

UDK: 71:621.311.243(497.11)
DOI: 10.5937/LSPUPNXI_26093P
Pregledni naučni rad

PRIMENA VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE PRI IZDVAJANJU POVRŠINA POGODNIH ZA INSTALACIJU SOLARNIH POSTROJENJA NA TERITORIJI OPŠTINE PRIBOJ

**Slađana Popović¹, Radoslav Ranković²,
Jovan Petronijević³, Tijana Radosavljević⁴**

Apstrakt: Rad je fokusiran na identifikaciju i analizu prostorne pogodnosti terena za instalaciju solarnih elektrana na teritoriji opštine Priboj, pomoću višekriterijumske analize odlučivanja (GIS-BWM) koja se zasniva na geografskim informacionim sistemima (GIS) i Best-Worst metodu (BWM). Istraživanjem je obuhvaćena analiza i vrednovanje prirodnih i antropogenih uslova na teritoriji odabrane jedinice lokalne samouprave. Primenom navedenog metodološkog postupka omogućena je identifikacija najpogodnijih terena za izgradnju solarnih postrojenja na osnovu evaluacije i analize ukupno šest kriterijuma: ekspozicije, nagiba terena, korišćenja zemljišta, udaljenosti od naselja, saobraćajnica i vodotokova. Pomoću BWM izdvojene su lokacije sa najvećim energetske potencijalom. Dobijeni rezultati su klasifikovani u pet grupa, u zavisnosti od pogodnosti teritorije za instalaciju fotonaponskih panela. Kako se teritorija opštine Priboj odlikuje malom količinom energije globalnog zračenja po horizontalnoj površini, rezultati su pokazali da ona najvećim delom (57%) ima slabe pogodnosti za instalaciju solarnih panela, a čak 11% teritorije opštine je potpuno nepogodno za instalaciju. Ključni nalaz istraživanja ogleda se u detekciji optimalnih lokacija koje obuhvataju svega 10,1 km² (2%) ukupne površine i ispunjavaju sve kriterijume za instalaciju. Najznačajniji prostorni potencijali identifikovani su u naseljima Krnjača, Kasidoli, Pribojska Goleša i Pribojske Čelice. Dobijeni rezultati pružaju preciznu osnovu za strateško prostorno planiranje i proces implementacije jednog od održivih izvora energije na teritoriji opštine Priboj.

Ključne reči: Priboj, solarne elektrane, BWM, obnovljivi izvori energije.

APPLICATION OF MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR IDENTIFYING AREAS SUITABLE FOR SOLAR POWER PLANT INSTALLATION IN THE MUNICIPALITY OF PRIBOJ

Abstract: This paper focuses on the identification and analysis of terrain suitability for the installation of solar power plants within the territory of the Municipality of Priboj, using a multicriteria decision-making approach (GIS-BWM) based on Geographic Information

¹ Doktorand, Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, Studentski trg 3/III, 11000 Beograd, stipendista Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija, sladjanasladjap98@gmail.com, ORCID: 0009-0005-2931-8543

² Doktorand, Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, Studentski trg 3/III, 11000 Beograd, stipendista Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija, rankovicradoslav3@gmail.com, ORCID: 0009-0004-1885-0502

³ Asistent, Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, Studentski trg 3/III, 11000 Beograd, jovan.petronijevic@gef.bg.ac.rs, ORCID: 0009-0002-0571-2819

⁴ Doktorand, Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, Studentski trg 3/III, 11000 Beograd, tijana.radosavljevic.2000@gmail.com, ORCID: 0009-0009-1753-1338

Systems (GIS) and the Best–Worst Method (BWM). The research encompasses the analysis and evaluation of both natural and anthropogenic conditions within the selected local administrative unit. The applied methodological framework enables the identification of the most suitable areas for the construction of solar facilities through the assessment of six criteria: aspect, slope, land use, distance from settlements, transportation infrastructure, and watercourses. Using the BWM, locations with the highest energy potential were identified. The obtained results were classified into five suitability classes, depending on the degree of terrain appropriateness for photovoltaic panel installation. Given that the territory of the Municipality of Priboj is characterized by a relatively low amount of global horizontal irradiance, the results indicate that the majority of the area (57%) exhibits low suitability for solar panel installation, while as much as 11% of the municipal territory is completely unsuitable. The key finding of the study lies in the identification of optimal locations covering only 10.1 km² (2%) of the total area, which meet all criteria for installation. The most significant spatial potentials were identified in the settlements of Krnjača, Kasidoli, Pribojska Goleša, and Pribojske Čelice. The results provide a precise basis for strategic spatial planning and the implementation of solar energy as a sustainable energy source within the Municipality of Priboj.

