

ODABIR LOKACIJA ZA IZGRADNJU SOLARNIH ELEKTRANA PRIMENOM GIS I BWM METODE NA PRIMERU JABLANIČKOG OKRUGA

Uroš Durlević¹, Ivan Novković¹, Tara Obradović², Nikola Mladenović³, Filip Vujović⁴

Apstrakt: Identifikacija potencijalnih lokacija za izgradnju solarnih elektrana predstavlja važan korak u korišćenju održivih energetske resursa. U ovoj studiji, primenom višekriterijumske analize odlučivanja (GIS-BVM) zasnovane na geografskim informacionim sistemima (GIS) i Best-Worst modelu (BWM) identifikovane su najpogodnije parcele za izgradnju solarnih elektrana. Istraživanje je podrazumevalo analizu i evaluaciju prirodnih i antropogenih uslova na teritoriji Jablaničkog okruga. Teritorija južne Srbije odlikuje se velikom količinom energije globalnog zračenja na horizontalnu površinu. Na osnovu hijerarhije prioriteta, svakom kriterijumu su dodeljeni različiti težinski koeficijenti. Model razmatra različite aspekte, kao što su: ekonomski, ekološki i tehnički. Rezultati su klasifikovani u pet klasa, u zavisnosti od pogodnosti teritorije za instalaciju fotonaponskih panela. Integracija GIS-a sa višekriterijumskim metodama predstavlja pouzdanu tehniku za sistematsko bavljenje geoprostornim podacima sa ciljem zaštite životne sredine i povećanja procenta korišćenja obnovljivih izvora energije.

Ključne reči: solarna energija, GIS, BWM, Jablanički okrug, solarne elektrane

SOLAR POWER PLANT SITE SELECTION USING A GIS AND BWM METHOD ON THE EXAMPLE OF THE JABLANICA DISTRICT

Abstract: Identifying potential locations for the construction of solar power plants is an important step in using sustainable energy resources. In this study, using multi-criteria decision analysis (GIS-BWM) based on geographic information systems (GIS) and the Best-Worst Model (BWM), the most suitable plots for the construction of solar power plants were identified. The research involved the analysis and evaluation of natural and anthropogenic conditions on the territory of the Jablanica District. The region of southern Serbia is characterized by a large amount of global radiation energy on a horizontal surface. Each criterion is assigned different weight coefficients based on the hierarchy of priorities. The model considers various aspects, such as: economic, ecological, and technical. The

¹ Univerzitet u Beogradu, Geografski fakultet, Studentski trg 3/III, uros.durlevic@gef.bg.ac.rs; ivan.novkovic@gef.bg.ac.rs

² Zavod za zaštitu prirode Srbije, Dr. Ivana Ribara 81, obradovictara9980@gmail.com

³ CRNOG, Makedonska 22, nikolamladenovich94@gmail.com

⁴ Univerzitet Crne Gore, Filozofski fakultet, Danila Bojovića bb, vujovicfilip@hotmail.com

Odabir lokacija za izgradnju solarnih elektrana primenom GIS i BWM metode na primeru Jablaničkog okruga

results are classified into five classes, depending on the territory's suitability for installing photovoltaic panels. Integrating GIS with multi-criteria methods is a reliable technique for systematically dealing with geospatial data to protect the environment and increase the percentage of use of renewable energy sources.

Keywords: solar energy, GIS, BWM, Jablanica District, solar power plants

UVOD

U XXI veku obnovljivi izvori energije dobijaju veliki značaj i primenu usled prekomerne potrošnje ograničenih rezervi fosilnih goriva, globalnog zagrevanja i degradacije životne sredine (Deveci et al., 2021; Minak, 2023). Primena solarne energije u energetske i toplotne svrhe obezbeđuje ekonomski i društveni napredak sa znatno manjim uticajem po životnu sredinu i klimatske promene (Tan et al., 2023). Da bi se ocenio geoprostorni potencijal i izabrale najpogodnije lokacije, potrebno je prikupiti i obraditi veliki broj podataka u geografskim informacionim sistemima (GIS) (Al Garni & Awasthi, 2017; Habib et al., 2020).

