

Ocjena pogodnosti lokacija za izgradnju solarnih parkova temeljem prostorne višekriterijske analize

Kružić, Lucija; Horvat, Bojana; Oštrić, Maja

Source / Izvornik: **Zbornik radova (Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci), 2022, XXV, 91 - 106**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

<https://doi.org/10.32762/zr.25.1.6>

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:157:735634>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-23**



image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

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



image not found or type unknown

OCJENA POGODNOSTI LOKACIJA ZA IZGRADNJU SOLARNIH PARKOVA TEMELJEM PROSTORNE VIŠEKRITERIJSKE ANALIZE

EVALUATING LOCATION SUITABILITY FOR SOLAR PARKS BASED ON SPATIAL MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS

Lucija Kružić*, Bojana Horvat**, Maja Oštrić***

Sažetak

U radu je provedena ocjena pogodnosti područja za izgradnju solarnih parkova primjenom višekriterijske analize, i to metode analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) u GIS okruženju. U prvoj fazi analize pogodnosti izuzeta su područja nepogodna za izgradnju solarnih parkova, dok su u drugoj fazi klasificirane razine pogodnosti preostalih područja primjenom AHP metode.

Ključne riječi: solarni parkovi, višekriterijska analiza, AHP metoda, GIS, razine pogodnosti

Abstract

The paper describes evaluation of the location suitability for solar parks construction, using the multi-criteria analysis, specifically Analytical Hierarchy Process (AHP) method in GIS environment. The areas that are not suitable were excluded in the first phase of the analysis while the suitability of the remaining areas was evaluated and classified in the second phase using the AHP method.

Key words: solar parks, multi-criteria decision analysis, AHP method, GIS, levels of suitability

* GPP Mikić, Pušća 131, 51513 Omišalj
E-mail: lucija.kruzic@gppmikić.hr

** Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka
E-mail: bojana.horvat@gradri.uniri.hr

*** Hrvatske vode, VGO Rijeka, Đure Šporera 3, 51000 Rijeka
E-mail: maja.ostric@voda.hr

1. Uvod

Tijekom posljednjeg desetljeća svjedočimo intenzivnom razvoju tehnologija koje omogućuju korištenje obnovljivih izvora energije, posebice sunčeve. Sunčeva energija ima značajnu ulogu u zadovoljenju rastućih potreba za energijom, no njen potencijal varira ovisno o intenzitetu sunčevog zračenja koje pak ovisi o nizu čimbenika, uključujući doba dana, sezonu te geografski položaj. Za njenu pretvorbu u električnu energiju koriste se razne tehnologije te se, ovisno o primijenjenoj tehnologiji, pretvorba može odvijati direktno ili indirektno: pomoću fotonaponskih sustava sunčeva energija se direktno pretvara u električnu, dok se sunčevim termoelektranama (koncentrirana sunčeva snaga) sunčeva energija prvo prevodi u toplinsku, a tek potom u električnu energiju [1]. Pojedini gradovi i općine u Primorsko-goranskoj županiji su već iskazali interes za korištenje Sunčeve energije te je još 2007. godine tiskan Vodič za korištenje Sunčeve energije u Primorsko-goranskoj županiji. Prema dostupnim podacima, na otoku Cresu 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.

Prvi korak u planiranju izgradnje solarnih elektrana je odabir najpogodnije lokacije, odnosno ocjena pogodnosti područja za njihovu izgradnju. Niz je čimbenika koji će na to utjecati: osim količine sunčevog zračenja u obzir treba uzeti i okolišne značajke (npr. nagib i smjer nagiba, postojeći vodotoci i stajačice, udaljenost od mora), blizinu naselja i postojeću infrastrukturu, udaljenost od državne granice i sl.

U radu je prikazana analiza pogodnosti površina za izgradnju solarnih parkova na području otoka Cresa kojima bi cilj bio opskrba pojedinih naselja na području otoka električnom energijom. Za procjenu pogodnosti lokacija primijenjena je višekriterijska analiza, a zbog mogućnosti analize kriterija različitih razina detaljnosti i područja vrijednosti, uvida u konzistentnost odabranih procjena te analize osjetljivosti varijantnih rješenja, odabrana je metoda analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP, *eng.* Analytic Hierarchy Process). Kako je riječ o prostornom fenomenu, analiza je provedena u GIS (geografski informacijski sustav) okruženju i u tu je svrhu korišten QGIS softver.

