

## **PRIMENA GIS-A I AHP METODE PRI IZBORU POTENCIJALNIH LOKACIJA ZA IZGRADNJU SOLARNIH ELEKTRANA NA TERITORIJI OPŠTINE DOLJEVAC**

**Anastasija Blagojević<sup>1</sup>, Tijana Milutinović<sup>2</sup>**

**Apstrakt:** Solarna energija, zajedno sa geotermalnom energijom, koje čine dva ključna prirodna izvora energije na Zemlji, predstavlja održiv i čist izvor snabdevanja električnom energijom. U poslednjih nekoliko godina, solarna energija se, kako u svetu, tako i u Republici Srbiji, pokazala kao jedna od najpoželjnijih alternativa za snabdevanje električnom energijom. Ovaj trend posledica je uspostavljanja odgovarajućeg zakonskog okvira, ekološke prihvatljivosti i obnovljivosti solarne energije. Dodatno, solarna energija omogućava povećanje energetske nezavisnosti, što predstavlja ključni element u tranziciji ka održivim energetskim sistemima.

U ovom radu istražuje se primena GIS-a (Geografski Informacioni Sistemi) i AHP (Analitički Hijerarhijski proces) metode u izboru optimalnih lokacija za izgradnju solarnih elektrana u opštini Doljevac. Izabrano je šest ključnih kriterijuma za odabir lokacija: globalno zračenje pod optimalnim nagibom, nagib terena, namena zemljišta, ekspozicija terena, udaljenost od saobraćajnica i udaljenost od naselja. Kriterijumi su integrisani u QGIS softver, koji je omogućio prostorno-analitičku obradu i vizualizaciju podataka, a dobijeni rezultati, klasifikovani su u pet klasa pogodnosti.

**Ključne** reči: QGIS, AHP metoda, solarne elektrane, Doljevac.

### **SITE SELECTION FOR SOLAR POWER PLANTS USING GIS AND AHP METHOD IN MUNICIPALITY OF DOLJEVAC**

**Abstract:** Solar energy, along with geothermal energy, stands out as one of the most important natural sources of energy on Earth and represents a sustainable and clean option for electricity supply. In recent years, solar energy has emerged as one of the most attractive alternatives for electricity supply, both globally and within the Republic of Serbia. This growing trend is largely driven by the establishment of supportive legal frameworks, the environmental benefits of solar power, and its renewable nature. Furthermore, solar energy contributes to enhancing energy independence, which is a crucial aspect of the transition toward sustainable energy systems.

This paper explores the application of GIS (Geographical Information Systems) and AHP (Analytic Hierarchy Process) method in identifying optimal locations for the construction of solar power plants within the municipality of Doljevac. Six key criteria were chosen for site

---

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet (student MAS), Studentski trg 3/III; nastasia.blagojevic@gmail.com, ORCID: 0009-0000-9605-297X

<sup>2</sup> Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet (student MAS), Studentski trg 3/III; tijanaem.milutinovic@gmail.com, ORCID: 0009-0002-0151-0793

## **Primena GIS-a i AHP metode pri izboru potencijalnih lokacija za izgradnju solarnih elektrana na teritoriji opštine Doljevac**

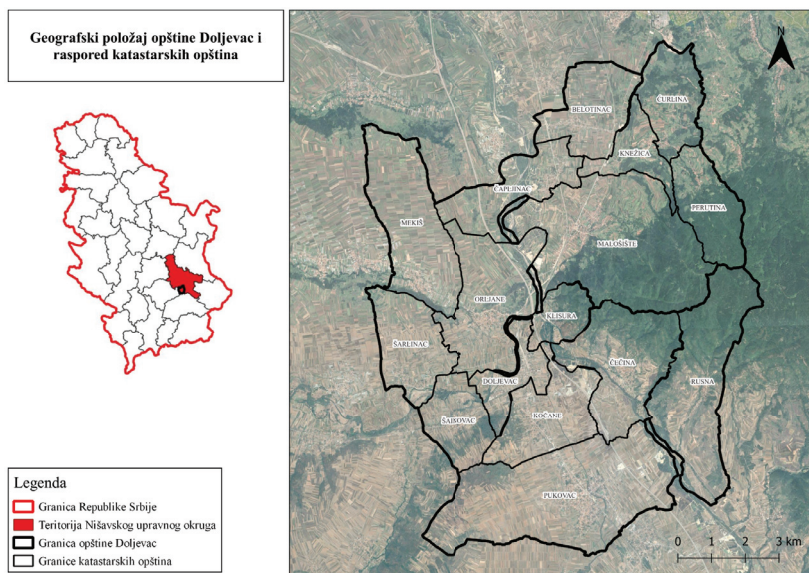
evaluation: global irradiance at optimal tilt, slope, land use, aspect, distance from roads and distance from settlements. The defined criteria were integrated into the QGIS software, which enabled spatial analysis and data visualization. The resulting outputs were categorized into five suitability classes.