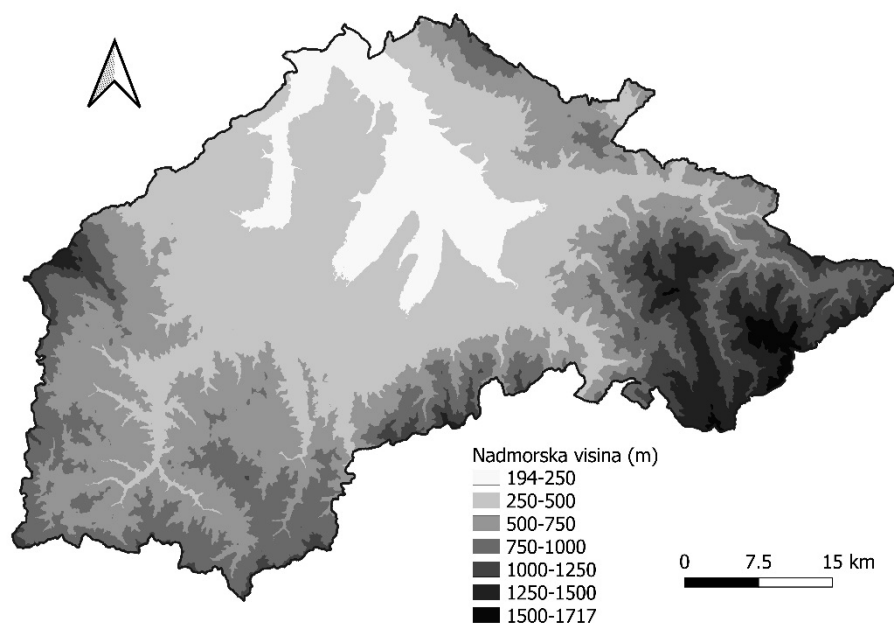
Sa razvojem modela višekriterijumske analize i GIS-a, danas je moguće odrediti povoljne lokacije bez direktnog kontakta sa istraživanim prostorom. Primena solarne energije u Srbiji je na početnom nivou, iako je solarni potencijal Srbije za 30% veći od potencijala centralne Evrope (Doljak & Stanojević, 2017). Nedostatak finansijskih sredstava, kao i nedovoljna zainteresovanost donosioca odluka usloveli su da solarna energija godinama ima veoma mali udeo u ukupnoj proizvodnji električne energije dobijene iz obnovljivih izvora energije (Ayough et al., 2022; Ghodusinejad et al., 2022). Cilj ovog istraživanja jeste identifikacija najpogodnijih lokacija za izgradnju solarnih elektrana na teritoriji Jablaničkog okruga primenom savremenih metoda i geoprostorne baze podataka.

MATERIJALI I METODE

Prostor istraživanja i skup podataka

Jablanički okrug nalazi se na jugu Srbije, na površini od 2769 km². U sastav okruga ulaze grad Leskovac i pet opština: Medveđa, Bojnik, Lebane, Vlasotince i Crna Trava. Prema podacima Republičkog zavoda za statistiku iz 2022. godine, ovo područje naseljava 184.502 stanovnika. Razlog istraživanja ovog okruga jeste značajan solarni potencijal koji poseduju opštine na jugu Srbije.

Za potrebe analize prirodnih i antropogenih uslova, korišćeni su geoprostorni podaci: digitalni model visina (DEM), iz kojeg su izvedeni ekspozicija i nagib terena. EU-DEM je prostorne rezolucije 25 m, preuzet od strane Evropske agencije za zaštitu životne sredine. Za potrebe identifikovanja naselja i namene zemljišta, korišćena je geoprostorna baza - Corine Land Cover (2018), takođe preuzeta sa geoportala Evropske agencije za zaštitu životne sredine. Podaci o rečnim tokovima i saobraćajnicama na teritoriji Jablaničkog okruga dobijeni su digitalizacijom sadržaja sa Open Street Map platforme. Tematske karte, kao i sintezna izrađene su u prostornoj rezoluciji od 25 metara.



