

PRIMENA GIS-A I AHP-A U IZBORU LOKACIJA ZA POSTAVLJANJE SOLARNIH PANELO NA TERITORIJI OPŠTINE SOKOBANJA

Dušica Jovanović¹

Apstrakt: U ovom radu analiziran je prostor teritorije opštine Sokobanja koji je najpogodniji za postavljanje solarnih panela. Solarna energija je obnovljiv izvor energije i veoma je značajna sa aspekta zaštite životne sredine, s obzirom na to da Sunce predstavlja čist oblik energije pri čijoj konverziji pomoću panela ne dolazi do zagađenja životne sredine. Tokom rada primenjen je analitički hijerarhjski proces (AHP) koji za cilj ima proračun pogodnosti terena za analiziranu pojavu u odnosu na određene kriterijume. Za potrebe ove analize u GIS okruženju korišćeni su podaci o globalnom zračenju na površinu pod optimalnim uglom, reljefnim karakteristikama (nagib i ekspozicija terena), nameni površina, udaljenosti od puteva, šuma i naselja i srednjoj godišnjoj temperaturi vazduha. U odnosu na postavljene kriterijume u okviru analitičkog hijerarhjskog procesa dobijeni rezultati klasifikovani su u četiri klase pogodnosti.

Ključne reči: solarni paneli, obnovljivi izvor energije, AHP

APPLICATION OF GIS AND AHP IN SELECTION OF SITES FOR INSTALLATION OF SOLAR PANELS: A CASE STUDY OF SOKOBANJA MUNICIPALITY

Abstract: This paper analyses the area which is the most suitable for the installation of solar panels in the municipality of Sokobanja. Solar energy is a renewable energy source and it is very important from the aspect of environmental protection, considering that the Sun is a pure form of energy whose conversion by means of panels does not lead to environmental pollution. In the paper, the goal of analytical hierarchical process (AHP) was to calculate the terrain predisposition for the analysed phenomenon in relation to the criteria set by the researcher. For the purposes of this analysis data about global surface radiation at optimal angle, relief characteristics (slope and terrain exposure), surface purpose, distance from roads, forests and settlements and average annual temperature were processed in the GIS environment. In relation to the set criteria within the analytical hierarchical process, the obtained results were classified in four suitability classes.

Key words: solar panels, renewable energy source, AHP

UVOD

Sunce je izvor skoro veće nuklearne reakcije kojom se oslobađa ogromna količina solarne energije (oko 2.1·10¹⁵ kWh/dan) u obliku elektromagnetnog zračenja (Gvozdenac et al., 2011; Boxwell, 2021). Postoje tri načina upotrebe solarne energije (Gvozdenac et al.,

¹ Univerzitet u Beogradu – Geografski fakultet, Studentski trg 3/3, dusica.jovanovic1012@gmail.com

Primena gis-a i ahp-a u izboru lokacija za postavljanje solarnih panela na teritoriji opštine Sokobanja

2011): pasivno – podrazumeva korišćenje fizičke strukture i orijentacije objekta gde suština primena zakona fizike tako da se postigne da se sam objekat ponaša kao regulator toplotnog protoka, aktivno – podrazumeva pretvaranje solarne energije u druge vidove energije – električnu i toplotnu pomoću fotonaponskih i drugih solarnih sistema i kombinovano – kombinacija aktivnog i pasivnog korišćenja.

Fotonaponski sistemi sastoje se od solarnih ćelija i koriste se za konverziju solarne energije u električnu ili toplotnu energiju (Stameniđ, 2009). Fotonaponski sistemi mogu da se podele u tri grupe: samostalne (izolovane) sisteme, sisteme povezane na električnu mrežu i hibridne sisteme (Mohanty et al., 2015).