Keywords: Priboj, solar power plants, BWM, renewable energy sources.

UVODNA RAZMATRANJA

Od svog postanka do danas, čovek koristi različite izvore za proizvodnju energije – kako obnovljive tako i neobnovljive. Neobnovljive izvore karakteriše dug period formiranja, zbog čega se ne mogu lako i brzo obnoviti kada se iscrpe. U njih se ubrajaju: uglj, nafta, prirodni gas i mineralne sirovine. Obnovljive resurse karakteriše ciklični period obnavljanja, što znači da se ne mogu potpuno iscrpeti. Ova grupa resursa uključuje: Sunčevu energiju, vetar, vodu, geotermalnu energiju, zemljište i biomasu (Matemilola & Sijuade, 2020). Pronalaskom parne mašine i početkom industrije, čovečanstvo se okrenulo upotrebi fosilnih goriva pri dobijanju energije. Uloga fosilnih goriva tokom istorije jačala je toliko da je postala glavni adut u svetskoj ekonomiji i trgovini, kao i jedan od ključnih negativnih energetske činilaca u životnoj sredini. Priča o drugačijim, obnovljivim, izvorima energije poslednjih nekoliko decenija dobija sve veći značaj, budući da je planeta suočena sa sve većim oscilacijama klimatskih parametara, pre svega temperature vazduha, što je posledica, prvenstveno, upotrebe fosilnih goriva (Jaiswal, 2023). Zbog toga je neophodno pronaći adekvatno rešenje, koje će smanjiti zavisnost od upotrebe fosilnih goriva i dati prednost „zelenoj“ energiji, čiji će uticaj na klimu i životnu sredinu biti zanemarljiv. To se postiže upravo korišćenjem obnovljivih izvora energije.

Od postojećih vidova obnovljivih izvora, najviše se eksploatišu energija Sunca i vetra, čiji bi potencijal trebalo da zadovolji potrebe za energijom na globalnom nivou. S tim u vezi, gotovo svake godine se vrše projekcije udela korišćenja obnovljivih izvora pri proizvodnji energije u odnosu na fosilna goriva. Međunarodna agencija za energiju (eng. *International Energy Agency*) predviđa da će se kapacitet energije dobijene iz obnovljivih izvora, za period 2025–2030. godine, povećati za 4.600 GW, što je dvostruko više nego u periodu 2019–2024. godine (IEA, 2025). Sunce je najstariji i glavni izvor energije, ukupne snage zračenja $3,8 \times 10^{26}$ W u svim pravcima (od toga na Zemlju padne $1,7 \times 10^{17}$ W) i budući da ne emituje ugljen-dioksid, predstavlja najčistiji resurs (Matemilola & Sijuade, 2020). Međutim, upotreba Sunčeve energije prostorno je ograničena geografskim položajem mesta, vremenskim uslovima i korišćenjem zemljišta (Demirtas, 2013).

Teritorija Srbije, u energetske smislu, ne poseduje značajnija nalazišta fosilnih goriva, dok s druge strane poseduje značajan potencijal u pogledu iskorišćavanja obnovljivih resursa i proizvodnje takozvane zelene energije. Opština Priboj uzeta je za predmet analize prostorne pogodnosti za korišćenje solarne energije. Analiza je sprovedena upotrebom

geografskih informacionih Sistema (GIS-a) i Best-Worst metoda (BWM), kroz vrednovanje prirodnih i antropogenih uslova, a u cilju identifikovanja najpogodnijih mesta za postavljanje fotonaponskih ćelija i dobijanja odgovora na pitanje da li je na teritoriji opštine Priboj uopšte moguće dobijanje električne energije pomoću energije Sunca.