Slika 1: Prostor istraživanja

METODOLOGIJA

U ovom istraživanju korišćen je linearni Best-Worst model za potrebe određivanja težinskih korefijena za šest kriterijuma (Rezaei, 2016). BWM metod, kao jedan od najnovijih modela višekriterijumske analize, može se predstaviti u pet koraka (Rezaei, 2015):

Korak 1: Identifikovati skup kriterijuma odlučivanja za problem donošenja odluka $\{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}$.

Korak 2: Odrediti najbolji (najvažniji) kriterijum i najgori (najmanje važan) kriterijum među kriterijumima odluke.

Korak 3: Uporediti najbolji kriterijum sa svim ostalim koristeći skalu od 1 do 6. Vrednost 1 predstavlja jednaku važnost, dok vrednost 6 znači da je najbolji kriterijum ocenjen kao izuzetno važniji od drugih kriterijuma. Rezultat best-to-others (BO) dobija se na sledeći način:

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn}) \quad (1)$$

a_{Bj} označava u kojoj je meri najbolji kriterijum B poželjniji od kriterijuma j , tako da je $a_{BB} = 1$.

Odabir lokacija za izgradnju solarnih elektrana primenom GIS i BWM metode na primeru Jablaničkog okruga

Korak 4: Uporediti sve ostale kriterijume sa najgorim kriterijumom (W) koristeći skalu od 1 do 6. U ovom slučaju, rezultat other-to-worst (OW) računa se:

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW}) \quad (2)$$

Ovde je prednost kriterijuma j u odnosu na najgori kriterijum izražena kao a_{jW} , dok je $a_{WW} = 1$.

Korak 5: Izračunati optimalnu težinu različitih kriterijuma. Minimiziranjem maksimalne vrednosti skupa $\{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{jW}w_W|\}$ za sve j , problem se može objasniti:

$$\min_w \max_j \{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{jW}w_W|\} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j \geq 0, \quad \text{za sve } j \quad (4)$$

Ovaj problem se može napisati kao model linearnog programiranja:

$$\min \xi$$

$$|w_B - a_{Bj}w_j| \leq \xi, \text{ za sve } j \quad (5)$$

$$|w_j - a_{jW}w_W| \leq \xi, \text{ za sve } j \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (7)$$

$$w_j \geq 0, \text{ za sve } j \quad (8)$$

Odnosi konzistentnosti zasnovani na povezanim pragovima koriste se za proveru prihvatljivosti konzistentnosti poređenja u paru (Liang et al., 2020).

Na osnovu dosadašnjih istraživanja i mišljenja stručnjaka iz oblasti geografije, životne sredine, GIS-a i solarne energije, napravljena je hijerarhija kriterijuma prema prioritetima. Prilikom svih višekriterijumskih analiza važno je mišljenje mnogih stručnjaka kako bi se smanjila subjektivnost prilikom kreiranja matrice i konačnog proračuna (Durlević et al., 2023).

Tabela 1. Matrica sa vrednostima

| | | | | | | |
|-------------------|----|----|----|----|----|----|
| Najbolji i ostali | E | NZ | UN | UR | NT | US |
| Ekspozicija | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Ostali i najgori | US | NT | UR | UN | NZ | E |
| Saobraćajnice | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |

Napomena: E – ekspozicija, NZ – namena zemljišta, UN – udaljenost od naselja, UR – udaljenost od reka, NT – nagib terena, US – udaljenost od saobraćajnica.

Nivo konzistentnosti parnih poređenja je prihvatljiv i iznosi 0,2. Povezana vrednost praga je 0,30. Dodeljivanjem numeričkih vrednosti u matrici i primenom BWM metode dobijeni su težinski koeficijenti za svaki kriterijum (Tabela 2).

