Iz tog razloga, Sunčevom zračenju dodjeljuje se ocjena 5.
- **Kriterij 1 i Kriterij 4** – Udaljenost od naselja nešto je bitnija u odnosu na nagib terena, ali i dalje je Sunčevo zračenje dominantnog značaja. Prema tome, Sunčevom zračenju dodjeljuje se ocjena 7.
- **Kriterij 2 i Kriterij 3** - Smjer nagiba terena u odnosu na nagib terena ima određenu dominaciju. Obzirom da se nije striktno moglo odrediti je li dominacija slaba ili jaka, iskorištena je međuvrijednost te je smjeru nagiba dodijeljena ocjena 4.
- **Kriterij 2 i Kriterij 4** – Udaljenost od naselja ima neznčajnu dominaciju o odnosu na nagib terena, te je ovom kriteriju dodijeljena ocjena 3.
- **Kriterij 3 i Kriterij 4** – Smjer nagiba terena u ovom slučaju dobiva međuvrijednosnu ocjenu 4, iz razloga što je dominantan u odnosu na udaljenost od naselja.

Tako određeni intenziteti važnosti unose se u matricu usporedbe na način jedinstven za AHP. Za svaki uspoređeni par, broj koji predstavlja veći intenzitet važnosti, prenosi se u ćeliju jače alternative promatranog para, a njegova recipročna vrijednost u ćeliju slabije alternative u paru. Izgled matrice prikazan je u Tablici 8:

*Tablica 8: Matrica usporedbe*

<b>KRITERIJI</b>	<b>Sunčevo zračenje</b>	<b>Nagib terena</b>	<b>Smjer nagiba terena</b>	<b>Udaljenost od naselja</b>
<b>Sunčevo zračenje</b>	1	9	5	7
<b>Nagib terena</b>	1/9	1	1/4	1/3
<b>Smjer nagiba terena</b>	1/5	4	1	4
<b>Udaljenost od naselja</b>	1/7	3	1/4	1

Proračunom matrice dobivaju se prioriteti (Slika 34.). Zbroj prioriteta mora biti jednak 1, a omjer konzistentnosti  $CR \leq 0.1$ . Budući da je  $CR = 0,086$ , uvjet konzistentnosti je zadovoljen.

## Resulting Priorities

### Priorities

These are the resulting weights for the criteria based on your pairwise comparisons:

Cat		Priority	Rank	(+)	(-)
1	Sunčevo zračenje	65.2%	1	24.6%	24.6%
2	Nagib terena	4.8%	4	1.7%	1.7%
3	Smjer nagiba terena	21.0%	2	9.1%	9.1%
4	Udaljenost od naselja	9.0%	3	3.5%	3.5%

Number of comparisons = 6  
Consistency Ratio CR = 8.6%

### Decision Matrix

The resulting weights are based on the principal eigenvector of the decision matrix:

	1	2	3	4
1	1	9.00	5.00	7.00
2	0.11	1	0.25	0.33
3	0.20	4.00	1	4.00
4	0.14	3.00	0.25	1

Principal eigen value = 4.234  
Eigenvector solution: 6 iterations, delta = 2.2E-9

Slika 34: Dobiveni prioriteti nakon proračuna u AHP kalkulatoru (<https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>)

Kao što je vidljivo sa slike, dobivene vrijednosti prioriteta su sljedeće:

- sunčevo zračenje – 0.652,
- nagib terena – 0.048,
- smjer nagiba – 0.21 i
- udaljenost od naselja – 0.09.