**Key words:** QGIS, AHP Method, Solar Power Plants, Doljevac.

### **UVOD**

Cilj rada je identifikacija lokacija za izgradnju solarnih elektrana na teritoriji opštine Doljevac. Opština Doljevac smeštena je u jugoistočnom delu Republike Srbije i administrativno pripada Nišavskom upravnom okrugu (Karta 1.). Zauzima površinu od 121 km<sup>2</sup> i graniči se sa tri opštine i dva grada – opštinom Gadžin Han na istoku, opštinom Žitorađa na zapadu i opštinom Merošina na severozapadu, Gradom Niš na severoistoku i Gradom Leskovac na jugu. (Izmene i dopune prostornog plana opštine Doljevac, 2019.). Stanovništvo opštine je naseljeno u 16 naselja, u kojima prema popisu iz 2022. godine živi 15.837 stanovnika. Prosečna gustina naseljenosti u opštini iznosi 130,88 st/km<sup>2</sup> (Republički zavod za statistiku, 2022.). Sedište opštine je gradsko naselje Doljevac. Opština ima dobar geostrateški položaj, budući da opštinu preseca auto-put E75 kao i železnička pruga Beograd–Niš (JP „Putevi Srbije“, 2022.).

Prema Uredbi o utvrđivanju Regionalnog prostornog plana za područje Nišavskog, Topličkog i Pirotskog okruga, u koje spada i opština Doljevac, prosečna godišnja vrednost energije sunčevog zračenja iznosi od 4 do 4,2 kWh/m<sup>2</sup> dnevno na horizontalnoj površini.



Karta 1. Geografski položaj opštine Doljevac i raspored katastarskih opština

## **METODOLOGIJA**

Lociranje solarnih elektrana zavisi od brojnih faktora. Zbog nedostatka jasne metodologije i potrebe da se smanji subjektivnost prilikom procene lokacija, često se primenjuju metode višekriterijumske analize (Multi-Criteria Decision Analysis - MCDA). Jedna od najčešće korišćenih je AHP metoda (Analitički hijerarhijski proces), koju je razvio Thomas L. Saaty 1980. godine. Osnovni zadatak AHP metode je rešavanje složenih problema pomirenjem konfliktnih ciljeva među različitim kriterijumima, a da se pri tome zadrži konzistentnost pri evaluaciji vrednosti kvalitativnih elemenata u hijerarhiji. AHP ublažava ovaj problem merenjem stepena nekonzistentnosti. Indeks (stepen) konzistentnosti (eng. Consistency index - ci) mora biti manji od 0.1 (10%) da bi se rezultati smatrali konzistentnim (Saaty, 1980.). Ova metodologija pokazala je izuzetan potencijal u solarnoj energetici, te Georgiou & Skarlatos (2016), koriste AHP kako bi odredili pogodnost prostora za izgradnju fotonaponskih elektrana.

## **ANALIZA**

U radu je uz pomoć AHP metode i GIS-a analizirano šest kriterijuma i jedan eliminatorni faktor. Globalno zračenje pod optimalnim nagibom (GTI - eng. Global irradiance at optimal tilt), odnosi se na ukupnu količinu Sunčevog kratkotalasnog zračenja koje prima površina koja se nalazi pod optimalnim uglom u odnosu na Sunčeve zrake (Calabrò, 2013). Optimalni ugao nagiba varira u zavisnosti od geografske širine lokacije i godišnjeg doba, a u praksi se najčešće bira ugao jednak geografskoj širini.

Klasifikacija nagiba terena (S - eng. Slope), izvršena je na osnovu uglova izraženih u stepenima, pri čemu niži nagibi ukazuju na veću pogodnost terena. Prema Petroviću i Manojloviću (2003), tereni sa nagibom do 5° smatraju se blago nagnutim, dok tereni preko 30° spadaju u kategoriju jako nagnutih. Teren bez nagiba ili sa uglom manjim od 3°, vrednovan je najvišom ocenom, najviše zbog nižih troškova izgradnje i održavanja, dok je teren sa nagibom preko 20° vrednovan najnižom ocenom.

