

PRIMENA GIS-A I METODE VIŠEKRITERIJUMSKE ANALIZE ZA IDENTIFIKACIJU POTENCIJALNIH LOKACIJA ZA IZGRADNJU SOLARNIH ELEKTRANA NA TERITORIJI JABLANIČKOG OKRUGA

Matija Milić¹, Milan Miletić², Jovana Vuletić³

Apstrakt: Ubrzani porast broja stanovnika u svetu poslednjih decenija doprineo je većoj potrošnji električne energije. Električna energija dobijena iz obnovljivih izvora poput Sunca, vode, vetra i termalnih izvora može doprineti smanjenju zagađenja u regionima i državama širom sveta. Zbog toga je neophodno povećati ulaganja u izgradnju sistema koji će koristiti obnovljive izvore energije. Prema tome, predmet istraživanja rada je analiza uslova za izgradnju solarnih elektrana na teritoriji Jablaničkog okruga. Osnovni cilj rada je utvrđivanje i evaluacija osnovnih parametara povoljnosti za njihove potencijalne lokacije. U softveru QGIS izvršene su prostorne analize i izrađena je karta povoljnosti terena za izgradnju solarnih elektrana. AHP metod kao jedan od najznačajnijih metoda višekriterijumske analize primenjen je za određivanje težinskih koeficijenata kriterijuma. Analizom nagiba terena utvrđeno je da tereni koji su najpovoljniji za izgradnju solarnih elektrana obuhvataju 29,27% teritoriji okruga. Južne padine obuhvataju 10,13% teritorije okruga, dok klasi najpovoljnijih pripadaju jugoistočne i jugozapadne padine sa ukupno 22,85% teritorije okruga. Višekriterijumskom analizom utvrđeno je da 15,88% teritorije Jablaničkog okruga ima veoma povoljne uslove za izgradnju solarnih elektrana.

Ključne reči: GIS, AHP metod, solarne elektrane, električna energija, Jablanički okrug

APPLICATION OF GIS AND MULTICRITERIA ANALYSIS METHODS FOR THE IDENTIFICATION OF POTENTIAL LOCATIONS FOR THE CONSTRUCTION OF SOLAR POWER PLANTS IN THE TERRITORY OF JABLANIČKI DISTRICT

Abstract: The rapid increase in the world's population in recent decades has contributed to higher electricity consumption. Electricity generated from renewable sources such as solar, hydro, wind and heat can contribute to the reduction of pollution in regions and countries around the world. It is therefore necessary to increase investment in the construction of plants that use renewable energy sources. The subject of the research paper is therefore the analysis of conditions for the construction of solar power plants on the territory of the Jablanički district. The main objective of the work is to determine and evaluate the basic

¹ Univerzitet u Nišu, Prirodno-matematički fakultet, Višegradska 33, 18000 Niš, Srbija; matija.milic@pmf.edu.rs, ORCID: 0000-0003-3837-8570;

² Univerzitet u Nišu, Prirodno-matematički fakultet, Višegradska 33, 18000 Niš, Srbija; milan.miletic@pmf.edu.rs, ORCID: 0000-0003-2657-5374;

³ Univerzitet u Nišu, Prirodno-matematički fakultet, Višegradska 33, 18000 Niš, Srbija; jovana.vuletic1@pmf.edu.rs, ORCID: 0009-0000-3090-5319.

parameters of convenience for their potential locations. Spatial analyzes were carried out using QGIS software and a map of the suitability of the terrain for the construction of solar power plants was created. The AHP method, one of the most important methods of multi-criteria analysis, was used to determine the weighting coefficients of the criteria. The analysis of the terrain slope showed that the most favorable terrain forms for the construction of solar power plants account for 29.27% of the territory of the district. The southern slopes occupy 10.13% of the district's area, while the southeastern and southwestern slopes belong to the most favorable class with a total of 22.85% of the district's area. A multi-criteria analysis showed that 15.88% of the territory of the Jablanica district has very favorable conditions for the construction of solar power plants.