Prosečna godišnja vrednost energije sunčevog zračenja za teritoriju koja je obuhvaćena prostornim planom opštine Sokobanja iznosi od 4 do 4.2 kWh/m²/dan, a vrednosti se kreću od 4,6 do 4,8 kWh/m²/dan, tako da područja obuhvaćena prostornim planom spadaju u pogodna za eksploataciju energije sunca. Neophodno je sprovesti istraživanja tehnoekonomske analize i merenja kojima će se pokazati isplativost investicija u ovaj vid energije i najpogodnije lokacije za izgradnju. Korišćenje sunčeve energije za grejanje sanitarne vode, domaćinstava, kao i grejanje plastenika predstavlja neke od efikasnih načina korišćenja ove energije (Prostorni plan opštine Sokobanja, 2012).

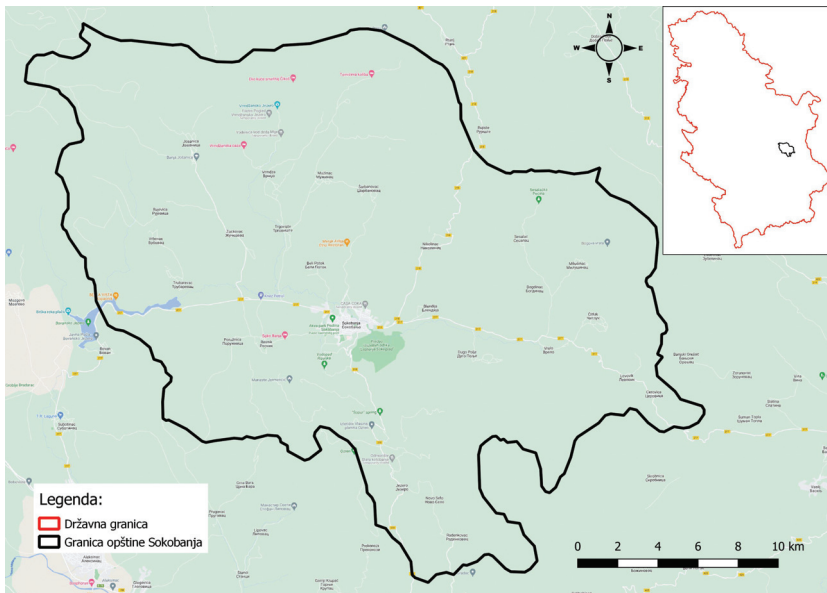
Za potrebe istraživanja korišćen je analitički hijerarhijski proces (AHP). AHP podrazumeva poređenje u parovima elemenata hijerarhije i formiranje odgovarajućih lokalnih recipročnih numeričkih matrica iz kojih se matematičkim postupcima određuju težine poređenih elemenata. Matrice i izračunati težinski koeficijenti elemenata nose informaciju o konzistentnosti donosioca odluka koja se najčešće meri stepenom konzistentnosti (CR) (Srđević et al., 2009; Whitaker, 2007; Triantaphyllou & Mann, 1995; Canco et al., 2021).

Cilj primene GIS-a i AHP-a u ovom radu je predstavljanje pogodnosti lokacija za postavljanje solarnih panela na teritoriji opštine Sokobanja. Za potrebe rada korišćen je softver otvorenog koda QGIS. U okviru istraživanja površine vrednovano je osam kriterijuma: globalno zračenje na površinu pod optimalnim uglom, nagib terena, ekspozicija terena, namena površina, udaljenost od puteva, udaljenost od šuma, udaljenost od naselja i srednja godišnja temperatura.

MATERIJALI I METODE

Analizirani prostor nalazi se u regionu Istočne Srbije u okviru Zaječarskog okruga (slika 1.). Opština Sokobanja nalazi se između 43°31'41,1'' i 43°46'51,9 N i 21°40'33,2'' i 22°5'36,9'' E. Na severoistoku graniči se sa opštinom Knjaževac, na jugoistoku sa opštinom Svrlijig, na jugozapadu sa opštinom Aleksinac i na severozapadu sa opštinom Ražanj.