2. Metodološki pristup

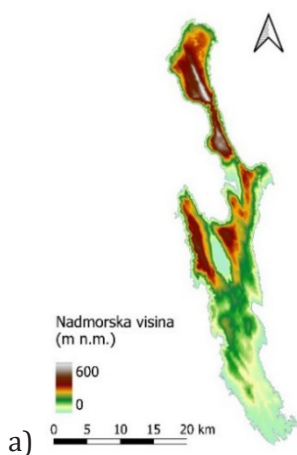
2.1. Raspoloživi podaci

Ulazni podaci (Tablica 1) uglavnom su preuzeti iz besplatnih izvora, a obuhvaćaju okolišne karakteristike prostora (Slike 1-3), količinu sunčevog

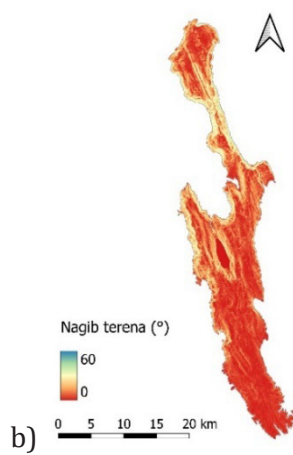
zračenja (Slika 4), namjenu prostora (Slika 4), zaštićena područja (Slika 5) te postojeću infrastrukturu (Slika 6).

Tablica 1. Ulazni podaci

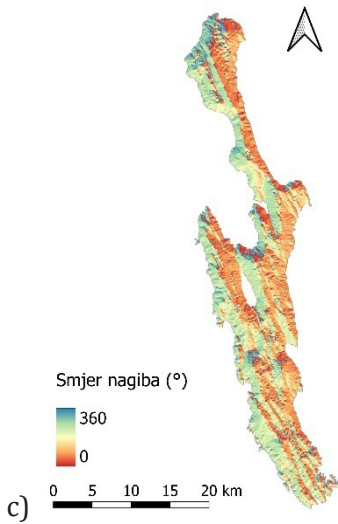
| Podaci | Opis | Izvor |
|--|--|-------|
| Reljefne karakteristike (Slike 1-3) | Europski digitalni model terena EU-DEM v1.1. prostorne rezolucije 25 m | [2] |
| Globalno horizontalno sunčevo zračenje (GHI) (Slika 4) | Global Solar Atlas, prostorne rezolucije 250 m | [3] |
| Korištenje i namjena zemljišta (Slika 5) | Priobalne zone (eng. Coastal Zones) Copernicus programa, minimalna jedinica kartiranja 0,5 ha, minimalna duljina kartiranja 10 m | [4] |
| Vodene površine, zaštićena područja i zone sanitarne zaštite izvorišta (Slika 6) | Nadležne institucije putem WMS (eng. Web Map Service) i/ili WFS (eng. Web Feature Service) | [5,6] |
| Prometna infrastruktura i naselja (Slika 7) | OpenStreetMap baza (OSM) | - |



Slika 1. DEM

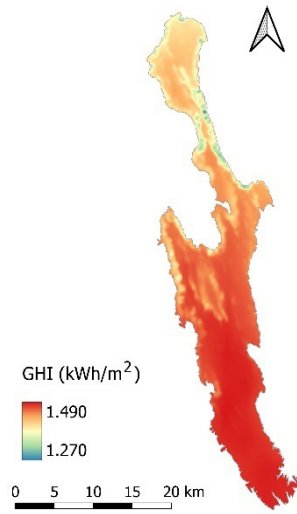


Slika 2. Nagibi terena



c)

Slika 3. Karakteristike terena otoka Cresa- smjerovi nagiba terena



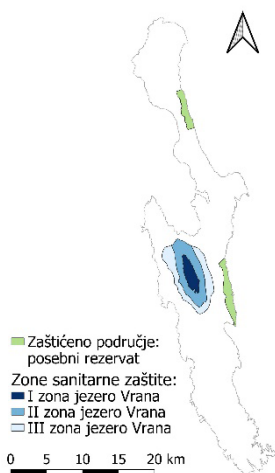
Slika 4. Globalno horizontalno sunčevo zračenje (GHI)

Korištenje i namjena zemljišta (Priobalne zone)

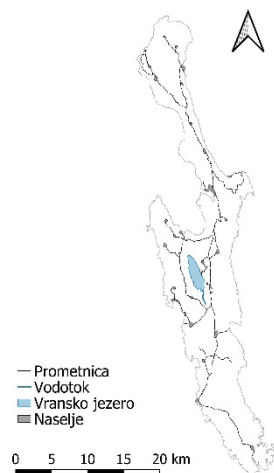
- 11110 - Kontinuirane izgrađene površine (IMD =>80%)
- 11120 - Izgrađene površine velike gustoće (IMD =>30-80%)
- 11130 - Izgrađene površine male gustoće (IMD <30%)
- 11210 - Industrijski, komercijalni, javni i vojni objekti
- 12100 - Cestovna mreža s pripadajućim zemljištem
- 12350 - Marine
- 12360 - Lokalne višenamjenske luke
- 13110 - Rudokopi
- 13120 - Odlagališta
- 14000 - Urbane zelene, sportske i rekreativne jedinice
- 21100 - Navodnjavane i nenavodnjavane obradive površine
- 22100 - Vinogradi i voćnjaci
- 22200 - Maslinici
- 23200 - Mozaik različitih načina poljoprivrednog korištenja
- 23300 - Poljoprivredne površine sa značajnim udjelom prirodne vegetacije
- 31100 - Prirodna i semi-prirodna bjelogorična šuma
- 32100 - Prirodna i semi-prirodna crnogorična šuma
- 33100 - Prirodna i semi-prirodna mješovita šuma
- 34000 - Prijelazna visoka drvenasta vegetacija i grmlje
- 41000 - Održavani travnjaci
- 42100 - Semi-prirodni travnjaci
- 53000 - Sklerofitna vegetacija
- 61100 - Rijetka vegetacija na pijescima
- 61200 - Rijetka vegetacija na stijeni
- 62112 - Šljunčane plaže
- 63110 - Gola stijena i kameni nabačaji
- 63120 - Priobalne litice
- 71100 - Kopnene močvare
- 72100 - Slane močvare
- 81100 - Prirodne i semi-prirodne tekućice
- 82100 - Prirodna jezera
- 83100 - Lagune