METODOLOŠKE NAPOMENE

Za potrebe ovog rada korišćene su dve grupe geoprostornih podataka. To su: digitalni model (DEM) prostorne rezolucije 25 m i geoprostorna baza Corine Land Cover (2018), preuzeti sa geoportala Evropske agencije za zaštitu životne sredine. EU-DEM prostorne rezolucije 25 m poslužio je za izradu tematskih karata ekspozicije i nagiba terena, dok je geoprostorna baza Corine Land Cover (2018) korišćena za izradu karte namene zemljišta. Podaci o naseljima, rečnim tokovima i saobraćajnicama na teritoriji analizirane opštine preuzeti su sa Open Street Map platforme i digitalizovani su.

Primenjeni metod u radu jeste linearni Best-Worst model za potrebe određivanja težinskih koeficijenata za šest kriterijuma. BWM je jedan od novijih modela višekriterijumske analize (Durlević i dr., 2023). Razvio ga je Jafar Rezaei 2015. godine, kako bi otklonio probleme nekonzistentnosti koji se javljaju kod starijih metoda poput analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP-a). Postupak primene best-worst metoda sprovodi se u pet faza (Rezaei, 2015).

Prva faza se odnosi na identifikaciju relevantnih kriterijuma $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ koji utiču na donošenje odluke. U drugoj fazi se od odabranih kriterijuma bira najuticajniji (najbolji) i najmanje uticajan (najgori). Treća faza predstavlja poređenje najboljeg kriterijumima sa ostalim. Prilikom komparacije koristi se skala vrednosti od 1 do 6, gde vrednost 1 ima jednaku važnost, a vrednost 6 podrazumeva da je najbolji kriterijum ocenjen kao najvažniji među kriterijumima. Skala od 1 do 6 je primenjena prema preporukama Durlevića i saradnika (2023), jer se pokazalo da uža skala olakšava proces poređenja i doprinosi većoj konzistentnosti rezultata. Četvrta faza je slična prethodnoj, s tim da se tokom nje vrši poređenje sa najgorim kriterijumom. U ovoj fazi se utvrđuje koliko su svi ostali kriterijumi značajniji u odnosu na onaj koji je označen kao najgori. Tokom poslednje, pete faze, cilj je minimizirati maksimalnu razliku između apsolutnih razlika težina njihovih procenjenih vrednosti:

$$\min_w \max_j \{ |w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{jW}w_W| \} \\ \sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j \geq 0, \text{ za sve } j$$

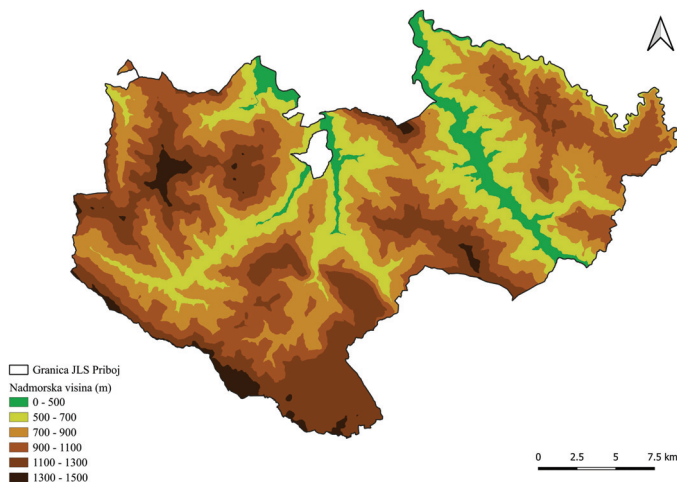
Ovo se odnosi na rešavanje modela linearnog programiranja kako bi se dobile optimalne vrednosti težinskih koeficijenata:

$$\min \xi \text{ uz ograničenja} \\ |w_B - a_{Bj}w_j| \leq \xi, \text{ za sve } j \\ |w_j - a_{jW}w_W| \leq \xi, \text{ za sve } j \\ \sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j \geq 0, \text{ za sve } j$$