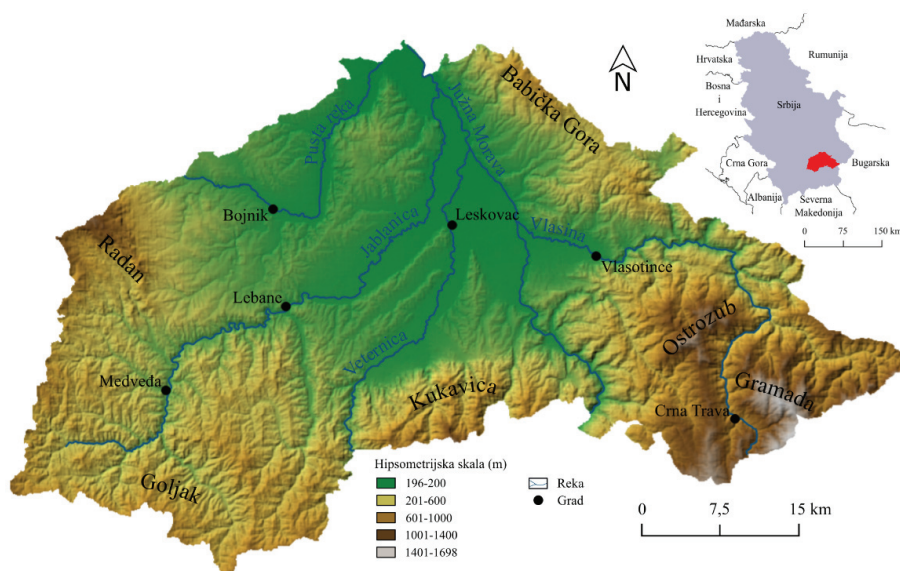
Keywords: GIS, AHP method, solar power plants, electric energy, Jablanički district

UVOD

Proizvodnja električne energije se nezaustavljivo povećava kako bi se zadovoljile globalne potrebe, dok sa druge strane, rezerve fosilnih goriva ponestaju. Osim problema dostupnosti, intenzivno korišćenje fosilnih goriva za dobijanje električne energije dovodi do degradacije životne sredine. Emisija gasova sa efektom staklene bašte (CO_2 , CH_4 , NO , halogenovani ugljovodonici) dovodi do porasta globalne temperature, a klimatske promene sa sobom donose niz ekstremnih događaja (oluje, suše, poplave) i posledica (nestašica hrane i pijaće vode, epidemije) (Долџак, 2020).

Ograničene rezerve tradicionalnih izvora energije, njihov negativni uticaj na životnu sredinu kao i potrebe za nižim troškovima proizvodnje električne energije podstakli su mnoge zemlje da povećaju upotrebu obnovljivih izvora energije. Solarna energija ima potencijal da zadovolji različite potrebe za električnom energijom u svakodnevnom životu, od kućne do industrijske upotrebe. Sunce predstavlja čist, besplatan i bogat izvor energije koji može da obezbedi održivi ekonomski razvoj bez zagađenja životne sredine i klimatskih promena. Direktna konverzija sunčeve energije u električnu odvija se putem fotonaponskog efekta. Veći broj fotonaponskih sistema postavljenih na jednom mestu radi proizvodnje električne energije za mrežu čini solarnu elektranu. Izbor odgovarajuće lokacije za izgradnju solarnih elektrana veoma je važan za smanjenje troškova ulaganja, kao i operativnih troškova i poboljšanje efikasnosti (Doljak & Stanojević, 2017; Yuce, Isik & Yalcin, 2022).

Republika Srbija ima dobar potencijal za korišćenje solarne energije za proizvodnju električne ili toplotne energije posebno u svojim jugoistočnim delovima gde na godišnjem nivou intenzitet Sunčevog zračenja u proseku iznosi 1550 kWh/m^2 (Tešić, 2023). U radu su istraženi potencijali korišćenja solarne energije na teritoriji Jablaničkog okruga (Slika 1). Cilj rada je da se odrede lokacije na kojima bi izgradnja solarnih elektrana bila ekonomski i ekološki opravdana.