Slika 5. Korištenje i namjena zemljišta (Priobalne zone)



Slika 6. Zaštićena područja i zone sanitarne zaštite



Slika 7. Prometna infrastruktura, naselja i vodene površine

2.2. Metode

Ocjena pogodnosti površina za izgradnju solarnih parkova provedena je u tri faze. U prvoj su fazi eliminirane površine koje, s obzirom na odabrane uvjete, nisu povoljne za izgradnju [7,8]. Za preostale površine u drugoj je fazi provedena prostorna višekriterijska analiza te je procijenjena i klasificirana njihova pogodnost za izgradnju koristeći ulazne podatke kao kriterije i alternative. Uzimajući u obzir njihovu veličinu i oblik, konačna odluka o odabiru površina najpogodnijih za izgradnju solarnih parkova donesena je u trećoj fazi analize [8].

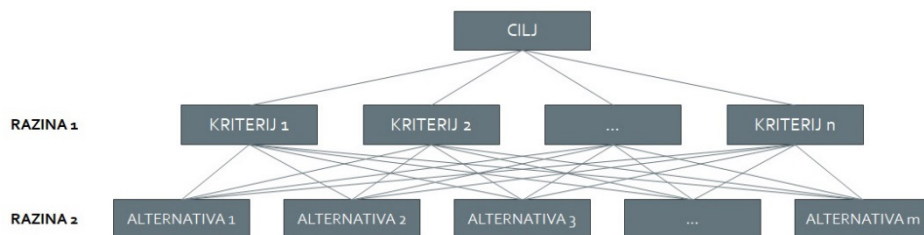
U prvoj su fazi izdvojene sve površine koje nisu pogodne za izgradnju solarnih parkova (Tablica 2). Uvjeti koje je trebalo zadovoljiti preuzeti su iz postojeće literature te važećih propisa. Površine koje se ne mogu razmatrati kao potencijalne za izgradnju solarnih parkova zauzimaju uski pojas uz postojeću prometnu infrastrukturu [1], nalaze se u izgrađenim područjima [1,9,10], namijenjene su poljoprivrednoj proizvodnji [1,10], zaštićene su jer je riječ o područjima posebne namjene ili zaštititi izvora pitke vode [11,12] ili se nalaze u blizini kopnenih vodenih površina ili u priobalnoj zoni [13].

Klasifikacija razina pogodnosti preostalih površina provedena je u drugoj fazi analize. Polazeći od pretpostavke da ulazni podaci nemaju podjednaki utjecaj na konačnu odluku, odnosno da im se prioriteti razlikuju, primijenjena je AHP (analitički hijerarhijski proces) metoda te ponderirana linearna kombinacija (WLC, eng. Weighted Linear Combination).

Tablica 2. Površine nepogodne za izgradnju solarnih parkova

| Podatkovni sloj | Površine nepovoljne za izgradnju | Referenca |
|-------------------------------|--|-----------|
| Prometnice | < 100 m | [1] |
| Naselja | < 100 m | [1,9] |
| Namjena površina | Izgrađene površine, vodene i poljoprivredne površine | [1,9,10] |
| Zaštićena područja | Zone sanitarne zaštite (I zona), zaštićena područja prema Zakonu o zaštiti prirode | [11,12] |
| Obalno područje mora | ≤ 1000 m | [13] |
| Obalno područje kopnenih voda | ≤ 100 m | [13] |

AHP metoda je višekriterijska metoda odlučivanja [14] kojoj je cilj odabrati optimalno rješenje iz niza alternativa primjenom odgovarajućeg seta kriterija, a temelji se na usporedbi parova elemenata niže razine hijerarhije (Slika 8) u odnosu na pojedini element više razine. Hijerarhijska struktura ove metode omogućuje dodjelu prioriteta pojedinim alternativama temeljem subjektivne procjene donosioca odluke da bi se u konačnici odabrala najbolja alternativa.