#### 4.4. Preklapanje otežanih karata pogodnosti atributa

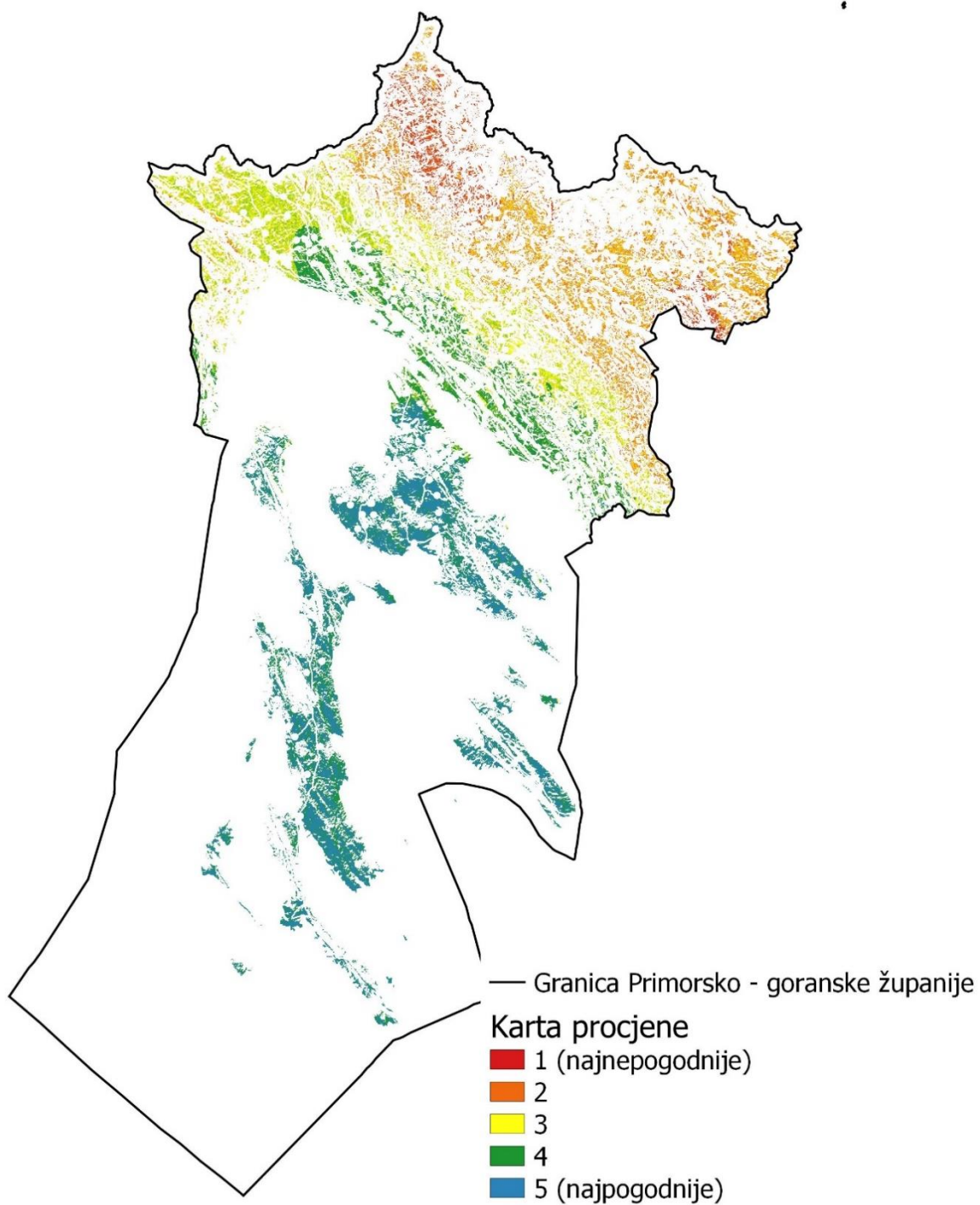
Dobivene vrijednosti prioriteta su težinski koeficijenti koji se množe s pripadajućim kartama pogodnosti. Na taj način dobivamo karte otežanih pogodnosti čijim zbrajanjem dobivamo kartu procjene.

Prije nego što se te karte zbroje, potrebno je uzeti u obzir i područja na kojima nije moguća gradnja, odnosno područja izdvojena kao nepogodna u prvoj fazi procjene (Tablica 6). Kao što je i prije navedeno, tu spadaju prometnice, tekućice, stajaćice, obalna linija, državna granica, zone sanitarne zaštite. Sve te vektorske slojeve potrebno je rasterizirati te svaki rasterski sloj zbrojiti kako bismo dobili novi rasterski sloj i on obuhvaća sva područja koja ne smiju ući u obzir za drugu fazu procjene (Slika 35.).



Slika 35: Objedinjena karta svih područja na kojima nije dozvoljena gradnja

Idući korak je preklapanje svih karata otežanih pogodnosti i objedinjene karte područja na kojima nije dozvoljena gradnja. Dobiva se karta procjene, koja je prikazana na Slici 34.