Slika 1. Položaj Jablaničkog okruga

Izvor: Autori

Jablanički okrug, sa površinom od 2770,03 km², administrativno pripada regionu Južne Srbije. Okrugu pripada teritorija grada Leskovca i opštine Medveđa, Bojnik, Lebane, Vlasotince i Crna Trava (Павловић, 2019a). Teritorija grada Leskovca obuhvata središnji deo okruga, Leskovačku kotlinu i doline Južne Morave i Veternice. Opština Bojnik obuhvata istočne padine planine Radan i dolinu srednjeg i donjeg toka Puste reke. Zapadne oblasti okruga, u gornjem toku reke Jablanice, pripadaju opštini Medveđa. Opštini Lebane pripadaju oblasti u srednjem toku reke Jablanice, kao i oblasti koje pripadaju podgorini planine Goljak. Opština Vlasotince obuhvata oblasti u dolini reke Vlasine, desne pritoke Južne Morave. Najistočnija opština u okrugu je Crna Trava kojoj pripadaju oblasti u gornjem toku reke Vlasine i padine Ostrozuba i Gramade (Павловић, 2019b).

MATERIJALI I METODE

U radu su primenjeni deskriptivni, tekstualni, analitički, sintezni, kartografski, komparativni i aplikativni metod. Kartografskim metodom, kao jednim od najvažnijih, analizirani su podaci o reljefu, zemljišnom pokrivaču, nagibu terena, ekspoziciji, globalnom zračenju pod optimalnim nagibom (Global tilted irradiation - GTI) i zaštićenim prirodnim područjima na teritoriji Republike Srbije. Podaci o reljefu su preuzeti iz digitalnog elevacionog modela (DEM) rezolucije 30 m. Zemljišni pokrivač je analiziran pomoću baze podataka CORINE Land Cover Evropske agencije za zaštitu životne sredine (CLC, 2018). Sve analize su izvršene u softveru QGIS, na podlozi Google Road. Pojave i objekti na kartama su prikazani u Merkatorovoj projekciji WGS 84 / UTM zone 34N. U cilju izrade sintezne karte povoljnosti izgradnje solarnih elektrana na teritoriji Jablaničkog okruga korišćeno je 6 tematskih karata.

Primena GIS-a i metode višekriterijumske analize za identifikaciju potencijalnih lokacija za izgradnju solarnih elektrana na teritoriji Jablaničkog okruga

Za određivanje potencijalnih lokacija za izgradnju solarnih elektrana bilo je potrebno primeniti višekriterijumske metode za donošenje odluka. Jedna od najprimenjivijih je AHP metoda (analitički hijerarhijski proces). Metoda predstavlja jedan od najpogodnijih alata u analizi odlučivanja. Kreirana je u cilju pružanja pomoći donosiocima odluka u rešavanju složenih problema odlučivanja u kojima učestvuje veliki broj alternativa (Gunen, 2021; Milić, 2024).

AHP metodu prvi prut su predložili Majers i Alpet 1968. godine. Tomas Saati je 1977. godine razvio upotrebljiv metod za rešavanje problema u donošenju odluka (Colak et al., 2019; Yuce et al., 2022). Najvažnija karakteristika metode je da donosilac odluka može uključiti objektivne i subjektivne činjenice u procesu donošenja odluka. Ovim metodom se kombinuju znanja, iskustva, misli i intuicija pojedinaca (Milić, 2024). AHP metod koristi Satijevu skalu koja služi za objašnjenje rangiranja pojava. Rang apsolutno najznačajnije i najpoželjnije je na skali 9, veoma snažno ka apsolutno najznačajnijem na skali 8, veoma snažno ka veoma značajnom i poželjnom na skali 7, snažno ka veoma snažno na skali 6, snažnije više značajno i poželjno na skali 5, snažnije ka više značajnijem na skali 4, slabije više značajno i poželjno na skali 3, podjednako ka slabijem i višem na skali 2 i podjednako značajno i poželjno na skali 1 (Saaty, 2008; Solangi et al., 2019; Yuce et al., 2022). Metoda se zasniva na matrici poređenja u paru za određivanje težine glavnog kriterijuma i podkriterijuma. Poređenje je veoma važno za određivanje nivoa na kojem je jedan kriterijum važniji od drugog (Gunem, 2021). U narednoj tabeli predstavljena je matrica AHP metode koja je primenjena za dobijanje finalne karte povoljnosti terena za izgradnju solarnih elektrana u Jablaničkom okrugu.

