

UDK: 621.311.243:[007:912]:004](497.11)

DOI: 10.5937/KonGef24095R

Прегледни научни рад

ПРИМЕНА ГИС-А И АХП МЕТОДЕ У ОДАБИРУ ПОГОДНИХ ЛОКАЦИЈА ЗА ИЗГРАДЊУ СОЛАРНИХ ЕЛЕКТРАНА НА ТЕРИТОРИЈИ ОПШТИНЕ ВРЊАЧКА БАЊА

Никола Радаковић¹, Милица Костадиновић²

Апстракт: Последњих година, употреба соларне енергије у Србији је постала једна од популарнијих алтернатива за снабдевање електричном енергијом, услед еколошки прихватљивог, поузданог и обновљивог извора напајања.

Овај рад представља комбиновану употребу ГИС-а и АХП методе у одабиру погодних локација за изградњу соларних електрана на територији општине Врњачка Бања. До сада предложени фактори који утичу на одлуку о избору потенцијалне локације соларних електрана нису коначни, те је отворена могућност за даља истраживања и унапређења у овој области.

У овом научном раду, користећи АХП методу са циљем одређивања тежинских коефицијената за сваки фактор, изабрано је њих пет: нагиб терена, експозиција терена, начин коришћења земљишта, бафер зона око саобраћајница и надморска висина терена. Све наведено је обрађено у програму QGIS.

Овај рад је такође идентификовао и четири кључна критеријума са незанемарљивим утицајем на доношење коначне одлуке о одабиру погодне локације за изградњу соларних електрана: просечни годишњи број сунчаних сати, инвестициони трошкови, проценат ускладиштене и употребљиве количине соларне енергије у односу на укупну количину електричне енергије које општина искористи у посматраном периоду и утицај соларних панела на споменике културе у њиховом окружењу.

Аутори се надају да ће резултати овог рада у одређеној мери допринети даљем развоју електроенергетског система општине Врњачка Бања, као и да би анализа наведених фактора и критеријума могла да се примени на друге општине сличних карактеристика.

Кључне речи: соларне електране, АХП метода, QGIS.

УВОД

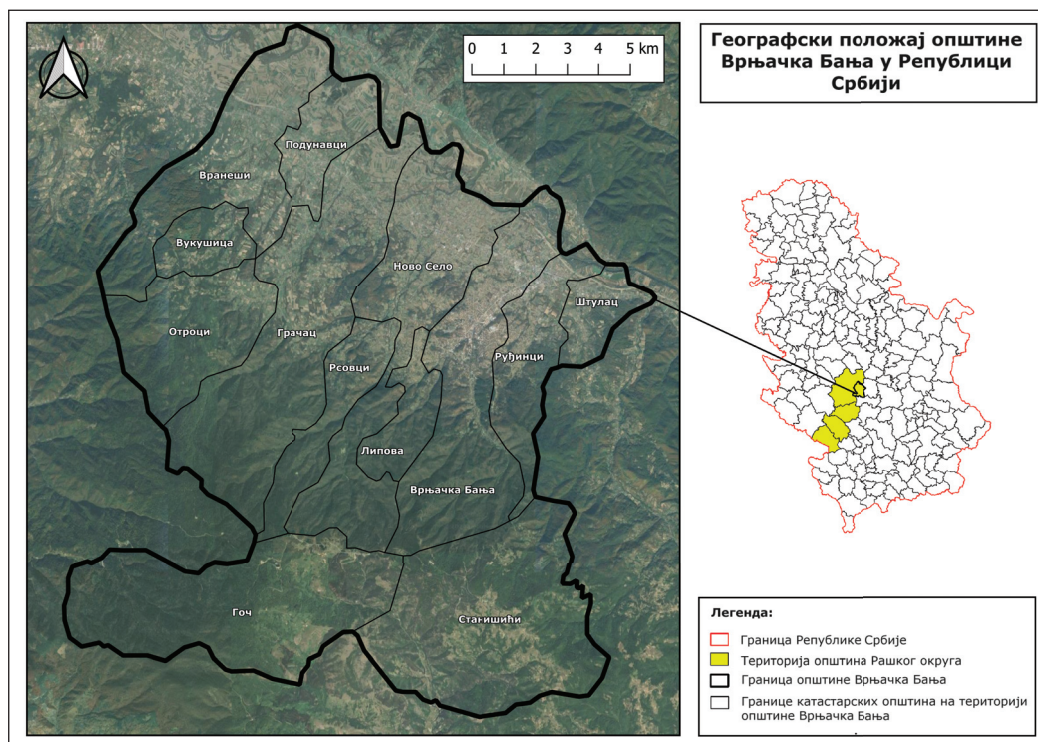
Коришћење соларних електрана за задовољавање све израженијих потреба за електричном и топлотном енергијом је само један од многобројних начина смањења деградације квалитета животне средине. Сунце представља непресушан и један од најчистијих извора енергије, чија конверзија у потребне видове енергије уз помоћ соларних ћелија фотонапонских система има значајну улогу очувању простора са еколошког аспетка (Yüce, Işık, Yalcin, 2022; Стаменић, 2009). Ово је посебно значајно ако се узме у обзир чињеница да је током летњих месеци повећана потражња за електричном енергијом за коришћење расхладних уређаја, што доводи до закључка да улагања у развој система соларних електрана нема само еколошке, већ и економске и социјалне бенифиције у односу на употребу конвенционалних извора енергије (Al Garni & Awasthi, 2017). Употреба соларне енергије у Србији је, упркос потенцијалу који је већи за око 30% у односу на државе централне Европе, мања од 1% (Doljak & Stanojević, 2017; Јовановић, 2022).