Površina opštine iznosi 525 km², a prema popisu iz 2011. godine ima 16 021 stanovnika (Republički zavod za statistiku, 2011). U opštini ima ukupno 25 naselja, a centar opštine je naselje Sokobanja koje ima i najveći broj stanovnika, najveću površinu i predstavlja administrativni i privredni centar opštine. Najvažniji putevi koji prolaze kroz opštinu su državni putevi drugog A (oznake 217 i 218) i drugog B reda (oznaka 420) (JP „Putevi Srbije“, 2022.).



Slika 1. Geografski položaj opštine Sokobanja u Srbiji

METODOLOGIJA

GIS je sistem računarskog softvera, hardvera, podataka i osoblja koje omogućava unos, manipulisanje, analizu i predstavljanje podataka i informacija koje su vezane za određenu lokaciju na Zemljinoj površini. Neki se fokusiraju na vezu sa kartom, neki naglašavaju važnost baze podataka ili kompleta softverskih alata, a drugi naglašavaju važnost same aplikacije kao što je podrška pri odlučivanju (Ershad, 2020). GIS kao računarski sistem daje četiri faze obrade podataka: unošenje i priprema podataka, skladištenje i ažuriranje podataka, analize podataka i prezentacija podataka (Huisman & A de By, 2009).

AHP je metod za podršku procesa donošenja odluka koji se zasniva na formiranju hijerarhije problema i originalnoj proceduri za vrednovanje elemenata po nivoima hijerarhije dok se u konačnoj sintezi ne utvrde težinski koeficijenti svih elemenata. Na vrhu hijerarhije se nalazi cilj, sledeći nivo sadrži kriterijume, dok se na dnu nalaze alternative. Donosilac odluka poredi elemente u datom nivou hijerarhije, svaki sa svakim. Numeričke ocene poređenja parova elemenata na datom nivou hijerarhije unose se u matricu poređenja koja je recipročna, odnosno elementi iz gornjeg trougla su simetrično recipročni elementima iz donjeg trougla, dok su elementi na glavnoj dijagonali jednaki jedinici. Iz matrice se zatim izračunava težinski koeficijent svakog elementa poređenja (Srđević et al., 2009). Da bi se AHP metod primenio potrebno je da budu ispunjeni sledeći uslovi (Moffett & Sarkar, 2006): kriterijumi mogu da se rangiraju prema značaju, svaka alternativa može da se rangira prema značaju u odnosu na svaki kriterijum, svakom kriterijumu može da se dodeli kvantitativna vrednost, svakoj alternativni može da se dodeli kvantitativna vrednost u odnosu na svaki kriterijum i da uspešnost svake alternative prema svakom kriterijumu može da se oceni na nekoj od uobičajenih skala.

Primena gis-a i ahp-a u izboru lokacija za postavljanje solarnih panela na teritoriji opštine Sokobanja

Stepen konzistentnosti (CR) se računa tokom standardnog AHP postupka. Prvo se izračunava indeks konzistentnosti (CI): $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$, gde je λ_{max} maksimalna sopstvena vrednost matrice poređenja, a n broj poređenih kriterijuma. Zatim se pomoću indeksa konzistentnosti i slučajnog indeksa (RI - koji zavisi od broja kriterijuma matrice i uzima se iz Satijeve skale date u tabeli 1.) izračunava koeficijent konzistentnosti matrice (CR): $CR = CI / RI$, gde je CR koeficijent konzistentnosti, CI indeks konzistentnosti i RI slučajni indeks. Ako se za ovaj koeficijent dobije vrednost manja ili jednaka 0,10 smatra se da je matrica konzistentna (Saaty, 1980; Xu, 1998). Slučajni indeks (RI) predstavljen je prosečnim vrednostima CI prikupljenim iz nasumične simulacije matrica (Franek & Kresta, 2014; Saaty 1980).