Tabela 1. Primenjena AHP matrica za teritoriju Jablaničkog okruga

	GTI	Ekspozicija	Corine Land Cover	Nagib
GTI	1	3	4	4
Ekspozicija	1/3	1	4	3
Corine Land Cover	1/4	1/4	1	3
Nagib	1/4	1/3	1/3	1

Izvor: Autori

REZULTATI I DISKUSIJA

Prostornom analizom GTI utvrđeno je da najveći deo površine Jablaničkog okruga ima povoljne uslove za izgradnju solarnih elektrana. Ukupna površina od 73,15% koja pripada ovoj klasi prima 1500-1600 kWh/m² globalnog zračenja na godišnjem nivou. Količinu veću od 1600 kWh/m² globalnog zračenja prima 21,39% teritorije okruga, u kome vladaju veoma povoljni uslovi za izgradnju solarnih elektrana. Samo 0,05% teritorije okruga pripada veoma nepovoljnoj klasi i prima manje od 1300 kWh/m². Tereni sa nepovoljnim uslovima za izgradnju solarnih elektrana obuhvataju 0.48% teritorije okruga. Srednje povoljne uslove imaju tereni koji primaju 1400-1500 kWh/m² globalnog zračenja na godišnjem nivou i zahvataju 4,93% teritorije okruga.

Namena zemljišta je jedan od važnih faktora koji se često uzima u obzir prilikom izgradnje objekta i solarnih elektrana. Takođe, veoma je važno voditi računa koji tipovi vegetacije dominiraju na istraživanom prostoru jer u velikoj meri mogu biti ograničavajući faktor (Milić, 2024). Prema prostornoj analizi namene zemljišta utvrđeno je da veliki deo teritorije okruga ima veoma nepovoljne uslove za izgradnju solarnih elektrana. Površine na kojima nije moguće izgraditi solarne elektrane obuhvataju 56,04% teritorije okruga. Ovoj klasi pripadaju teritorije ruralnih i urbanih sredina, industrijske zone i komercijalne jedinice, oblasti ekstrakcije mineralnih sirovina, gradilišta, objekti za sport i rekreaciju, voćne plantaže, listopadne, četinarske i mešovite šume, vodotoci, močvare i oblasti pod vodom. Tereni koji imaju srednje povoljne uslove za izgradnju solarnih elektrana obuhvataju 16,94% teritorije okruga. Srednje povoljnoj klasi pripada poljoprivredno zemljište sa prirodnom vegetacijom i prelazne žbunovite oblasti. Nepovoljne uslove, koji vladaju na vinogradima, poljoprivrednim površinama i oblastima zahvaćenim požarima, ima 13,67% teritorije okruga. Za razliku od njih, povoljne uslove ima 10,99% teritorije okruga. Ovoj klasi pripada nenavodnjavano poljoprivredno zemljište. Najmanju površinu okruga obuhvataju pašnjaci, prirodni travnjaci i oblasti sa oskudnom vegetacijom. Oni imaju veoma povoljne uslove za izgradnju solarnih elektrana i obuhvataju samo 2,36% teritorije okruga.