**Slika 8.** Hijerarhija problema odlučivanja AHP metode

Prioriteti u usporedbi parova alternativa su izvedeni iz njihovog značaja za razmatrani kriterij, a prioriteti kriterija su definirani na temelju njihove važnosti za postizanje konačnog cilja. U usporedbi parova u skupu od n alternativa, svaki element para ima prioritet w_i s obzirom na element više razine. Postupak određivanja prioriteta pojednostavljen je uvođenjem tzv. intenziteta važnosti, odnosno omjera prioriteta para alternativa koji je rezultat subjektivne procjene i određuje se pomoću Saatyveve skale vrednovanja (Tablica 3). Općenito vrijedi:

- ako je $a_{ij} = 1$, alternative su jednako važne,
- ako je $a_{ij} > 1$, alternativa A_i je važnija od alternative A_j ,
- ako je $a_{ij} < 1$, alternativa A_j je važnija od alternative A_i .

Dodijeljeni omjeri prioriteta alternativa čine matricu relativnih važnosti:

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

Matrica A je pozitivna i recipročna, tj. elementi a_{ij} su pozitivni i zadovoljavaju uvjet $a_{ij} = 1/a_{ji}$. Određivanje prioriteta w_i se može svesti na rješavanje jednadžbe:

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

gdje je λ svojstvena vrijednost, a w svojstveni vektor matrice A .

U Saatyjevom pristupu, vektor w je normalizirana komponenta vlastitog vektora koja odgovara najvećoj svojstvenoj vrijednosti, λ_{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, $\lambda_{max} = n$.

Prioriteti w_i se mogu odrediti rješavanjem sustava jednadžbi:

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

Da bi proces usporedbe bio konzistentan, uvodi se omjer konzistencije CR :

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

gdje je RI slučajni indeks konzistencije, odnosno indeks konzistencije za matrice reda n slučajno generiranih usporedbi parova i dostupan je u literaturi [14] (Tablica 4), a CI indeks konzistencije:

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

Da bi dodijeljeni omjeri težina bili konzistentni, mora biti zadovoljen uvjet $CR \leq 0,1$ (10 %).

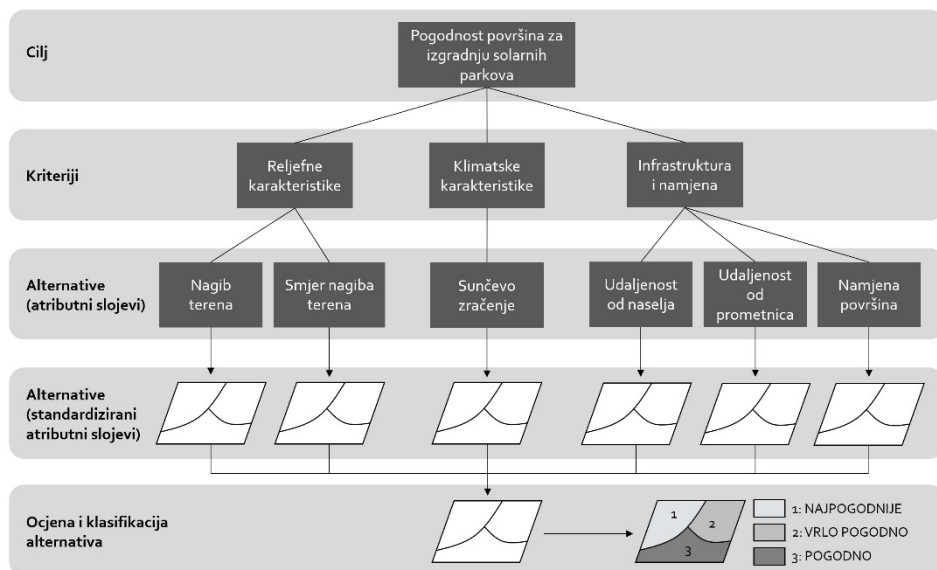
Tablica 3. Saatyeva skala vrednovanja [14]

| Intenzitet važnosti | Definicija | Opis |
|----------------------------|--|---|
| 1 | Jednaka važnost | Dva kriterija ili alternative jednako doprinose elementu više razine. |
| 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 procjene 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; ta se dominacija jasno dokazuje u praksi. |
| 9 | Apsolutna dominacija (ekstremna važnost) | Dokazi na temelju kojih se favorizira jedan kriterij/alternativa u odnosu na drugi potvrđeni su s najvećom uvjerljivošću. |
| 2, 4, 6, 8 | Međuvrijednosti | - |

Tablica 4. Slučajni indeks konzistencije [14]

| | | | | | | | | | | |
|-----------|---|---|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| 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 |

Alternative i kriterije čine atributi i setovi atributa značajni za postizanje zadanog cilja. Cilj je u ovom slučaju ocijeniti pogodnost analiziranog područja za izgradnju solarnih parkova na temelju odabranog seta kriterija, odnosno karakteristika prostora značajnih za ocjenu pogodnosti. Odabrani kriteriji odnose se na setove atributa koji obuhvaćaju sve značajne komponente postavljenog problema [15] te su grupirani u tri skupine (Slika 9): reljef, klimatske karakteristike te infrastruktura i namjena površina. Njima su, na trećoj razini, pridružene alternative odnosno prostorne raspodjele atributa reprezentativnih za postavljeni cilj.