Истраживано подручје је територија општине Врњачка Бања, једна од пет општина које административно припадају Рашком управном округу, смештеном у централном делу Републике Србије. Западну и северну границу чини територија Града Краљева, источну општина Трстеник

¹ Докторанд, nikola.radakovic002@gmail.com

² Докторанд, milica.kstd@gmail.com, ORCID: 0009-0009-9992-3975

и јужну општина Александровац (карта број 1). На анализираним простору површине 239 km², према подацима из 2022. године, живи 25.117 становника, распоређених у оквиру једног градског и 13 сеоских насеља³ (Републички завод за статистику, 2023).



Карта број 1: Просторни распоред катастарских општина и географски положај општине Врњачка Бања.

У наставку рада је утврђено да ли и у којим територијалним деловима општина Врњачка Бања поседује потенцијал за лоцирање соларних електрана, односно да ли постоји оправданост за инвестирање у изградњу ових постројења на најповољнијим локацијама, у складу изабраним критеријумима и ограничењима. Општи циљ представља смањење трошкова изградње и одржавања соларних електрана уз истовремену заштиту постојећих туристичких и еколошких вредности општине.

МЕТОДОЛОГИЈА

За потребе ове анализе детаљно су проучене коришћене методологије три научна рада, успешно примењене у сврху одабира погодних локација за изградњу соларних електрана коришћењем Географских информационих система (енг. GIS -Geographic Information System) и Аналитичког хијерархијског процеса (енг. АHP - Analytic Hierarchy Process). Комбинација ова два метода је последњих неколико година постала популарна у планирању развоја електроенергетске инфраструктуре због могућности утврђивања потенцијала анализираним простора без директног контакта са њим, што је изузетно значајно уколико су неки делови тог простора неприступачни (Al Garni & Awasthi, 2017). Оно што их значајно разликује је укључивање и искључивање одређених фактора и територијални ниво истраживања: Al Garni и Awasthi су 2017. године су своју анализу спровели на нивоу Краљевине Саудијске Арабије; Yüce, Işık и Yalcın су 2022. године одабрали територију провинције Бурдур на југозападу Републике Турске, док је за пример у Србији изабран рад из године који проучава потенцијал општине Сокобања – Јовановић, 2022. год. У наведеним радовима као улазни подаци коришћени су нагиб, експозиција и удаљеност од путева. Проучавањем додатне литературе (Doljak & Stanojević, 2017; Kereush & Petrovuch, 2017), утврђено је да би било повољније узети у обзир и надморску висину и начин коришћења земљишта, који су такође прикључени овој анализи. Иако би укључивање већег броја фактора дало веродостојније резултате, крајњи резултат овог рада је, да на

³ Уочена је неподударност у броју насеља и катастарских општина – посебна насеља Врњачка Бања и Врњци припадају катастарској општини Врњачка Бања.

општем нивоу и пре детаљног теренског рада, а уз помоћ најчешће коришћених фактора чији подаци су јавно доступни, табеларни и картографски приказ локација погодних за изградњу и одржавање соларних електрана на територији истраживаног подручја. С обзиром на то да су поједини делови општине туристички активни већ дужи низ година, присутан је конфликт у даљем планирању простора, због чега је наметнута потреба за издвајањем површина које неће бити обухваћене анализом. У ту сврху елиминаторне површине су представљене осовином саобраћајница, заштићеним природним и културним добрима, као и одређеном зоном заштите око њих. Међутим, утврђено је и да је одређене неповољне параметре изабраних фактора такође потребно елиминисати из анализе, што ће бити детаљније приказано у наставку рада.