Namena zemljišta (Vt - eng. Vegetation type), određena je u odnosu na zastupljenost kodova CLC baze unutar granice opštine. Vrednovanje kodova izvršeno je u skladu sa ekološkim aspektom, te su sve urbane i vodene površine, kao i šume, uzete kao eliminatorne.

Kada je reč o ekspoziciji (A - eng. Aspect), na severnoj hemisferi, najveću količinu toplote primaju južne ekspozicije, pa se na njima javlja najjače zagrevanje topografske površine (Dragičević & Filipović, 2016). Zbog toga su te strane ocenjene najvišom ocenom. Suprotno tome, severne ekspozicije primaju najmanju količinu toplote, te su rangirane najnižom vrednošću. Što se zapadnih i istočnih ekspozicija tiče, zapadne su nešto toplije od istočnih.

Udaljenost od puteva (Dr - eng. Distance from Roads), bez obzira na kategoriju kojoj pripadaju, predstavlja značajan kriterijum za transport opreme potrebne za instalaciju i održavanje solarnih panela. Međutim, postoje i negativni faktori blizine saobraćajnica, kao što su taloženje prašine koja može smanjiti efikasnost solarnih panela, buka i vibracije koje mogu uticati na stabilnost panela, kao i rizik od saobraćajnih nesreća koje mogu fizički oštetiti instalacije.

Šesti kriterijum je udaljenost od naselja (Ds - eng. Distance from settlements). Najčešće se izbegava instalacija solarnih elektrana u blizini naselja zbog povećanih finansijskih troškova, koji često zahtevaju dodatne zahvate, kao što su zvučne barijere ili estetske adaptacije radi boljeg uklapanja u okolinu. Takođe, one mogu povisiti lokalnu temperaturu, što može negativno uticati na kvalitet života stanovnika u blizini. U tom kontekstu, najpovoljnijom se smatra udaljenost veća od 800 metara, dok je udaljenost manja od 200 metara rangirana kao najnepovoljnija.

## **Primena GIS-a i AHP metode pri izboru potencijalnih lokacija za izgradnju solarnih elektrana na teritoriji opštine Doljevac**

Podaci o nadmorskoj visini preuzeti su u rasterskom obliku iz geobaze podataka SRTM DEM 100<sup>3</sup>, na osnovu kojih su, korišćenjem alata *Slope* i *Aspect* u QGIS-u, dobijeni podaci za nagib i ekspoziciju terena u prostornoj rezoluciji od 100x100 metara. Podaci koji prikazuju način korišćenja zemljišta i osovine saobraćajnica preuzeti su u vektorskom obliku, a zatim konvertovani u rasterski format korišćenjem alata *Rasterize*. Izvor podataka za način korišćenja zemljišta je preuzet iz CORINE Land Cover baze podataka za 2018. godinu<sup>4</sup>, a za izvor saobraćajnica korišćena je platforma *OpenStreetMap*. Centri naselja dobijeni su korišćenjem *QuickOSM* Plugin-a, izdvajanjem naselja iz DEM-a. Podaci o globalnom zračenju pod optimalnim uglom preuzeti su u rasterskom obliku.<sup>5</sup>

Svakom kriterijumu dodeljena je važnost u odnosu na međusobni značaj sistemom osnovne skale vrednovanja (Tabela 1.). Nakon toga, vrednosti su međusobno ukrštene i kvadirane, a zatim su rezultati sabrani po redovima. Ukupan zbir tih vrednosti iznosi 277,30. Težinski koeficijenti (Tabela 2.), izračunati su tako što je svaki rezultat unutar reda podeljen ukupnim zbirom vrednosti svih kolona.

Pre množenja odgovarajućeg koeficijenta sa odgovarajućim rasterom, su svi vektorski fajlovi konvertovani u rasterski format i reklasifikovani u 5 klasa, a isto je urađeno i sa rasterskim podacima. Pretposlednji korak podrazumeva množenje prethodno dobijenih težinskih koeficijenata sa odgovarajućim rasterom, u raster kalkulatoru, a potom i njihovo sabiranje:

$$\mathbf{AHP} = 0.30 \cdot \mathbf{GTI} + 0.23 \cdot \mathbf{S} + 0.17 \cdot \mathbf{Vt} + 0.13 \cdot \mathbf{A} + 0.9 \cdot \mathbf{Dr} + 0.7 \cdot \mathbf{Ds}$$

Za finalni raster koji ima vrednosti od 3,86 do 11,98, vrši se reklasifikacija u 4 klase, približno jednakih delova, i množi se sa eliminatornim kriterijumom.