Slika 9. Hijerarhija postupka odlučivanja u GIS okruženju

Osim namjene površina koja je definirana kao diskretno polje, svi su atributni slojevi kontinuirana polja. Da bi usporedba parova bila moguća te da bi se odredili njihovi prioriteti, atributni slojevi su u prvom koraku druge faze klasificirani na diskretna polja kojima je dodijeljena numerička vrijednost relativne pogodnosti za izgradnju (Tablica 5).

Klasificirani slojevi su standardizirani primjenom WLC metode tako da je za svakog od njih definirana vrijednosna funkcija $v(z_{ik})$ kojom se vrijednosti sloja transformiraju u standardne vrijednosti na način [16]:

$$v(z_{ik}) = \frac{z_{ik} - \min\{z_{ik}\}}{r_k} \tag{6}$$

gdje je $\min\{z_{ik}\}$ najniža vrijednost u atributnom sloju, z_{ik} je vrijednost atributa na promatranoj lokaciji, a r_k raspon vrijednosti atributnog sloja tj. $r_k = \max\{z_{ik}\} - \min\{z_{ik}\}$. Tako standardizirane vrijednosti se za svaki atributni sloj kreću u rasponu od 0 (ocijenjeno kao nepogodno) do 1 (ocijenjeno kao najpogodnije).

Standardizirani atributni slojevi pomnoženi su s pripadajućim prioritetima, a njihova suma rezultirala je prostornom raspodjelom pogodnosti područja čije se vrijednosti kreću u rasponu od 0 do 1. Klasifikacijom su dobiveni diskretni poligoni razina pogodnosti za izgradnju solarnih parkova. Granice klasa su određene na način da najpogodnije površine čine pikseli čija je vrijednost veća od gornjeg kvartila prostorne raspodjele pogodnosti, dok su pikseli čija je vrijednost manja od donjeg

kvartila svrstani u klasu najmanje pogodnih površina. Pikseli s vrijednošću 0 se odnose na nepogodne površine.

Konačna karta pogodnosti rezultat je preklapanja klasa pogodnosti s područjima nepogodnim za izgradnju iz prve faze analize.

Tablica 5. Klasifikacija atributnih slojeva

| Atribut | Raspon | Relativna pogodnost |
|--|--|---------------------|
| Nagib terena (N) | < 2° (ravno) | 3 |
| | 2° - 5° (blago) | 2 |
| | 5° - 10° (umjereno) | 1 |
| | > 10° (strmo do vrlo strmo) | 0 |
| Smjer nagiba terena (A) | 0° (ravno) | 5 |
| | 0° - 67,5° (sjever, sjeveroistok) | 1 |
| | 67,5° - 112,5° (istok) | 2 |
| | 112,5° - 157,5° (jugoistok) | 3 |
| | 157,5° - 202,5° (jug) | 5 |
| | 202,5° - 247,5° (jugozapad) | 4 |
| | 247,5° - 292,5° (zapad) | 3 |
| 292,5° - 360° (sjeverozapad, sjever) | 1 | |
| Sunčevo zračenje (S) | < 1,25 MWh/m ² | 1 |
| | 1,25 - 1,30 MWh/m ² | 2 |
| | 1,30 - 1,35 MWh/m ² | 3 |
| | 1,35 - 1,40 MWh/m ² | 4 |
| | > 1,40 MWh/m ² | 5 |
| Udaljenost od naselja (d _N) | < 100 m | 0 |
| | 100-500 m | 1 |
| | 500 - 3000 m | 3 |
| | > 3000 m | 2 |
| Udaljenost od prometnica (d _P) | < 100 m | 0 |
| | 100 - 2000 m | 2 |
| | > 2000 m | 1 |
| Namjena površina (KN) | Poljoprivredne površine sa značajnim udjelom prirodne vegetacije | 1 |
| | Šuma, pašnjaci | 2 |
| | Prijelazna visoka drvenasta vegetacija i grmlje | 3 |
| | Travnjaci, sklerofilna vegetacija | 4 |
| | Kopnene gole ili rijetko obrasle površine | 5 |

3. Rezultati i diskusija

U prvoj fazi su izuzete površine koje ne mogu biti razmatrane za izgradnju solarnih parkova (Tablica 2, Slika 10).



Slika 10. Rezultat 1. faze analize – izdvojene površine nepovoljne za izgradnju solarnih parkova

Čak je oko 50 % površine otoka klasificirano kao nepovoljno, ponajviše radi priobalnog pojasa širine 1000 m koje se ne može razmatrati za izgradnju, a čini oko 47 % ukupne površine otoka. Kao nepovoljne, izdvojene su sve izgrađene površine (naseljena mjesta i prometnice s pojasom širine definirane u Tablici 2), industrijski i komercijalni objekti, luke i marine, rudokopi i odlagališta) koje zauzimaju oko 3,5 % površine otoka i poljoprivredne površine koje se protežu na oko 11 % površine. U prvoj su fazi izdvojene i sve vodene površine s pojasom širine 100 m – ponajprije Vransko jezero koje s 1. zonom sanitarne zaštite čini oko 1,6 % površine otoka.