Nagib i ekspozicija predstavljaju veoma bitne faktore koji se uzimaju u obzir prilikom izgradnje objekata. Najpovoljnije padine za izgradnju solarnih elektrana su one koje su okrenute ka jugu, jugoistoku i jugozapadu (Doljak, 2020). Najveći deo okruga, 34,84%, ima srednje povoljne uslove za izgradnju solarnih elektrana i obuhvata padine nagiba 10-20°. Veoma povoljne uslove, sa terenima koji imaju manje od 5° nagiba, ima 29,22% teritorije okruga. Tereni sa veoma povoljnim uslovima su registrovani u Leskovačkoj kotlini i njenom obodu, dolini Južne Morave, donjim tokovima Puste reke, Jablanice, Veternice i Vlasine, kao i na vrhovima uzvišenja u brdsko-planinskim krajevima okruga. Povoljne uslove ima klasa kojoj pripadaju nagibi terena 5-10°. Oni obuhvataju 23,62% teritorije okruga. Nagib terena veći od 30° procentualno obuhvata najmanju površinu okruga od 1,19% teritorije i pripada veoma nepovoljnoj klasi. Tereni sa nepovoljnim uslovima za izgradnju solarnih elektrana i nagiba od 20-30° obuhvataju 11,13% teritorije okruga.

Najveću površinu okruga zahvataju istočne i zapadne padine koje imaju srednje povoljne uslove za izgradnju solarnih elektrana. One obuhvataju 29,08% teritorije okruga i dominiraju u podgorini Radana, Goljaka, Babičke Gore, Ostrozuba i Gramade. Analizom rezultata je utvrđeno da tereni sa nepovoljnim i veoma nepovoljnim uslovima obuhvataju veću površinu u odnosu na povoljne i veoma povoljne terene. Nepovoljni tereni koji obuhvataju severozapadne i severoistočne padine obuhvataju 25,63% teritorije okruga. Veoma nepovoljni tereni koji obuhvataju severne padine Kukavice, Goljaka, Ostrozuba i Gramade zahvataju 12,32% teritorije okruga. Jugoistočne i jugozapadne padine zahvataju 22,84% teritorije okruga. Najmanju površinu okruga zahvataju veoma povoljni uslovi za izgradnju solarnih elektrana. Ovoj klasi pripadaju južne padine koje obuhvataju samo 10,13% teritorije okruga.

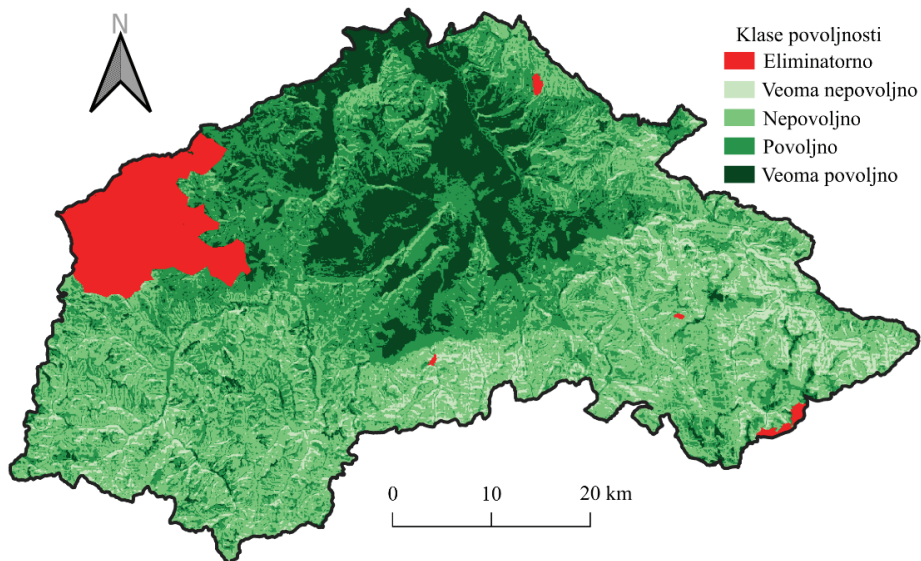
Prostornom analizom registrovane su površine na teritoriji okruga na kojima nije moguće izgraditi solarne elektrane i one su označene kao eliminatorne. Površine koje su registrovane kao eliminatorne su bile teritorije urbanih sredina, industrijske i komercijalne jedinice, oblasti ekstrakcije mineralnih sirovina, gradilišta, objekti za sport i rekreaciju, voćne plantaže, listopadne, četinarske i mešovite šume, vodotoci, kopnene močvare i oblasti pod vodom. Analizom površina, istoj klasi su dodate i površine zaštićenih prirodnih dobara na teritoriji okruga kao što su: Park prirode Radan (I, II i III zona), Nematerijalno kulturno dobro – Prirodni prostor kompleksa Jašunjskih manastira sv. Jovana i sv. Bogorodice, Park Izuzetnih odlika Vlasina (II zona), Specijalni rezervat prirode Zelenice, Spomenik prirode Mrkonjski vis, Stablo oskoruse – Sejanica, Hrast zapis u Crnoj Bari, u selu Orašac u opštini