Tabela 1. Satijeva skala RI indeksa, izvor: Saaty, 1980.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,46	1,49

U okviru rada pomoću AHP-a i GIS metoda analizirano je osam kriterijuma i njima je dodeljena važnost u odnosu na međusobni značaj (tabela 2.). Kao najznačajniji faktor uzeto je globalno zračenje pod optimalnim uglom, zatim nagib i ekspozicija, namena površina, potom udaljenost od šuma, udaljenost od puteva i objekata, a kao najmanje značajan srednja godišnja temperatura. Kao eliminatorni faktori uzete su površine pod šumama, vodene površine i zaštićena prirodna dobra na teritoriji opštine Na osnovu digitalnog modela visina rezolucije 25 m dobijeni su podaci o nagibu i ekspoziciji terena². Namena površina preuzeta je iz CORINE Land Cover baze podataka³. Podaci o srednjoj godišnjoj temperaturi i o globalnom zračenju pod optimalnim uglom preuzeti su u rasterskom obliku⁴. Za svaki kriterijum izračunati su težinski koeficijenti (tabela 3.), a takođe je izračunata i konzistentnost matrice koja iznosi 0 ($L_{max} = 8.00$; $RI = 1.41$; $CI = 0$; $CR = 0$).

Optimalna srednja godišnja vrednost javlja se kod površina nagnutih pod uglom od 30°, a orijentisanih prema jugu. Za površine nagnute pod uglom jednakim geografskoj širini lokaliteta i orijentacijom prema jugu, srednja godišnja vrednost je neznatno manja, ali se u zimskim mesecima dobijaju veće vrednosti. Zbog toga se u praksi kao optimalni ugao nagiba bira ugao jednak geografskoj širini (Studija NPEE, 2004).

Nagib terena se izražava veličinom ugla nagiba, koji predstavlja vertikalni ugao koji zaklapa površina terena sa horizontalnom ravni i izražava se u stepenima. Prema geomorfološkoj klasifikaciji nagiba terena, nagibi do 5° smatraju se blago nagnutim terenima, nagibi od 5° do 12° su nagnuti tereni, dok su nagibi od 12° do 32° jako nagnuti tereni (Jovanović, 2017). Najveću količinu toplote na našim geografskim širinama prima južna ekspozicija, pa se na njoj javlja najjače zagrevanje topografske površine, ali i najveće amplitude Zapadne ekspozicije su toplije od istočnih, a razlike su uslovljene periodima dnevnog osunčavanja (Dragičević & Filipović, 2016).

Udaljenost od puteva predstavlja značajan kriterijum za transport opreme potrebne za instalaciju i održavanje solarnih panela. Udaljenost od šuma uzeta je kao jedan od kriterijuma zbog toga što bilo kakva konstrukcija koja nije prirodna narušava uspostavljeni ekosistem na datoj lokaciji. Solarni paneli mogu da ugroze bezbednost životinja ukoliko se instaliraju blizu šuma, ali i živi svet, kao što i vremenske nepogode mogu da oštete panele. Što su paneli dalje od naselja to je vrednost klase veća, odnosno pogodnija. U ovom slučaju dolazi do narušavanja estetike i mira životnog prostora stanovništva i zbog toga se izbegava instalacija većeg broja panela u okviru naselja.

² <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-demv1.1?tab=download>

³ <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=download>

⁴ <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/serbia>

Tabela 2. Kriterijumi za opštinu Sokobanja

	GTI	Nagib	Ekspozicija	Namena zemljišta	Udaljenost od puteva	Udaljenost od šuma	Udaljenost od naselja
GTI	1,00	1,30	1,30	1,40	2,00	2,00	2,00
Nagib	0,77	1,00	1,00	1,50	2,00	2,00	2,00
Ekspozicija	0,77	1,00	1,00	1,50	2,00	2,00	2,00
Namena zemljišta	0,71	0,67	0,67	1,00	1,00	1,00	1,50
Udaljenost od puteva	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
Udaljenost od šuma	0,50	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	1,20
Udaljenost od naselja	0,50	0,50	0,50	0,67	1,00	0,83	1,00