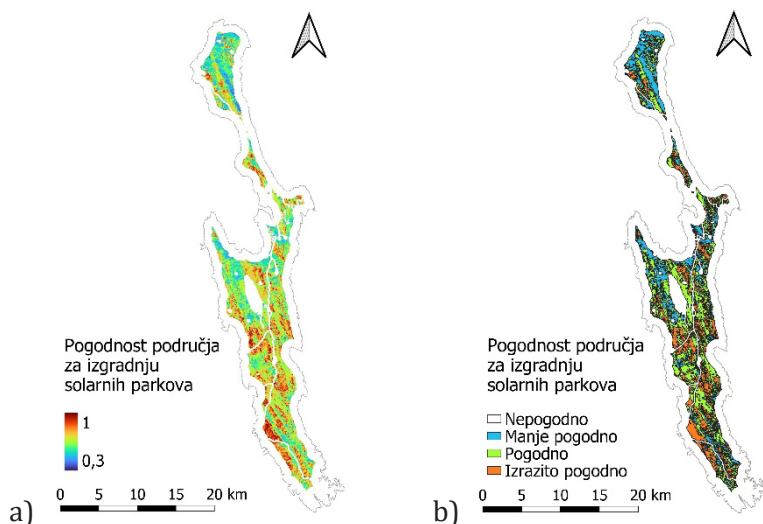
U drugoj su fazi uspoređeni parovi atributnih slojeva te je svakom elementu para, na temelju subjektivne procjene, dodijeljen intenzitet važnosti (Tablica 3). Tako je, primjerice, usporedbom sunčevog zračenja i udaljenosti od prometnica pretpostavljena apsolutna dominacija sunčevog zračenja te mu je dodijeljena vrijednost 9, dok je udaljenosti od prometnica dodijeljen intenzitet važnosti 1/9. Za tako odabrane intenzitete važnosti omjer konzistencije (5 i 6) iznosi 3,5 %, što zadovoljava postavljene uvjet konzistentnosti.

Rješavanjem sustava jednadžbi (4) određeni su prioriteti (Tablica 6). Najveću važnost u procjeni pogodnosti površina za izgradnju solarnih parkova očekivano ima sunčevo zračenje pa mu je i prioritet najveći (35,8 %), kao i orijentacija površina, odnosno njihov smjer nagiba (34 %). Slijedi korištenje i namjena zemljišta (15,1 %), dok značajno je manji prioritet dodijeljen udaljenosti od naselja (7,1 %) i nagibu terena (5,5 %). Najmanji je prioritet procijenjen za udaljenost od prometnica (2,5 %).

Tablica 6. Matrica relativnih važnosti i prioriteti atributnih slojeva

| | N | A | S | d_N | d_P | KN | Prioritet (%) |
|-------|------|------|------|-------|-------|------|---------------|
| N | 1 | 0,14 | 0,11 | 1 | 3 | 0,33 | 5,5 |
| A | 7 | 1 | 1 | 5 | 9 | 3 | 34,0 |
| S | 9 | 1 | 1 | 5 | 9 | 3 | 35,8 |
| d_N | 1 | 0,2 | 0,2 | 1 | 5 | 0,33 | 7,1 |
| d_P | 0,33 | 0,11 | 0,11 | 0,2 | 1 | 0,14 | 2,5 |
| KN | 3 | 0,33 | 0,33 | 3 | 7 | 1 | 15,1 |

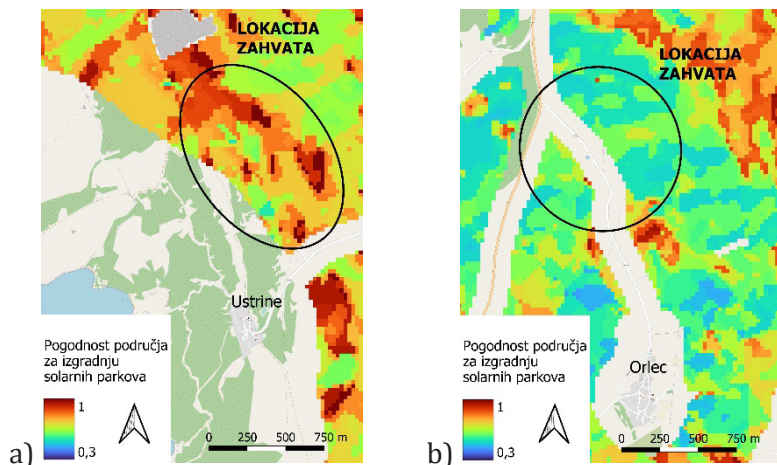
Atributni slojevi su reklasificirani na dodijeljene relativne pogodnosti (Tablica 5) te ponderirani množenjem s izračunatim prioritetima (Tablica 6). Ponderirani slojevi su u konačnici zbrojeni kako bi se dobila ukupna pogodnost (Slika 11a). Vrijednosti izračunatih pogodnosti se kreću u rasponu od 0 (nepogodno) do 1 (najpogodnije). Veličina najmanje površine koja se može razmatrati ovisi ponajprije o potrebama i uvjetima investitora. U pravilu, površine koje mogu biti uzete u obzir za izgradnju solarnih parkova ne bi trebale biti rascjepkane na niz manjih nepovezanih površina. Za potrebe ove analize usvojena je minimalna veličine površine od 2 ha [8] te su iz dobivene raspodjele uklonjene sve površine manje od odabranog praga. Preklapanjem s rezultatom 1. faze analize dobivena je konačna karta pogodnosti (Slika 11b). Cijelo područje otoka klasificirano je na četiri klase pogodnosti: nepogodno (definirano u prvoj fazi) te manje pogodno, pogodno i izrazito pogodno. Granice klasa pogodnosti koincidiraju s kvartilima raspodjele pogodnosti područja (Slika 11a) pa klasa *izrazito pogodno* obuhvaća piksele čija je vrijednost veća od gornjeg kvartila, a klasa *manje pogodno* se odnosi na vrijednosti manje od donjeg kvartila i veće od 0 (Tablica 7).