Gde w_B i w_W predstavljaju težine najboljeg i najgoreg kriterijuma, dok su w_j težine ostalih kriterijuma. Rešenjem modela dobijaju se optimalne težine i indikator konzistentnosti ξ (Rezaei, 2016). Hijerarhija kriterijuma u ovom radu formirana je na bazi komparativne analize dosadašnjih istraživanja i specifičnih geografskih odlika istraživanog područja. Ovakav pristup omogućava da se, u skladu sa metodološkim preporukama (Durlević i dr., 2023), smanji subjektivnost pri formiranju početnih matrica i dobiju pouzdani težinski koeficijenti.

Primena višekriterijumske analize pri izdvajanju površina pogodnih za instalaciju solarnih postrojenja na teritoriji opštine Priboj

Prostorni obuhvat istraživanja obuhvata teritoriju opštine Priboj (slika 1). Odabrana jedinica lokalne samouprave smeštena je u jugozapadnom delu Republike Srbije, uz granicu sa Crnom Gorom i Bosnom i Hercegovinom. Prostire se na površini od oko 550 km². U administrativnom pogledu, opština Priboj se sastoji od 33 naselja (jedno gradsko i 32 ostala). Prema rezultatima popisa stanovništva iz 2022. godine, u opštini Priboj je živelo 24.975 stanovnika (P3C, 2022).



Slika 1. Prostor istraživanja (Izvor: obrada autora).

REZULTATI I DISKUSIJA

Analiza nivoa konzistentnosti parnih poređenja pokazala je da je dobijena vrednost od 0,02 prihvatljiva, s obzirom na to da je značajno niža od definisane vrednosti praga koja iznosi 0,30. Primenom linearnog BWM modela i obradom dodeljenih numeričkih vrednosti, dobijeni su finalni težinski koeficijenti za svaki od šest posmatranih kriterijuma.

Tabela 1. Matrica sa vrednostima parametara

Najbolji i ostali	E	Z	N	R	NT	S
Ekspozicija	1	2	3	4	5	6
Najgori i ostali	S	NT	R	N	Z	E
Saobraćajnice	6	5	4	3	2	1

Izvor: obrada autora. Napomena: E – ekspozicija, Z – namena zemljišta, N – udaljenost od naselja, R – udaljenost od reka, NT – nagib terena, S – udaljenost od saobraćajnica.

U skladu sa postavljenom hijerarhijom, kao najznačajniji parametar određena je ekspozicija terena, koja direktno uslovljava stepen insolacije područja opštine Priboj. Nasuprot tome, kao najmanje uticajan faktor izdvojena je udaljenost od saobraćajnica. Uz ključne faktore, u finalni proračun su sa odgovarajućim težinama uključeni i: nagib terena, namena zemljišta, kao i udaljenost od rečnih tokova i naseljenih mesta.

Tabela 2. Težinski koeficijenti

Parametar	E	Z	N	R	NT	S
Koeficijent	0,38	0,22	0,15	0,11	0,09	0,05

Izvor: obrada autora.

Nakon definisanja težinskih koeficijenata, izvršena je reklasifikacija svih šest ulaznih parametara. Svakom kriterijumu dodeljena je ocena u rasponu od 1 do 5, gde ocena 1 predstavlja nepogodne uslove (npr. severne ekspozicije, veliki nagibi ili šumska vegetacija), dok ocena 5 ukazuje na maksimalnu pogodnost za instalaciju fotonaponskih sistema. Ovakav pristup omogućio je standardizaciju različitih tipova podataka u jedinstvenu bazu spremnu za izradu tematskih karata.