Tabela 1. Matrica međusobnog poređenja faktora

Kriterijum	GTI	S	Vt	A	Dr	Ds
GTI	1	1.5	2	2.5	3	3
S	0.67	1	1.5	2	2.5	3
Vt	0.5	0.67	1	1.5	2	2.5
A	0.4	0.5	0.67	1	1.5	2
Dr	0.3333	0.4	0.5	0.67	1	1.5
Ds	0.3333	0.3333	0.4	0.5	0.67	1

Tabela 2. Dobijeni težinski koeficijenti

Kriterijum	Zbir kvadiranih redova	Ukupan zbir	Težinski koeficijent
GTI	83.44	277.30	0.30
S	64.49		0.23
Vt	47.82		0.17
A	35.16		0.13
Dr	26.01		0.9
Ds	20.38		0.7

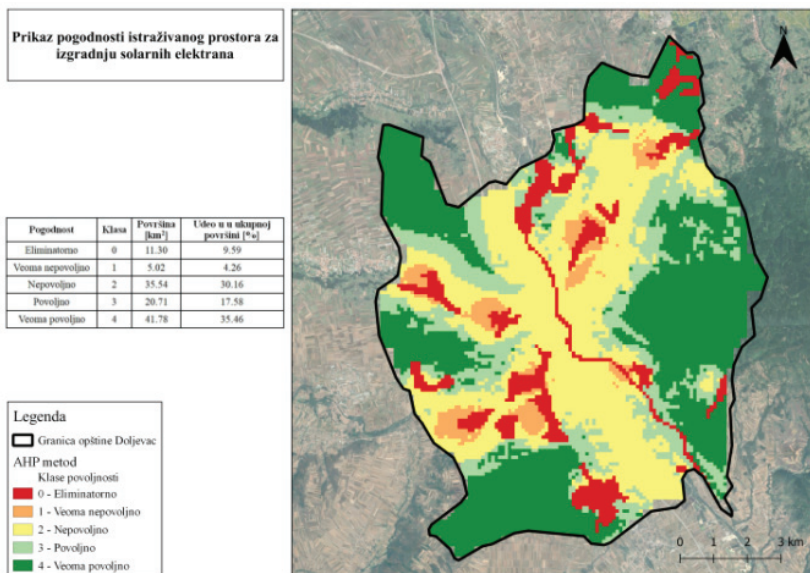
<sup>3</sup> <https://portal.opentopography.org/datasetMetadata?otCollectionID=OT.042013.4326.1>

<sup>4</sup> <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018?tab=download>

<sup>5</sup> <https://solargis.com/resources/free-maps-and-gis-data?locality=serbia>

## REZULTATI ANALIZE

Prema rezultatima izvršene analize, upotrebom AHP metode, dobijaju se klase pogodnosti za izgradnju solarnih elektrana u opštini Doljevac, prikazane na Karti 2. Klasa „Eliminatorno“, koja podrazumeva eliminatorne CLC klase, zauzima 11,30 km<sup>2</sup> tj. 9,59% teritorije. Klasa „Veoma nepovoljno“ zauzima površinu od 5,02 km<sup>2</sup> ili 4,26%, dok se u klasi „Nepovoljno“ nalazi 35,54 km<sup>2</sup>, odnosno 30,16% opštine, što ukazuje na značajan deo teritorije sa ograničenim, ali ne i u potpunosti isključenim potencijalom za razvoj solarne energije. Klasa „Povoljno“ obuhvata 20,71 km<sup>2</sup> (17,58%), a najveći deo teritorije pripada klasi „Veoma povoljno“ (41,78 km<sup>2</sup>, što predstavlja 35,46% ukupne površine). Ovo ukazuje na dominantan potencijal istraživanog područja za realizaciju izgradnje solarnih elektrana.



Karta 2. Prikaz pogodnosti istraživanog prostora za izgradnju solarnih elektrana

## ZAKLJUČAK

Posmatrajući grafički prikaz sa Karte 2., može se zaključiti da je teritorija opštine Doljevac povoljna za postavljanje solarnih elektrana. Kombinovanjem rezultata klase „Povoljno“ i „Veoma povoljno“, primećuje se da više od polovine teritorije zadovoljava uslove za ovu vrstu energetskog razvoja. Najpogodnije lokacije nalaze se uz sam obod opštine, sa najvećom količinom sunčeve energije po kvadratnom metru, daleko od naselja i saobraćajnica, južne ekpozicije, na terenima na kojima je nagib manji od 3° i van šumskih, vodenih i urbanih područja. Crveni delovi na karti predstavljaju eliminatorne površine, te one nisu pogodne za izgradnju pomenutih elektrana.