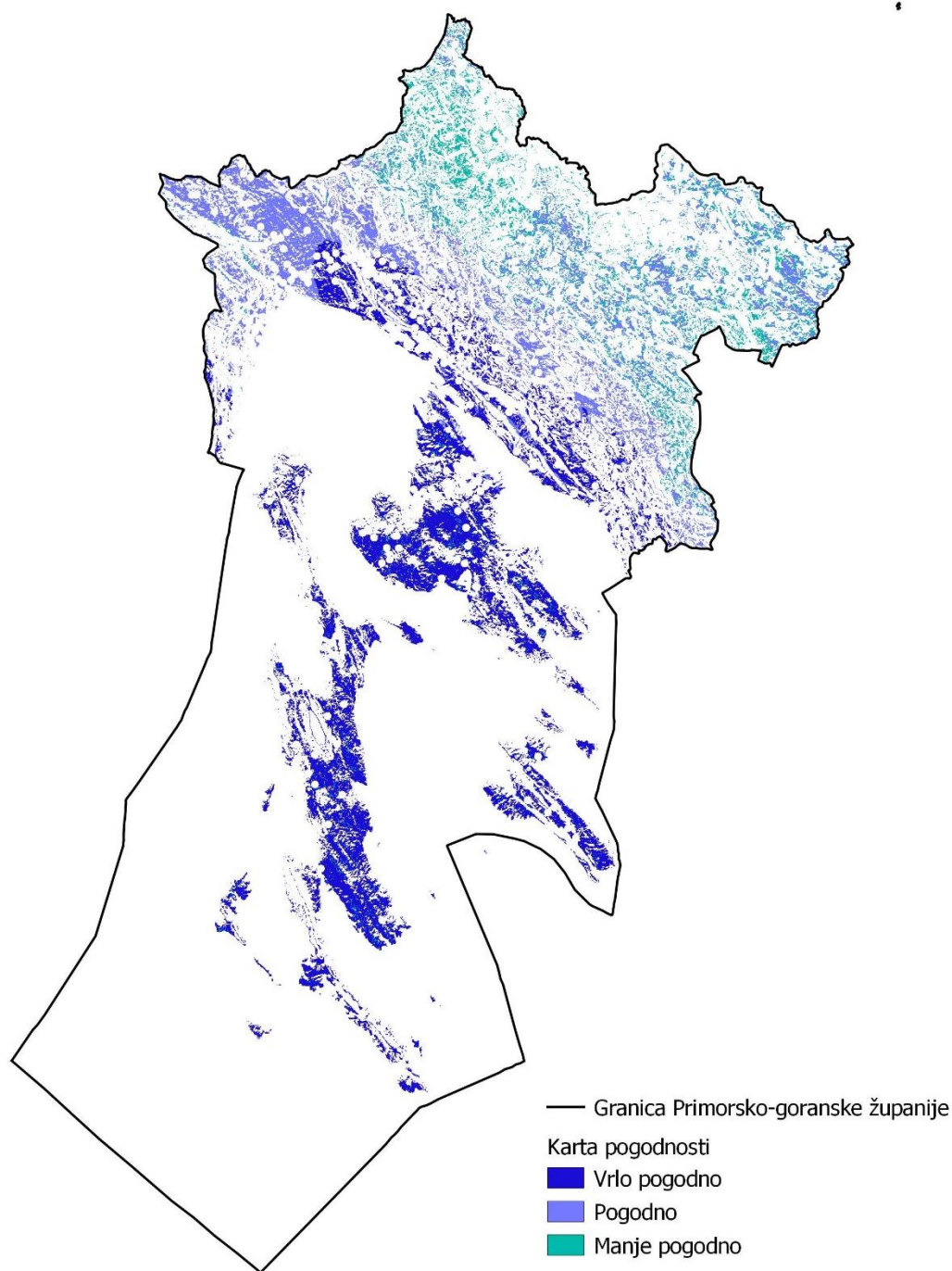


Slika 36: Karta procjene



#### 4.5. Određivanje konačne karte pogodnosti područja za izgradnju solarnih parkova

Dobivenu kartu procjene potrebno je klasificirati u tri klase. Na taj način dobivamo područja koja su pogodna, vrlo pogodna ili najpogodnija za izgradnju solarnih parkova (Slika 37.).



Slika 37: Konačna karta pogodnosti

Vrlo pogodna su područja za izgradnju solarnih parkova su na otocima i priobalju. Sva područja uz more su pogodna, dok gorska područja spadaju u klasu manje pogodnih.

## 5. ZAKLJUČAK

Posljednjih godina sve se više pažnje pridaje obnovljivim izvorima energije. Proučavaju se načini i lokacije kako bi se na što učinkovitiji način i iskoristili. Neovisno o tome radi li se o Sunčevom zračenju ili nekom drugom obliku obnovljivog izvora energije, neupitno je da se njihovim korištenjem pridonosi razvoju gradova, ali i očuvanju okoliša.