Tabela 3. Težinski koeficijenti za postavljene kriterijume

	Težinski koeficijenti
GTI	0,20
Nagib	0,17
Ekspozicija	0,17
Namena zemljišta	0,11
Udaljenost od puteva	0,09
Udaljenost od šuma	0,10
Udaljenost od naselja	0,09
Temperatura	0,07

REZULTATI I DISKUSIJA

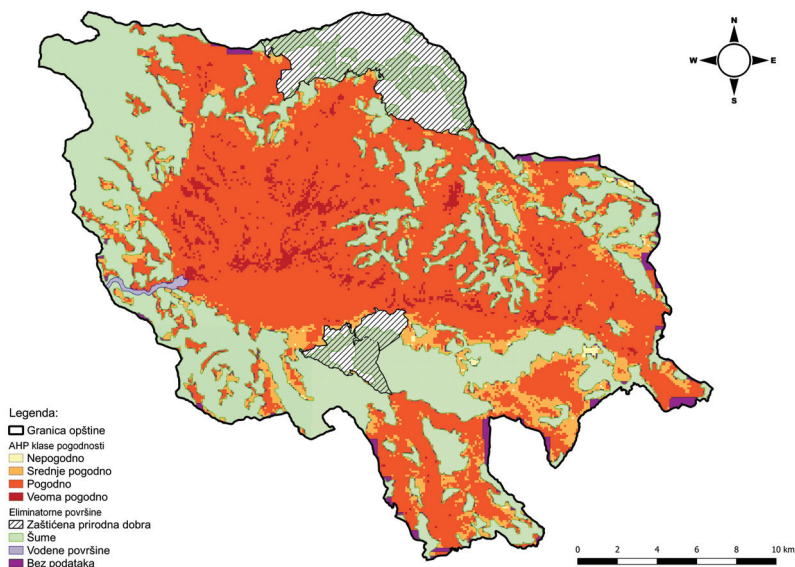
Na osnovu analiziranih kriterijuma dobijaju se klase pogodnosti prikazane u tabeli 4. U okviru nepogodne klase nalazi se 0,28% teritorije, dalje u srednje pogodnoj klasi 8,01%, u pogodnoj klasi 46,30% teritorije, veoma pogodnoj 2,73%, a u okviru eliminatornih površina 39,61% teritorije opštine, odnosno šume, zaštićena prirodna dobra i vodene površine zajedno zauzimaju veliki deo analizirane teritorije, a 3,06% teritorije je bez podataka.

Tabela 4. Klase pogodnosti za izgradnju solarnih panela i njihove površine

Pogodnost	Vrednosti	Površina [km ²]	Udeo u ukupnoj površini [km ²]	Klasa
Nepogodno	1,4-2	1,44	0,28	1
Srednje pogodno	2-2,5	41,84	8,01	2
Pogodno	2,5-3,5	241,76	46,30	3
Veoma pogodno	3,5-4	14,28	2,73	4
Eliminatorno	/	206,84	39,61	0
Bez podataka	/	15,99	3,06	/

Primena gis-a i ahp-a u izboru lokacija za postavljanje solarnih panela na teritoriji opštine Sokobanja

Na osnovu dobijenih vrednosti i karte (slika 2.) može se zaključiti da najveći deo teritorije, 46,30 %, spada u pogodnu kategoriju u okviru Sokobanjske kotline što predstavlja značajan potencijal opštine za razvoj obnovljivih izvora energije iz Sunca. Najpogodnije površine, prema analiziranim kriterijumima, uglavnom se nalaze u blizini naselja i na poljoprivrednim površinama što je dobro u smislu održavanja solarnih sistema. Srednje pogodne i nepogodne površine su znatno manje zastupljene i uglavnom predstavljaju prostore gde su ekspozicija i nagib neodgovarajući za postavljanje panela. Uz odgovarajuće dodatne analize prostora ovo ne mora da ostane samo potencijal već i prednost za smanjenje emitovanja gasova sa efektom staklene bašte i prelazak na čiste izvore energije koji sa sobom nose i smanjenje troškova na račun za struju. Prednost ovog obnovljivog izvora jeste to što je zastupljen tokom cele godine, a mana što je tokom zime smanjena dostupnost energije Sunca zbog vremenskih uslova i mogućeg zamrzavanja konstrukcije panela ukoliko su temperature veoma niske.