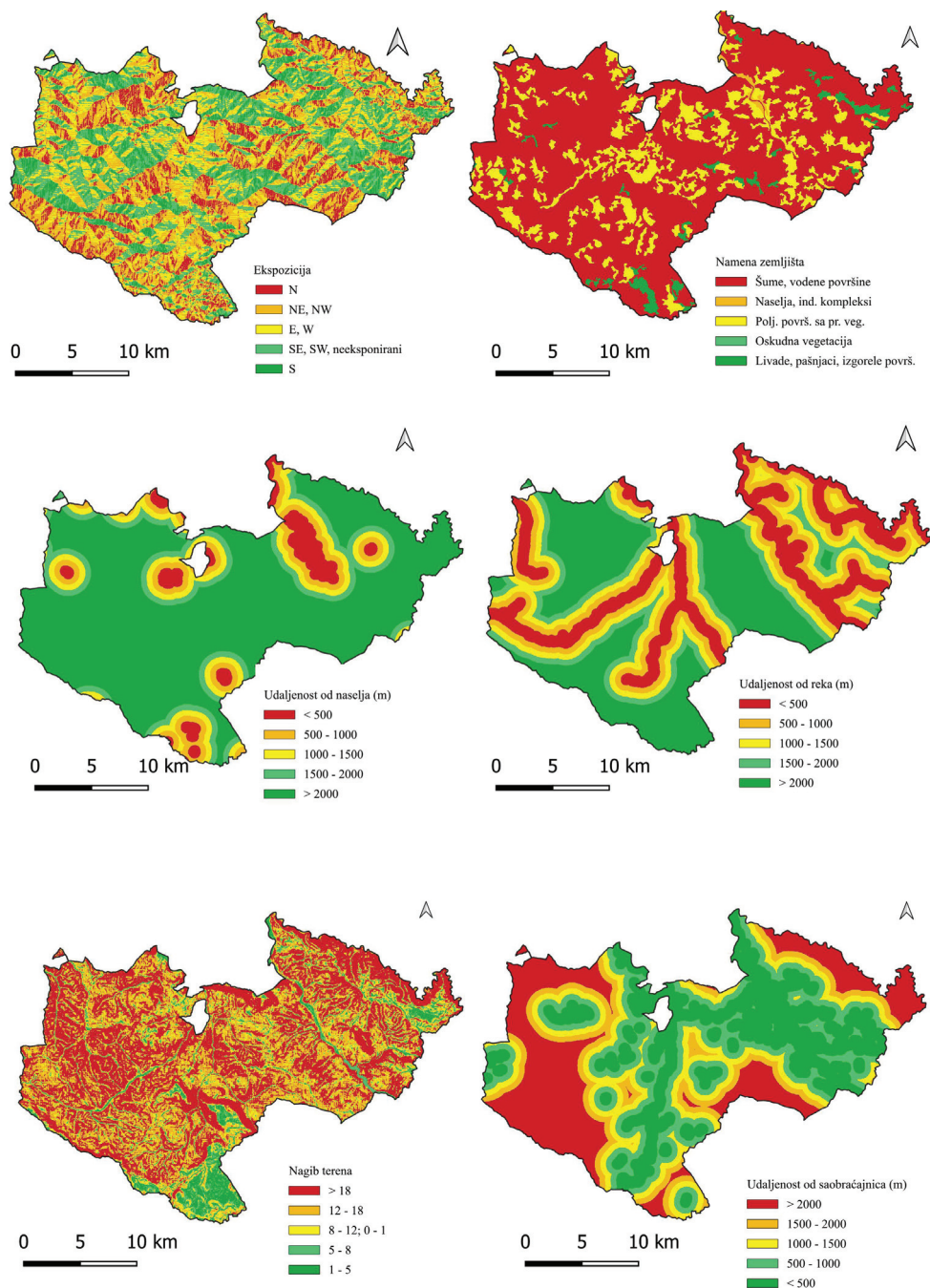
Tabela 3. Ocena prirodnih i antropogenih parametara

Parametar / ocena	1	2	3	4	5
Ekspozicija	N	NE, NW	E, W	SE, SW	S
Nagib terena (°)	> 18	12 – 18	8 – 12	5 – 8; 0 – 1	1 – 5
Namena zemljišta	Šume, vodene površine	Naselja, industrijski kompleksi	Poljoprivredne površine sa prirodnom vegetacijom	Površine sa oskudnom vegetacijom	Livade, pašnjaci, izgorele površine
Udaljenost od reka (m)	0 – 500	500 – 1000	1000 – 1500	1500 – 2000	> 2000
Udaljenost od naselja (m)	0 – 500	500 – 1000	1000 – 1500	1500 – 2000	> 2000
Udaljenost od saobraćajnica (m)	> 2000	1500 – 2000	1000 – 1500	500 – 1000	0 – 500

Izvor: obrada autora.