Kako bi se odabrala pogodna lokacija na području Primorsko-goranske županije, primijenjena je višekriterijska analiza odnosno AHP metoda. Ovakav pristup pokazao se vrlo učinkovit u rješavanju složenih problema poput procjene pogodnosti zemljišta za izgradnju infrastrukture, uključujući i izgradnju solarnih parkova, jer omogućuje analizu velikog broja čimbenika koji utječu na pogodnost zemljišta.

U određivanju pogodnosti lokacija za izgradnju solarnih parkova najvažnije je Sunčevo zračenje odnosno ozračenost površine jer ono upućuje na solarni potencijal tog područja. Minimalni solarni potencijal negativno bi utjecao na isplativost izgradnje solarnih parkova budući da je riječ o vrlo skupim i složenim sustavima. Solarni potencijal Primorsko-goranske županije varira od vrijednosti manjih od 1,25 MWh/m<sup>2</sup> u gorskim dijelovima županije do iznad 1,40 MWh/m<sup>2</sup> na otocima te je i za očekivati da će upravo ta područja biti ocijenjena kao najpogodnija za izgradnju solarnih parkova. Nadalje, za izgradnju solarnih parkova, važna je i izloženost Sunčevom zračenju odnosno reljefne karakteristike područja. Područja orijentirana prema sjeveru, sjeveroistoku ili sjeverozapadu nepovoljna su za izgradnju, a najpovoljnija orijentacija je jug. Nagib terena ima važnu ulogu zbog mogućnosti postavljanja samih modula fotonaponskih ćelija. Najpovoljnija je situacija kod koje je ravan teren sa smjerom nagiba prema jugu. Zbog troškova transporta energije do krajnjih korisnika, treba voditi računa i o udaljenosti parkova od postojećih prometnica i samih naselja. U cilju je da je odabrana lokacija na što manjoj udaljenosti od naseljenih mjesta i postojeće infrastrukture, industrijskih i poslovnih prostora te dalekovoda i trafostanica. Budući da podaci o elektro-energetskoj infrastrukturi nisu bili na raspolaganju za potrebe izrade ovog diplomskog rada, analiza je provedena bez tih podataka, ali u daljnjim analizama svakako treba imati na umu da je riječ o vrlo bitnom čimbeniku.

Geoprostorna analiza provedena je u QGIS-u. Ulazni podaci su klasificirani na pojedinačne karte pogodnosti, odnosno pogodna i nepogodna područja u prvoj fazi analize te područja različitih razina pogodnosti u drugoj fazi analize. Preklapanjem tako dobivenih rezultata

dobivena je konačna karta pogodnosti područja za izgradnju solarnih parkova. Kako je i očekivano s obzirom na analizu ulaznih podataka, kao najpogodnija područja za izgradnju su ocijenjeni dijelovi otoka i većeg dijela priobalnog pojasa. Nešto su manje pogodni dijelovi područja u neposrednom zaleđu dok su najmanje pogodna pojedina područja na sjeveru županije koja ujedno imaju i najmanji solarni potencijal.

Integracija GIS-a i višekriterijske analize već se prije pokazala učinkovitim pristupom u rješavanju niza geoprostornih problema. Na taj način omogućena je ne samo analiza velikog broja čimbenika koji utječu na promatrani prostorni fenomen, već i otežavanje njihovog utjecaja na konačni rezultat, ovisno o njihovoj važnosti za promatrani fenomen.

## LITERATURA

AHP-OS, *AHP Priority Calculator*, <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>, pristup 09.07.2020.

Beato, M., *Primjena geoinformacijskih sustava kao moderne tehnologije u održivoj budućnosti gradova*, 2014.

Bhushan, N., Rai, K., *Strategic Decision Making : Applying The Analytic Hierarchy Process*, Springer, London, 2004.

Eko.Zagreb.hr, *Fokusiranje sunčeve energije*, <https://eko.zagreb.hr/fokusiranje-sunceve-energije/88>, pristup 08.06.2020.

Estoque, C. R., *GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis (in Natural Resource Management)*, 2011.

Europska komisija, *Energy and smart cities*, [https://ec.europa.eu/energy/topics/technology-and-innovation/energy-and-smart-cities\\_en?redir=1](https://ec.europa.eu/energy/topics/technology-and-innovation/energy-and-smart-cities_en?redir=1), pristup 07.07.2020.

Europska komisija, *Smart cities*, [https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities\\_en](https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en), pristup 28.06.2020.

Europska komisija, *Smart Cities – Smart Living*, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/smart-cities>, pristup 20.05.2020.