Подаци о надморској висини су преузети у растерском облику из геобазе података SRTM DEM 100 (NASA Shuttle Radar Topography Mission), на основу ког су коришћењем алата *Slope* и *Aspect* у софтверу QGIS добијени и подаци о нагибу и експозицији, у просторној резолуцији од 100 метара. Подаци који приказују начин коришћења земљишта и осовине саобраћајница су преузети у векторском облику, а затим конвертовани у растерски формат коришћењем функције *Rasterize*. Извор података за начин коришћења земљишта је преузет из CORINE Land Cover (CLC) базе података из 2018. године у (European Environment Agency, 2022), док је као извор за саобраћајнице коришћена платформа Open Street Map. Подаци о заштићеним природним⁴ добрима су преузети у векторском облику са сајта Protected Planet (WDPA).

АНАЛИЗА

Нагиб и експозиција су класификовани у односу на угао у степенима – што је угао нагиба мањи, то је већа повољност. Терен без нагиба или са углом мањим од 5° је вреднован највишом оценом због повољности попут: нижих трошкова изградње и одржавања, веће могућности бирања просторног распореда панела и заузимања већих површина, веће производње електричне енергије јер нема негативног ефекта сенчења, односно веће иложености директном сунчевом зрачењу на дневном нивоу, и др. Према изворима, површине са угловима вишим од 30° се не узимају у обзир, те су за потребе ове анализе оне елиминисане, што је учињено и са неекспонираним површинама. Класификација фактора који се односи на начин коришћења земљишта је одређена у односу заступљеност кодова CLC базе унутар границе општине Врњачка Бања. Како би еколошки аспект изградње био задовољен, елиминисани су делови истраживаног подручја који су изграђени, покривени шумом или у близини водених површина, да не би долазило до рушења грађевинских објеката⁵ и крчења шума, али и да би електране биле заштићене од потенцијалних поплава или животиња. Приступачност саобраћајницама без обзира на категорију којој припадају и њихова близина површинама које би потенцијално могле да се користе за изградњу су означене као повољност, међутим осовина пута и заштитни појас од 250 m су елиминисани из даље анализе. Исто је учињено и са заштићеним добрима, али са заштитним појасом ширине од 500 m. Према појединим ауторима, сматра се да максимална надморска висина до које је економски исплатљиво активирати соларне електране износи 515 m, те су све вредности изнад наведене узете као елиминаторне (Kereush & Perovych, 2017; Al Garni & Awasthi, 2017; Јовановић, 2022).

Векторски фајлови су конвертовани у растерски формат и, као и остали растери, рекласификовани у 6 класа (параметри сваког фактора, вредности и опис класа су приказани у табели бр.1). Формирању формуле (1) која ће бити коришћена за израду синтезне карте је претходио низ математичких поступака, чији крајњи резултат представљају вредности тежинских коефицијената. Прво се формира матрица која приказује однос између фактора, односно колико је један фактор значајнији од другог, након чега се врши њихово квадрирање и међусобно укрштање. Добијене вредности нису коначне, те се обрада наставља сабирањем вредности по редовима. Резултати се опет сабирају и добијене вредности се деле са коначном вредношћу сабирања (у овом случају 140,88), тако да се добију вредности мање од 1, а веће од 0, односно тежински коефицијенти приказаних у табели бр.2. Збир приказаних вредности дају вредност 1, и ако се помноже са вредношћу 100, добија се процентуални удео сваког фактора, односно ако тежински коефицијент S (нагиб) износи 0,27, то је заправо 27% удела тог фактора, што говори о његовом значају у односу на остале факторе. Сваки добијени тежински коефицијент се множи

⁴ Локације културних добра на територији општине Врњачка Бања, према евиденцији Споменика културе у Србији (<http://spomenickulture.mi.sanu.ac.rs/list.php>), се налазе унутар полигона заштићених природних добара, те нису посебно приказане;

⁵ Изузетак би могли да представљају напуштени (индустрijски) објекти – brownfield објекти, ради ревитализације деградираниг простора, уколико су задовољени сви потребни услови за изградњу и одржавање соларних електрана.

са припадајућим растером у растер калкулатору, а потом сабира (формула [1]) и као резултат добија се индекс погодности изградње соларних електрана на основу АХП методе. За синтетички растер са вредностима у распону између 0,27 и 4,43 се врши рекласификација на 5 приближно једнаких делова и множи са растерима које представљају површине коју су елиминисане.

Табела број 2: Одабрани фактори, параметри и класе за потребе АХП анализе.

S [°]	A [°]	Фактори ⁶			Опис класе	Вредност класе
		Vt [код ⁷]	Dr [m]	E [m]		
<5	S 157,5-202,5	121 333	250-500	<300	Веома погодно	5
5-10	SE 112,5-157,5 SW 202,5-247,5	231	500-1.000	300-350	Погодно	4
10-15	E 67,5-112,5 W 247,5-292,5	321	1.000-1.500	350-400	Средње погодно	3
15-20	NE 22,5-67,5 NW 292,5-337,5	211 242 243	1.500-2.000	400-450	Непогодно	2
20-30	N 0-22,5; 337,5-360	324	>2.000	450-515	Веома непогодно	1
>30	Неекспониране површине	112 311 312 313 411 511	0-250	>515	Елимина-торно	0

Табела број 2: Матрица међусобног поређења фактора и вредности тежинских коефицијената.