Slika 11. Karta pogodnosti površina za izgradnju solarnih parkova: a) prostorna raspodjela; b) klase pogodnosti.

Najniža ocjena pogodnosti dobivena je za sjeverne dijelove otoka gdje je i intenzitet sunčevog zračenja slabiji u odnosu na ostale dijelove otoka. Radi se uglavnom o šumskim površinama i nepovoljnoj orijentaciji padina na lokacijama blagog i umjerenog nagiba. Izrazito pogodne površine uglavnom su na južnom i središnjem dijelu otoka gdje dominiraju blagi i umjereni nagibi s niskim vegetacijskim pokrovom, rijetkom vegetacijom ili je riječ o ogoljelim površinama. Općenito, najpogodnije lokacije su uglavnom orijentirane na jug i jugozapad (primaju više sunčeve energije tijekom poslijepodnevnih sati, za razliku od jugoistočno orijentiranih padina koje većinu sunčevog zračenja primaju tijekom jutarnjih sati kad je i temperatura tla niža). Nagibi terena značajni su ponajprije u kontekstu troškova izgradnje, a osim toga, na većim nagibima sami paneli mogu uzrokovati zasjenjenje. Za potrebe procjene pogodnosti s obzirom na udaljenost od naseljenog mjesta u obzir su uzeta sva naselja, neovisno o broju stanovnika. Naime, turizam je važna privredna grana otoka, a prisustvo solarnih parkova u blizini naselja može imati negativan vizualan utjecaj. Stoga je površinama na udaljenosti 100-500 m od naselja dodijeljena niska ocjena. S druge strane, prevelika udaljenost solarnih parkova od naselja podrazumijeva i veće troškove transporta energije do korisnika. Slično je s prometnicama: povezanost i blizina prometne mreže bitna je s ekonomskog aspekta, ali je nužno i ograničiti pristup elektranama. Stoga su površine u neposrednoj blizini državnih, županijskih i lokalnih cesta izuzete iz analize.

Radi usporedbe, detaljnije su prikazani dobiveni rezultati na lokacijama Ustrine i Orlec [17,18] (Slika 12), razmatranim za izgradnju solarnih elektrana na području otoka Cresa.



Slika 12. Pogodnost za izgradnju na širem području naselja primjenom prioriteta alternativa (u podlozi: OpenStreetMap): a) Ustrine; b) Orlec

Pogodnost područja u blizini Ustrina prema analizi provedenoj u ovom radu izrazito je visoka zahvaljujući povoljnim uvjetima svih razmatranih kriterija. Kod Orleca je pogodnost niža, a razlog tome je velikim dijelom namjena zemljišta budući da je područje prekriveno uglavnom šumskom vegetacijom koja je na relativnoj skali pogodnosti (Tablica 5) ocijenjena niskom ocjenom.

Analiza osjetljivosti primijenjenog pristupa provedena je promjenom ulaznih parametara na način da je svim standardiziranim ulaznim slojevima dodijeljen jednaki značaj. Osim statističkih pokazatelja (Tablica 7), dobiveni rezultati se razlikuju prilikom usporedbe površina klasa pogodnosti (Tablica 8). U pristupu bez prioriteta značajan je porast površina klasificiranih kao manje pogodne na račun pogodnih površina, dok se veličina izrazito pogodnih površina tek neznatno povećala.