Slika 2. Prikaz pogodnosti istraživanog prostora za postavljanje solarnih panela

ZAKLJUČAK

Kartiranje pogodnih lokacija za postavljanje solarnih panela u okviru analizirane teritorije opštine Sokobanja bazirano je na osam kriterijuma analiziranih u GIS okruženju koji imaju različiti značaj što je iskazano u radu u okviru prikazane matrice i težinskih koeficijenata. Kao što je već napomenuto tokm tada, ograničenje AHP-a predstavlja velika subjektivnost metoda. S obzirom na to, ovde su četiri najvažnija kriterijuma globalno zračenje pod optimalnim uglom, nagib terena, ekspozicija terena i namena površina. Od autora do autora razlikovaće se izbor kriterijuma i njihov značaj u konačnom proračunu.

S obzirom na to da je potencijal sunčevog zračenja u Srbiji veliki, ovaj obnovljivi izvor energije trebalo bi da ima veću zastupljenost od trenutne koja iznosi ukupno 1% za sunčevu i geotermalnu energiju zajedno, što znači da je zastupljenost energije dobijene od Sunca manja od 1%. Na teritoriji opštine najviše je zastupljena treća klasa pogodnosti, odnosno pogodni tereni koji zauzimaju površinu od 241,76 km², a odmah posle njih nalaze se eliminatorne površine koje zauzimaju 206,84 km². Veoma pogodna klasa zauzima svega 14,28 km², srednje pogodna 41,84 km², nepogodna 1,44 km², a bez podataka je 15,99 km² analizirane teritorije. Na osnovu toga može se zaključiti da Sokobanja ima visok potencijal za razvoj solarnih sistema i prelazak na obnovljive izvore energije.

Takođe, radi sprovođenja adekvatne analize potrebni su kvalitetni podaci. Najčešći problem jeste nedostupnost, nepotpunost ili nepostojanje odgovarajućih podataka. Prirodni i antropogeni faktori koji su korišćeni u okviru analize konstantno su podložni promenama tako da je važno napomenuti da rezultat ovog rada predstavlja prostornu distribuciju potencijala za postavljanje solarnih panela u odnosu na stanje kriterijuma u trenutku analize. Ovakvoj analizi pomoću odgovarajućih modela moguće je dodati vremensku komponentu i simulirati promenu kriterijuma za budući period.

LITERATURA

Boxwell, M. (2021). Solar electricity handbook: a simple practical guide to solar energy : how to design and install photovoltaic solar electric systems (Fourteenth Edition). Brimingham: Greenstream Publishing.

Canco, I.; Kruja, D.; Iancu, T. AHP a Reliable Method for Quality Decision Making: A Case Study in Business (2021). Sustainability 13, no. 24: 13932. <https://doi.org/10.3390/su132413932>

Dragičević, S., & Filipović, D. (2016). Prirodni uslovi i nepogode u planiranju i zaštiti prostora. (2. izd) Beograd: Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet.