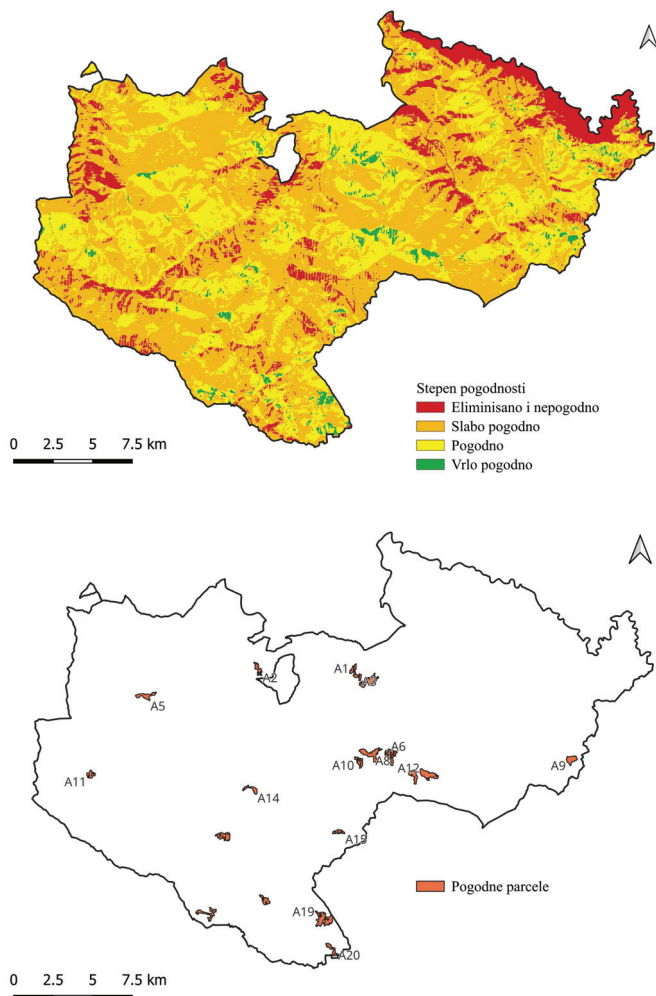
Vizuelnom analizom tematskih karata (slika 2) uočava se da je ekspozicija terena primarni eliminacioni faktor, jer prostrane severne strane onemogućavaju dovoljnu insolaciju, bez obzira na ostale povoljne uslove. Na nju se nadovezuje nagib terena, koji jasno izdvaja strme padine klisure Lima i okolnih planina kao nepogodne, dok ravniji platoi dobijaju najviše ocene. Karta namene zemljišta ističe dominantost šumskih kompleksa koji su izuzeti iz analize, čime su livade i pašnjaci primarno definisani kao prostori za potencijalnu gradnju. Sa aspekta udaljenosti od naselja, favorizujuće lokacije su one na optimalnoj distanci od urbanih zona. Udaljenost od reka dodatno ograničava prostor uz Lim i njegove pritoke zbog morfologije korita i zaštite od poplava, dok faktor udaljenosti od saobraćajnica naglašava prednost lokacija u blizini postojeće infrastrukture radi smanjenja troškova izgradnje.

Primena višekriterijumske analize pri izdavanju površina pogodnih za instalaciju solarnih postrojenja na teritoriji opštine Priboj



Slika 2. Vizuelizacija prirodnih i antropogenih uslova (Izvor: obrada autora).