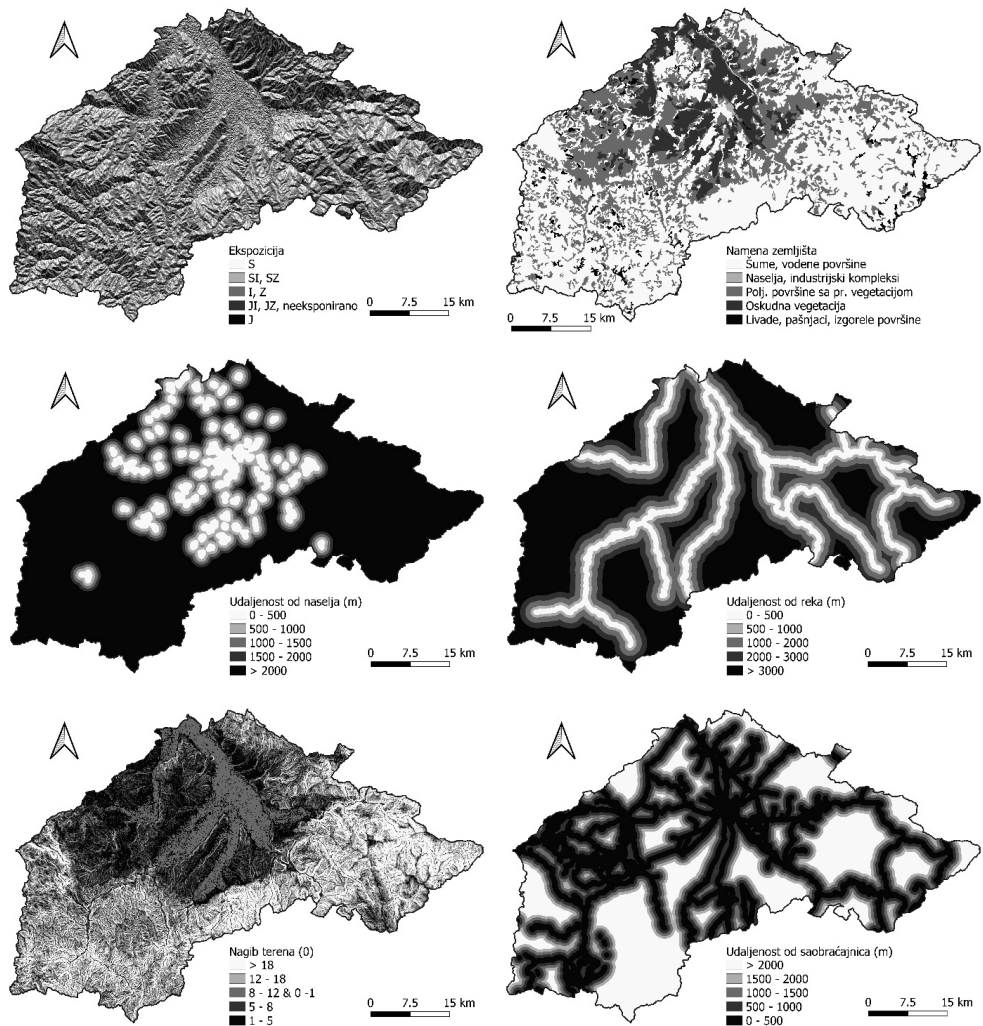
Tabela 2. Težinski koeficijenti

| | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Parametar | E | NZ | UN | UR | NT | US |
| Koeficijent | 0.379 | 0.221 | 0.148 | 0.111 | 0.089 | 0.053 |

Za najznačajniji parameter određena je ekspozicija terena, od koje direktno zavisi osunčanost određene teritorije, dok je za najgori, odnosno najmanje važan određena udaljenost od saobraćajnica. Pored pomenutih faktora, u analizi su korišćeni i: namena zemljišta, udaljenost od naselja, udaljenost od reka i nagib terena.