Tablica 7. Statistički pokazatelji

| Pokazatelj | S prioriteta | Bez prioriteta |
|---------------------------------|--------------|----------------|
| Srednja vrijednost, SR | 0,68 | 0,70 |
| Standardna devijacija, σ | 0,126 | 0,116 |
| Donji kvartil, q1 | 0,59 | 0,63 |
| Gornji kvartil, q3 | 0,77 | 0,78 |

Tablica 8. Usporedba površina klasa pogodnosti

| Klasa pogodnosti | Udio površina (%) | |
|------------------|-------------------|----------------|
| | S prioritetima | Bez prioriteta |
| Nepogodno | 53,44 | 53,44 |
| Manje pogodno | 11,87 | 14,40 |
| Pogodno | 22,66 | 19,83 |
| Izrazito pogodno | 12,03 | 12,33 |

4. Zaključak

Za procjenu pogodnosti površina za izgradnju solarnih parkova primijenjena je višekriterijska analiza, odnosno AHP metoda u GIS okruženju. Metoda se temelji na rangiranju prioriteta ulaznih podataka (atributnih slojeva), ovisno o njihovom značaju za cilj analize. Zahvaljujući svojoj hijerarhijskoj strukturi i jednostavnosti procjene prioriteta, lako ju je prilagoditi promjenama ulaznih podataka te procijeniti učinkovitost varijantnih rješenja.

Oko 50 % otoka se ne može uzeti u obzir za izgradnju solarnih parkova i prvenstveno je to rezultat ograničenja vezanih za korištenje prostora u smislu njegove izgrađenosti te zaštite. Izrazito pogodne površine za izgradnju najprisutnije su na jugu, dok su sjeverni dijelovi manje pogodni, a najznačajnijim kriterijima su se pokazali količina sunčevog zračenja i orijentacija padina. Treba svakako napomenuti da u prikazanoj analizi nisu korišteni podaci o energetskej infrastrukturi te katastarski podaci koji nisu bili na raspolaganju, ali su također vrlo bitni za procjenu pogodnosti zemljišta za izgradnju solarnih parkova.

Usprkos ograničenjima u vidu dostupnosti podataka, integracija višekriterijske analize i GIS-a se u ovoj procjeni pogodnosti lokacija za izgradnju solarnih parkova pokazala vrlo učinkovitom, što su i pokazali rezultati analize.

Literatura

- [1] OIKON (2010) Studija mogućnosti korištenja prostora za izgradnju sunčanih elektrana na području PGŽ. Zagreb: OIKON d.o.o. Institut za primijenjenu ekologiju.
- [2] EEA (2016) European Digital Elevation Model (EU-DEM) version 1.1, European Environment Agency, EU Copernicus Programme (<https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1>, pristupljeno 31.3.2022.).

- [3] Global Horizontal Irradiation, Global Solar Atlas 2.0, a free, web-based application is developed and operated by the company Solargis s.r.o. on behalf of the World Bank Group, utilizing Solargis data, with funding provided by the Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP) (<https://globalsolaratlas.info/map>, pristupljeno 4.5.2022.).
- [4] EEA (2021) Copernicus Land Monitoring Service – Local Component: Coastal Zones Monitoring, European Environment Agency, EU Copernicus Programme (<https://land.copernicus.eu/local/coastal-zones>, pristupljeno 4.4.2022.).
- [5] Portal otvorenih podataka, Zaštićena područja Republike Hrvatske – WFS – INSPIRE harmonization (<https://data.gov.hr/ckan/dataset/zatiena-podruja-republike-hrvatske-wfs-inspire-harmoniziran>, pristupljeno, 4.5.2022.).
- [6] GEO-5 (2015) Elaborat zona sanitarne zaštite vodozahvata Vransko jezero na otoku Cresu (nacrt prijedloga). GEO 631/2015, GEO-5, d.o.o. Rovinj.
- [7] Guaita-Pradas, I., Marques-Perez, I., Gallego, A., Segura, B. (2019) Analysing Territory for the Sustainable Development of Solar Photovoltaic Power Using GIS Databases. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 764.
- [8] Mierzwiak, M., Calka, B. (2017) Multi-Criteria Analysis for Solar Farm Location Suitability. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 104, 20-32.
- [9] Piirisaar, I. (2019) A Multi-Criteria GIS Analysis for Siting of Utility-Scale Photovoltaic Solar Plants in County Kilkenny, Ireland, Master thesis, Department of Physical Geography and Ecosystem Science, Centre for Geographical Information Systems, Lund University, Sweden.
- [10] Janke, J. R. (2010) Multicriteria GIS Modelling of Wind and Solar Farms in Colorado. *Renewable Energy*, 35(10), 2992-3000.
- [11] Pravilnik o utvrđivanju zona sanitarne zaštite izvorišta, NN 55/02.
- [12] Zakon o zaštiti prirode, NN 80/13, 15/18, 14/19, 127/19.
- [13] Prostorni plan PGŽ, SN 32/13.
- [14] Saaty, T. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, USA.
- [15] Malczewski, J. (1999) *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- [16] Malczewski, J. (2011) Local Weighted Linear Combination. *Transactions in GIS*, 15(4), 439-455.
- [17] VITAPROJEKT (2019) Izgradnja sunčane elektrane Ustrine. Elaborat zaštite okoliša za ocjenu o potrebi procjene utjecaja na okoliš za zahvat, Vita projekt, d.o.o. Zagreb.
- [18] IRES (2016) Sunčana elektrana Orlec Trinket – istok. Studija za glavnu ocjenu prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu, Institut za istraživanje i razvoj održivih ekosustava, Velika Gorica.