Primena GIS-a i metode višekriterijumske analize za identifikaciju potencijalnih lokacija za izgradnju solarnih elektrana na teritoriji Jablaničkog okruga

Leskovac, Bogojevački brest – zapis, Kutleški hrast – zapis, Stablo hrasta lužnjaka u selu Slavnik. Rezultati su pokazali da su eliminatorne površine, odnosno oblasti na kojima nije moguće graditi solarne elektrane, obuhvatale 6,54% teritorije okruga. Sa druge strane, 93,46% teritorije okruga po ovom kriterijumu ima povoljne uslove za izgradnju solarnih elektrana.

U cilju dobijanja finalne karte povoljnosti terena sabrani su reklasifikovani lejeri koji se odnose na GTI, ekspoziciju terena, nagib terena i namena korišćenja zemljišta, pri čemu je svakom lejeru dodat težinski koeficijent dobijen AHP metodom. Najniži težinski koeficijent u vrednosti od 0,08 ima GTI. Ekspozicija i namena korišćenja zemljišta su veoma bitni faktori jer njihovi težinski koeficijenti iznose 0,14, odnosno 0,28. Najznačajniji faktor predstavlja nagib terena čiji težinski koeficijent iznosi 0,5.

Sledeći korak u analizi je bila reklasifikacija novodobijenog lejera u četiri klase. Zatim je pomnožen lejerom koji se odnosi na površine koje imaju eliminatorne vrednosti. Rezultati su pokazali da 6,54% teritorije okruga nema uslove za izgradnju solarnih elektrana. Najveći deo teritorije okruga, 38,67%, ima nepovoljne uslove za izgradnju solarnih elektrana. Tereni sa veoma nepovoljnim uslovima za izgradnju solarnih elektrana obuhvataju značajno manju površinu koja iznosi 5,96% teritorije okruga. Veoma povoljni uslovi za izgradnju solarnih elektrana su registrovani u Leskovačkoj kotlini, dolini Južne Morave, srednjem i donjem toku Puste reke, donjim tokovima Jablanice, Veternice i Vlasine. Na krajnjem istoku okruga, na teritoriji opštine Crna Trava, registrovano je nekoliko oblasti koje imaju veoma povoljne uslove za izgradnju solarnih elektrana. Registrovane oblasti su u selima Dobro Polje i Vus, kao i na padinama Gramade. Ukupna površina terena na kojima vladaju veoma povoljni uslovi iznosi 15,88% teritorije okruga. Povoljni uslovi za izgradnju solarnih elektrana registrovani su na obodu Leskovačke kotline, višim terenima okrenutim ka jugoistoku i jugozapadu. Oni zahvataju skoro 1/3 teritorije okruga, odnosno 32,95% (Slika 2).