REZULTATI I DISKUSIJA

Nakon određivanja i evaluacije intervala prirodnih i antropogenih uslova, izrađeno je šest tematskih karata (Slika 2). Vrednosti su ocenjene u opsegu od 1 do 5, gde vrednost 1 označava nepogodne uslove za primenu solarne energije, dok vrednost 5 prikazuje vrlo pogodne uslove za izgradnju solarnih elektrana.



Slika 2: Prirodni i antropogeni uslovi

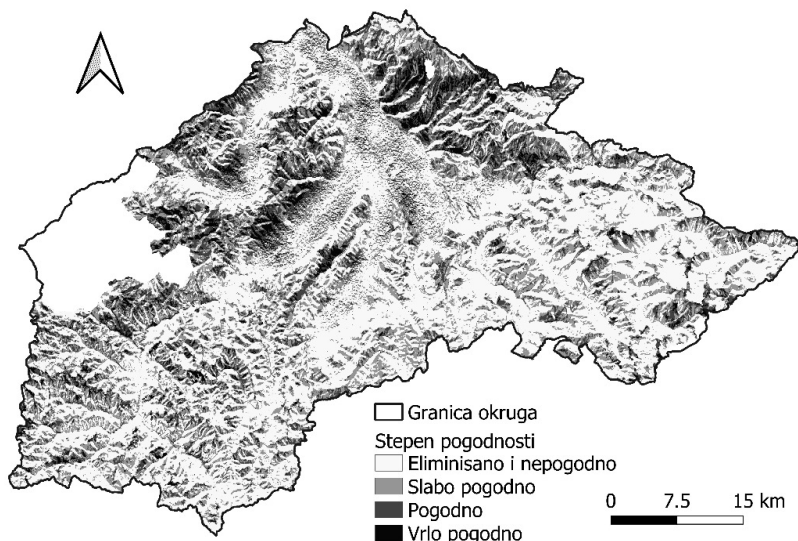
Odabir lokacija za izgradnju solarnih elektrana primenom GIS i BWM metode na primeru Jablaničkog okruga

Relativno ravni tereni koji su okrenuti ka jugu, i dovoljno udaljeni od reka i naselja označeni su kao najpovoljniji. Blizina saobraćajnica je faktor koji utiče na pristupačnost prilikom izgradnje potencijalnih solarnih elektrana (Tabela 3).

Tabela 3. Ocene prirodnih i antropogenih uslova

| Parametar / ocena | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------------|----------------------|---------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Ekspozicija | Sever | Severoistok, severozapad | Istok, zapad | Jugoistok, jugozapad, neekspozirano | Jug |
| Namena zemljišta | Vodne površine, šume | Naselja, industrijski kompleksi | Poljoprivredne površine sa prirodnom vegetacijom | Površine sa oskudnom vegetacijom | Livade, pašnjaci, izgorele površine |
| Udaljenost od naselja (m) | 0 - 500 | 500 - 1000 | 1000 - 1500 | 1500 - 2000 | > 2000 |
| Udaljenost od reka (m) | 0 - 500 | 500 - 1000 | 1000 - 2000 | 2000 - 3000 | > 3000 |
| Nagib terena (°) | > 18 | 12 - 18 | 8 - 12 | 5 - 8, 0 - 1 | 1 - 5 |
| Udaljenost od saobraćajnica (m) | > 2000 | 1500 - 2000 | 1000 - 1500 | 500 - 1000 | 0 - 500 |

Zaštićena prirodna područja zbog svog velikog ekološkog značaja eliminisana su iz konačne evaluacije i proračuna. Obradom tematskih karata i vrednosti u GIS-u, dobijena je sintezna karta pogodnosti (Slika 3).



Slika 3: Sintezna karta pogodnosti

Više od 56% istraživanog prostora je označeno kao eliminisano ili nepogodno (1565 km²). Oko ¼ površine okruga (705 km²) je slabo pogodno za primenu solarne energije. Prostor od 386 km² (14% površine) pogodan je za izgradnju solarnih elektrana u kombinaciji sa vrlo pogodnim lokacijama koje obuhvataju oko 113 km², što je više od 4% površine. Najpogodnije lokacije većinom su zastupljene u severozapadnom i severoistočnom delu prostora istraživanja.