Sintezom svih šest faktora dobijena je finalna karta pogodnosti teritorije opštine Priboj za instalaciju solarnih postrojenja (slika 3). Analiza sintezne karte pokazuje da je oko 60,3 km² (11%) istraživanog prostora opštine Priboj označeno kao eliminisano ili nepogodno, što je primarno posledica strogih ograničenja poput zaštite Parka prirode „Zlatibor” (severoistočni deo opštine), šumskih ekosistema i ekstremnih nagiba. Najveći deo teritorije, odnosno 312,6 km² (57%), kategorisan je kao slabo pogodan, dok je za izgradnju solarnih elektrana pogodno 164,4 km² (30%). Svega 10,1 km² (2%) teritorije poseduje idealne uslove, a najpogodnije lokacije su prostorno koncentrisane u atarima naselja; Krnjača, Kasidoli, Pribojska Goleša i Pribojske Čelice.



Slika 3. Sinteza karta pogodnosti i najpogodnije parcele (Izvor: obrada autora).

Primena višekriterijumske analize pri izdvajanju površina pogodnih za instalaciju solarnih postrojenja na teritoriji opštine Priboj

Kako bi se dobijeni rezultati preveli u praktično primenljive okvire, iz ukupnog skupa od preko 900 fragmentisanih parcela izdvojeno je 20 najidealnijih (A1–A20) (slika 3). Drugim rečima, izdvojene su parcele čije su površine veće od 10 ha (0,1 km²). Ovakva generalizacija omogućava preciznu identifikaciju lokacija koje, pored ispunjenih kriterijuma, nude i dovoljan prostorni kapacitet za ekonomski isplativu izgradnju fotonaponskih sistema.

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Sprovedeno istraživanje potvrdilo je da opština Priboj raspolaže značajnim, ali prostorno strogo ograničenim potencijalom za izgradnju solarnih elektrana. Primena linearnog BWM modela u GIS okruženju omogućila je objektivnu evaluaciju šest ključnih faktora, pri čemu se ekspozicija terena izdvojila kao dominantan eliminacioni parametar koji, usled kompleksne morfologije i dubokih senki planinskog reljefa, diktira primarnu pogodnost lokacija. Rezultati pokazuju da je, uprkos velikim prostranstvima pod šumama i zaštiti Parka prirode „Zlatibor”, identifikovano 30% (164,4 km²) pogodne teritorije, dok svega 2% (10,1 km²) poseduje idealne uslove za eksploataciju solarne energije, prvenstveno u atarima naselja Krnjača, Kasidoli, Pribojska Goleša i Pribojske Čelice. Ključni doprinos ovog rada ogleda se u prevazilaženju teorijskih okvira i nuđenju konkretnih rešenja koja su ekonomski isplativa i infrastrukturno održiva. Ovakav metodološki pristup pruža donosiocima odluka mehanizam za strateško planiranje energetske tranzicije, čime se direktno doprinosi smanjenju zavisnosti od fosilnih goriva i dugoročnom očuvanju životne sredine u analiziranom prostoru jugozapadnog dela Srbije.

LITERATURA

- Demirtas, O. (2013). Evaluating the Best Renewable Energy Technology for Sustainable Energy Planning. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 3, 23-33.
- Durlević, U., Novković, I., Obradović, T., Mladenović, N. i Vujović, F. (2023). Odabir lokacija za izgradnju solarnih elektrana primenom GIS i BWM metode na primeru Jablaničkog okruga. U Filipović, D., Šećerov, V. i Đorđević, D.S. (ur.). *Zbornik radova sa Dvanaestog naučno-stručnog skupa sa međunarodnim učešćem „Planska i normativna zaštita prostora i životne sredine”* (str. 261-268). Beograd: Asocijacija prostornih planera Srbije i Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet.
- IEA (2025). *Renewables 2025. Analysis*. Preuzeto sa <https://www.iea.org/reports/renewables-2025/renewable-electricity> (datum pristupa: 07.03.2026).
- Jaiswal, S. (2023). Renewable energy from solar panels: A study of photovoltaic physics and environmental benefits. *ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts*, 4(2), 990-996.
- Matemilola, S. & Sijuade, T. (2020). Renewable Resource. In Idowu, S., Schmidpeter, R., Capaldi, N., Zu, L., Del Baldo, M. and Abreu, R. (eds.). *Encyclopedia of Sustainable Management* (pp. 1-6). Cham: Springer.
- 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.
- P3C (2022). *Први резултати Пописа становништва, домаћинстава и станова 2022*. Београд: Републички завод за статистику.