Što se sunčeve energije tiče, glavna prednost je njena dostupnost tokom cele godine, međutim, treba uzeti u obzir sezonske varijacije, te za vreme zimskih perioda, glavni nedostatak može biti smanjena efikasnost sistema, zbog niskih temperatura i potencijalnih zamrzavanja konstrukcija panela. Zato je potrebno dodatno ispitati nova tehnička dostignuća u oblasti održavanja i zaštite panela, za vreme nepovoljnih vremenskih uslova, kako bi se ovaj rizik smanjio.

## **Primena GIS-a i AHP metode pri izboru potencijalnih lokacija za izgradnju solarnih elektrana na teritoriji opštine Doljevac**

---

Važno je naglasiti da se u ovakvim analizama izbor kriterijuma može razlikovati, te će se i krajnji rezultati razlikovati. Takođe, pouzdanost ovakvih analiza u velikoj meri zavisi od dostupnosti ulaznih podataka – koji su često nepotpuni ili potpuno nedostupni – te je stoga neophodno rezultate posmatrati sa odgovarajućom dozom rezerve.

Preporuka za dalju studiju uključuje detaljniju analizu socio-ekonomskih, ekoloških, klimatskih i pravnih aspekata, kako bi se obezbedio održivi razvoj i maksimalna efikasnost iskorišćenja dostupnih resursa. Pored toga, preporučuje se da se nakon formiranja matrice poređenja, izračuna koeficijent konzistentnosti (CR), čija vrednost ne bi trebalo da prelazi 0.1. Time se obezbeđuje pouzdanost dodeljenih vrednosti. Ukoliko vrednosti premaše dozvoljeni prag, preporučuje se njihova revizija.

Glavni doprinos izvršene analize, upotrebom GIS tehnologije i AHP metode, izražava se kroz činjenicu da se ovakva metoda može primeniti za potrebe analize neke druge teritorije, kako na lokalnom, tako i na regionalnom ili nacionalnom nivou.

### **LITERATURA**

- Calabrò, E. (2013). *An algorithm to determine the optimum tilt angle of a solar panel from global horizontal solar radiation*. Renewable Energy. <https://doi.org/10.1155/2013/307547>
- Doljevac, Opština. (2019). *Izmene i dopune prostornog plana opštine Doljevac*. Niš: Javno preduzeće za urbanizam. Dostupno na: [https://www.opstinadoljevac.rs/index.php?option=com\\_content&view=article&id=100&Itemid=670](https://www.opstinadoljevac.rs/index.php?option=com_content&view=article&id=100&Itemid=670) (Pristupljeno: 18. februara 2025.)
- Dragičević, S., & Filipović, D. (2016). *Prirodni uslovi i nepogode u planiranju i zaštiti prostora* (2. izd.). Beograd: Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet.
- European Environment Agency. (2022). *CORINE Land Cover (CLC) 2018*. Dostupno na: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018?tab=download> (Pristupljeno: 10. marta 2025.)
- Geofabrik. (2025). *OpenStreetMap data*. Dostupno na: <https://download.geofabrik.de/> (Pristupljeno: 20. februara 2025.)
- Georgiou, A., & Skarlatos, D. (2016). *Optimal site selection for sitting a solar park using multicriteria decision analysis and geographical information systems*. Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems, 5(2), 321–332. <https://doi.org/10.5194/gi-5-321-2016>
- NASA. (2013). *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Global*. Dostupno na: <https://portal.opentopography.org/datasetMetadata?otCollectionID=OT.042013.4326.1> (Pristupljeno: 4. marta 2025.)
- Petrović, D., & Manojlović, P. (2003). *Geomorfologija*. Beograd: Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet.
- Putevi Srbije. (2005–2022). *Mreža državnih puteva I i II reda*. Dostupno na: [https://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/referentni-sistem/Karta\\_drzavnih\\_puteva.pdf](https://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/referentni-sistem/Karta_drzavnih_puteva.pdf) (Pristupljeno: 7. marta 2025.)
- Republički zavod za statistiku. (2022). *Uporedni pregled broja stanovnika 1948-2022. godine*. Beograd: Republički zavod za statistiku.
- Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- Vlada Republike Srbije. (2012). *Uredba o utvrđivanju Regionalnog prostornog plana za područje Nišavskog, Topličkog i Pirotskog upravnog okruga*. Službeni glasnik RS, 88/21. Dostupno na: <https://otvorenavlada.rs/uredba-nisavski-toplicki-pirotski-okrug041-lat-doc/>