ZAKLJUČAK

Na teritoriji Jablaničkog okruga izvršena je analiza i evaluacija šest prirodnih i antropogenih uslova sa ciljem identifikovanja pogodnih lokacija za izgradnju solarnih elektrana. Obradom geoprostornih podataka u GIS-u i primenom BWM metode, dobijena je sintezna karta pogodnosti, gde su površine u severoistočnom i severozapadnom delu označene kao najpovoljnije. Ukupno je više od 18% teritorije pogodno i vrlo pogodno za primenu solarne energije.

Prisojne strane terena, relativno ravne površine sa niskom vegetacijom (livade, pašnjaci) koje se nalaze u blizini saobraćajnica i na dovoljnoj distanci od naselja i reka, označeni su kao idealni za instalaciju fotonaponskih panela. Kako bi se izvršila verifikacija rezultata dobijenih kabinetskim radom, potrebno je terenskim istraživanjima potvrditi rezultate dobijene u GIS softveru. Rezultati istraživanja od koristi su donosiocima odluka jer pružaju adekvatan prikaz najpogodnijih lokacija za eksploataciju solarne energije. Izgradnja velikog broja solarnih elektrana omogućila bi racionalnije korišćenje fosilnih goriva i znatno manju emisiju gasova sa efektom staklene bašte. Samim tim, stanje životne sredine (kvalitet vode, vazduha i zemljišta) značajno bi se popravilo smanjenom upotrebom fosilnih goriva.

LITERATURA

- Al Garni, Z.H., Awasthi, A. (2017). Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Applied Energy*, 206, 1225-1240.
- Ayough, A., Boshruie, S., Khorshidvand, B. (2022). A new interactive method based on multi-criteria preference degree functions for solar power plant site selection. *Renewable Energy*, 195, 1165-1173.
- Deveci, M., Cali, U., Pamucar, D. (2021). Evaluation of criteria for site selection of solar photovoltaic (PV) projects using fuzzy logarithmic additive estimation of weight coefficients. *Energy Reports*, 7, 8805-8824,
- Doljak, D., Stanojević, G. (2017). Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia. *Energy*, 127, 291-300.
- Durlević, U., Čegar, N., Dobrić, M., Vukašinović, S., Lukić, T., Stevanović, V., Radovanović, D., Valjarević, A. (2023). The Heritage Climate Index (HERCI): Development, Assessment and Application for Tourism Purposes in Geoheritage and Cultural Heritage Sites. *Atmosphere*, 14 (8), 1265.
- Ghodusinejad, H.M., Noorollahi, Y., Zahedi, R. (2022). Optimal site selection and sizing of solar EV charge stations. *Journal of Energy Storage*, 56 (A), 105904.
- Liang, F., Brunelli, M., Rezaei, J. (2020). Consistency issues in the best worst method: Measurements and thresholds. *Omega*, 96, 102175.
- Minak, G. (2023). Solar Energy-Powered Boats: State of the Art and Perspectives. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11, 1519.

Odabir lokacija za izgradnju solarnih elektrana primenom GIS i BWM metode na primeru Jablaničkog okruga

Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49-57.

Rezaei, J. (2016). Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega*, 64, 126-130.

Tan, D., Wu, Y., Zhang, Z., Jiao, Y., Zeng, L., Meng, Y. (2023). Assessing the Life Cycle Sustainability of Solar Energy Production Systems: A Toolkit Review in the Context of Ensuring Environmental Performance Improvements. *Sustainability*, 15, 11724.

Habib, M.S., Suliman, E.E-R.A., Al Nahry, H.A., El Rahman, A.N.E. (2020). Spatial modeling for the optimum site selection of solar photovoltaics power plant in the northwest coast of Egypt. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 18, 100313.