Europska unija, *Mapping Smart Cities in the EU*, Study, IP/A/ITRE/ST/2013-02, PE 507.480, [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPOL-ITRE\\_ET\(2014\)507480\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPOL-ITRE_ET(2014)507480_EN.pdf), pristup 03.06.2020.

Gigović, LJ., Regodić, M., Kostić, M., *Integracija GIS-a i višekriterijumske tehnike u vrednovanju manevarske pogodnosti zemljišta*, 2015.

Grad Rijeka, *Strateški plan Rijeka Pametan grad za razdoblje 2019.-2020. godine*, <https://www.rijeka.hr/wp-content/uploads/2018/11/Strate%C5%A1ki-plan-Rijeka-Pametan-grad-za-razdoblje-2019.-2020.-godine.pdf>, pristup 03.06.2020.

Guaita-Pradas, I., Marques-Perez, I., Gallego, A., Segura, B. , *Analyzing territory for the sustainable development of solar photovoltaic power using GIS databases*, *Environ Monit Assess*, 191, 764, 2019., <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7871-8>, pristup 20.05.2020.

Hamilton M., *Analiza energetske politike*, 2010.

Janke, J. R., *Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado*, *Renewable Energy*, 35(10), 2992-3000, 2010.

Kalea, M., *Obnovljivi izvori energije*, Energetski pogled, 2014.

Klobučar, N., *FuelGIS – aplikacija za pregled benzinskih postaja na području Grada Zagreba, razvijena na QGIS platformi*, 2012.

Malczewski, M., *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, John Wiley & Sons, 1999.

Mierzwiak, M., Calka, B., *Multi-criteria analysis for solar farm location suitability. Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 104, 20-32, 2017., <https://doi.org/10.1515/rgg-2017-0012>, pristup 20.05.2020.

OIKON, *Studija mogućnosti korištenja prostora za izgradnju sunčanih elektrana na području PGŽ*, Glavni izvještaj, OIKON, d.o.o., Institut za primijenjenu ekologiju, Zagreb, 2010.

PGŽ, *Gradovi i općine*, Primorsko-goranska županija, <https://www.pgz.hr/o-zupaniji/gradovi-i-opcine/>, pristup 29.06.2020.

PGŽ, *Vodič za korištenje Sunčeve energije u Primorsko-goranskoj županiji*, Javna ustanova Zavod za prostorni uređenje Primorsko-goranske županije, 2007.

PGŽ, *Primorsko-goranska županija, Priroda*, Primorsko-goranska županija, <https://ju-priroda.hr/primorsko-goranska-zupanija/>, pristup 01.07.2020.

Prirodoslovna lepeza za mlade znanstvenike, *Obnovljivi izvori energije*, <http://e-learning.gornjogradska.eu/energijaekologijaengleski-ucenici/1-obnovljivi-izvori-energije/>, pristup 04.06.2020.

Psomopoulos, C. S., Ioannidis, G. Ch., Kaminaris, S. D., *Small-Scale Photovoltaics in Urban Areas*, Promoting Sustainable Practices through Energy Engineering and Asset Management (urednici González-Prida, V. i Raman, A.), Engineering Science Reference, IGI Global, 2015, 124-161.

Radosavljević M. J., Pavlović T., Lambić R., *Solarna energetika i održivi razvoj*

Republika Hrvatska, Ministarstvo zaštite okoliša i prirode, *Prilog II. Smjernice za primjenu pogodnih alata za analizu*, Zagreb, 2014.,

[https://mzoe.gov.hr/UserDocsImages/ARHIVA%20DOKUMENATA/Smjernice%20-%20ARHIVA/prilog\\_ii\\_smjernice\\_za\\_primjenu\\_pogodnih\\_alata\\_za\\_analizu.pdf](https://mzoe.gov.hr/UserDocsImages/ARHIVA%20DOKUMENATA/Smjernice%20-%20ARHIVA/prilog_ii_smjernice_za_primjenu_pogodnih_alata_za_analizu.pdf), pristup 29.05.2020.

Saaty, T. L., *The analytic hierarchy process*, McGraw-Hill, New York, 1980.

Una Consulting, *Usluga GIS i baze podataka*, <http://www.unaconsulting.ba/ba/usluge/usluga-8-gis-i-baze-podataka>, pristup 16.06.2020.

Wikipedia, *Geografski informacijski sustav*,

[hr.wikipedia.org/wiki/Geografski\\_informacijski\\_sustav](http://hr.wikipedia.org/wiki/Geografski_informacijski_sustav), pristup 10.06.2020.