Ershad, A. (2020). Geographic Information System (GIS): Definition, Development, Applications & Components. Dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/340182760_Geographic_Information_System_GIS_Definition_Development_Applications_Components

European Environment Agency. (2022, March 29). CORINE Land Cover (CLC) Preuzeto 19. aprila 2022, sa: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=download>

European Environment Agency. (2022, March 29). European Digital Elevation Model (EU-DEM), version 1.1, Preuzeto 19. aprila 2022, sa: <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-demv1.1?tab=download>

Franek, Jiri & Kresta, Aleš. (2014). Judgment Scales and Consistency Measure in AHP. Procedia Economics and Finance. 12. p. 164–173. DOI: 10.1016/S2212-5671(14)00332-3

Gvozdenac, D., Nakomčić-Smaragdakis, B., & Gvozdenac-Urošević, B. (2011). Obnovljivi izvori energije. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.

Huisman, O., A de By, R. (Eds.), (2009). Principles of Geographic Information Systems. (Fourth Edition). Enschede, The Netherlands: The International Institute for Geo-Information Science and Earth bservation

Primena gis-a i ahp-a u izboru lokacija za postavljanje solarnih panela na teritoriji opštine Sokobanja

- Jovanović, J. (2017). Tematska kartografija – praktikum. Beograd: Univerzitet u Beogradu - Geografski fakultet.
- JP „Putevi Srbije“ (2005 - 2022). Državni putevi IIA reda. Preuzeto 19. aprila 2022, sa: https://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/referentni-sistem/2.2.3_spisak_drzavnih_puteva_IIAreda.pdf
- JP „Putevi Srbije“ (2005 - 2022). Državni putevi IIB reda. Preuzeto 19. aprila 2022, sa: https://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/referentni-sistem/2.2.4_spisak_drzavnih_puteva_IIBreda.pdf
- Moffett, A., Sarkar, S. (2006). Incorporating multiple criteria into the design of conservation area networks: a minireview with recommendations. *Diversity and Distributions* Volume 12, Issue 2, p. 125-137. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2005.00202.x>
- Mohanty, P., Sharma, K.R., Gujar, M., Kolhe, M., Azmi, A.N. (2016). PV System Design for Off-Grid Applications. In: Mohanty, P., Muneer, T., Kolhe, M. (eds) *Solar Photovoltaic System Applications*. Green Energy and Technology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14663-8_3
- Prostorni plan opštine Sokobanja. (2012). Niš: Javno preduzeće za urbanizam.
- Republički zavod za statistiku. (2011). *Popis stanovništva, domaćinstava i stanova 2011. u Republici Srbiji - Uporedni pregled broja stanovnika 1948, 1953, 1961, 1971, 1981, 1991, 2002. i 2011.* Beograd: Republički zavod za statistiku
- Saaty, T.L. *The Analytic Hierarchy Process* (1980). New York: McGraw-Hill
- .Srđević, B., Suvočarev, K., Srđević, Z. (2009). Analitički hijerarhijski proces: individualna i grupna konzistentnost donosilaca odluka, *VODOPRIVREDA* 0350-0519, 41, 237-239, 13-21.
- Stamenić Lj., *Korišćenje solarne fotonaponske energije u Srbiji.* (2009). Institute Jefferson, , str. 5. Preuzeto sa https://issuu.com/jeffersoninstitute/docs/fotonaponska_energija
- Studija NPEE (2004). Evidencioni broj EE704-1052A, Beograd. Dostupno na: http://vetar-sunce.imsi.rs/tekstovi/Studija_EE704-1052A/
- The World Bank (2020). Source: *Global Solar Atlas 2.0*, Solar resource data: Solargis. Preuzeto 19. aprila 2022, sa: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/serbia>
- Triantaphyllou, Evangelos & Mann, Stuart. (1995). Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: Some challenges. *The International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*. 2. p.35-44.
- Whitaker, R. (2007). Validation examples of the Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process, *Mathematical and Computer Modelling*, Volume 46, Issues 7–8, 2007, p. 840-859, ISSN 0895-7177, <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2007.03.018>.
- Xu, Z. (2000). On consistency of the weighted geometric mean complex judgement matrix in AHP. *European journal of operational research*, 126(3), p. 683-687. DOI:10.1016/S0377-2217(99)00082-X