Slika 2. Povoljnost terena dobijena višekriterijumskom analizom za izgradnju solarnih elektrana na teritoriji Jablaničkog okruga

Izvor: Autori

ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja pokazali su da Jablanički okrug ima značajan potencijal za izgradnju solarnih elektrana, pri čemu 15,88% teritorije poseduje veoma povoljne uslove, dok dodatnih 32,95% obuhvata terene koji su povoljni za ovu namenu. Prostorna analiza globalnog sunčevog zračenja, ekspozicije terena, nagiba i namene zemljišta, uz primenu AHP metode višekriterijumske analize, omogućila je precizno utvrđivanje optimalnih lokacija. Oblasti Leskovačke kotline, doline Južne Morave, srednjeg i donjeg toka Puste reke, donjeg toka Jablanice, Veternice i Vlasine, selo Dobro Polje i Vus, kao i padine Gramade koje pripadaju opštini Crna Trava identifikovane su kao najpovoljnije lokacije za izgradnju solarnih elektrana u Jablaničkom okrugu. Urbanizovane zone, oblasti eksploatacije mineralnih sirovina, zaštićena prirodna područja, šumska i močvarna područja, koja obuhvataju 6,54% okruga, označena su kao eliminatorna područja na kojima nije moguća izgradnja solarnih elektrana zbog prirodnih, infrastrukturnih ili zakonskih ograničenja.

Prednosti korišćenja solarne energije ogledaju se u njenoj neograničenoj količini i minimalnom uticaju na životnu sredinu. Rezultati ovog i sličnih istraživanja mogu doprineti efikasnom prostornom planiranju i unapređenju energetske strategije jer pružaju osnovu za donošenje odluka o korišćenju obnovljivih izvora energije i ostvarivanja ciljeva održivog razvoja na lokalnom, regionalnom i nacionalnom nivou.

LITERATURA

Colak, H. E., Memisoglu, T. & Gercek, Y. (2020). Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: A case study of Malatya Province, Turkey. *Renewable energy*, 149, 565-576.

CORINE Land Cover (2018). Dostupno na: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover> (Pristupljeno 11. februara 2025. god).

Doljak, D. & Stanojević, G. (2017). Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia, *Energy*, 127, 291-300.

Дољак, Д. (2020). Вредновање геопростора за потребе планирања фотонапонских електрана у Србији. Докторска дисертација, Географски факултет, Универзитет у Београду, Београд.

Gunen, M. A. (2021). Determination of the suitable sites for constructing solar photovoltaic (PV) power plants in Kayseri, Turkey using GIS-based ranking and AHP methods. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(40), 57232-57247.

Hofierka, J. & Suri, M. (2002). The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications. In: B. Benciolini, M. Ciolli & P. Zatelli (eds.) *Proceedings of the Open Source Free Software GIS – GRASS users conference 2002* (pp. 51-70). Trento: Department of Civil and Environmental Engineering of University of Trento.

Milić, M. (2024). Primena GIS-a i AHP metode radi odabira potencijalnih lokacija za izgradnju solarnih elektrana na teritoriji Niša. U: V. Knežević (ur.) *Zbornik radova - Prirodne nauke* (str. 115-132). Banja Luka: Univerzitet u Banja Luci, Studentski parlament Univerziteta u Banja Luci.

Павловић, М. (2019а). *Географске регије Србије 2, Планинско-котлинско долињска макрорегија*. Београд: Универзитет у Београду – Географски факултет.

Павловић, М. (2019б). *Географија Србије 1*. Београд: Универзитет у Београду – Географски факултет.

Primena GIS-a i metode višekriterijumske analize za identifikaciju potencijalnih lokacija za izgradnju solarnih elektrana na teritoriji Jablaničkog okruga

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.

Solangi, Y. A., Shah, S. A. A., Zameer, H., Ikram, M. & Saracoglu, B. O. (2019). Assessing the solar PV power project site selection in Pakistan: based on AHP-fuzzy VIKOR approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 30286-30302.

Тешић, Д. (2023). Примена ГИС-а у процени потенцијала соларне енергије у општини Куршумлија. *Гласник Herald*, 26, 91–107.

Yuce, M., Isik, A. H. & Yalcin, C. (2022). Determination of solar power plant installation areas by AHP and FAHP methods (Burdur case). *Turkish Journal of Electromechanics and Energy*, 7(2), 83-9.