	S	A	Vt	Dr	E	Фактор	Тежински коефицијент
S	1,00	1,00	1,50	1,80	2,30	S	0,27
A	1,00	1,00	1,50	1,80	2,30	A	0,27
Vt	0,67	0,67	1,00	1,30	1,80	Vt	0,19
Dr	0,56	0,56	0,77	1,00	1,50	Dr	0,16
E	0,43	0,43	0,56	0,67	1,00	E	0,11

$$AHP = 0,27*S + 0,27*A + 0,19*Vt + 0,16*Dr + 0,11*E$$

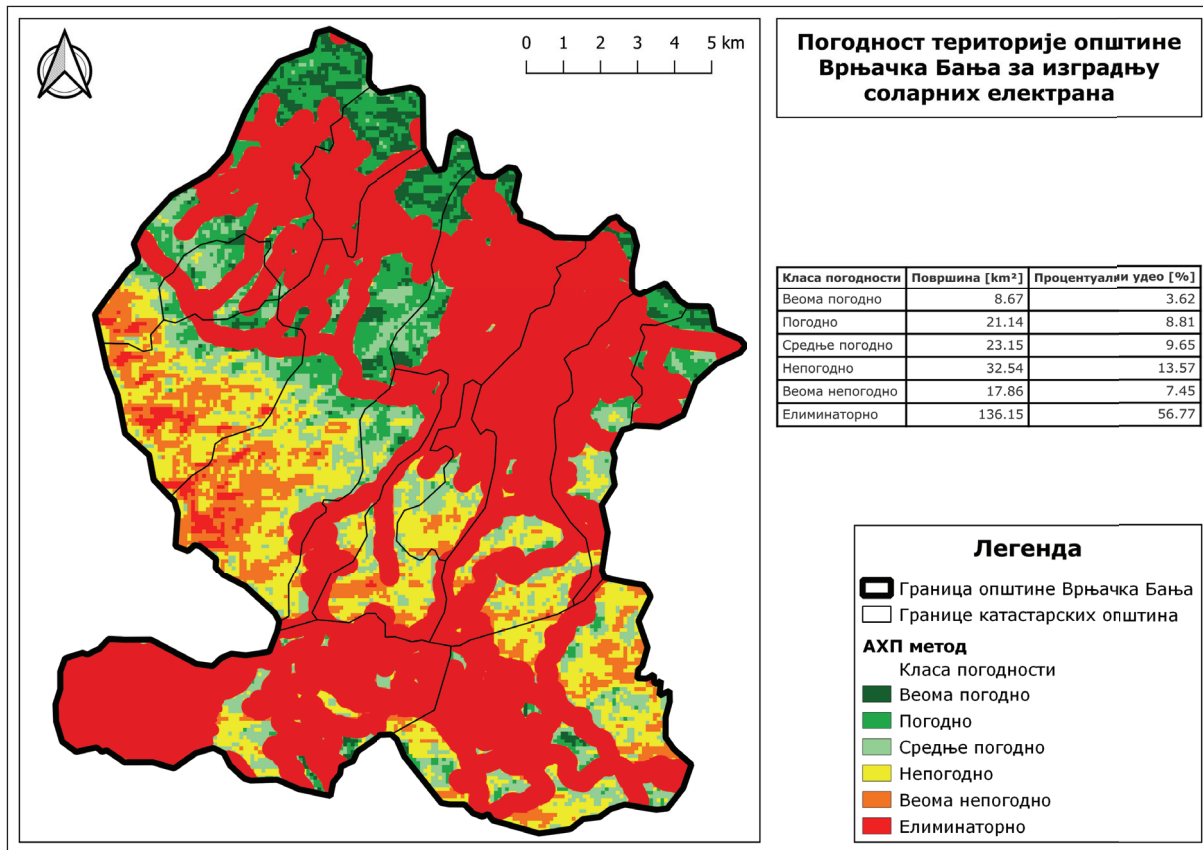
[1]

⁶ Нагиб (S – енг. Slope), експозиција (A – енг. Aspect), начин коришћења земљишта (Vt – енг. Vegetation type), удаљеност од путева (Dr – енг. Distance from Roads) и надморска висина (E – енг. Elevation);

⁷ Опис кодова према CLC бази података (14): 112–урбана подручја; 121–индустријске и комерцијалне јединице; 211–оранице које се не наводњавају; 231–пашњаци; 242–сложени обрасци обраде; 243–пољопривредне површине са значајним површинама под природном вегетацијом; 311–листопадне шуме; 312–четинарске шуме; 313–мешовите шуме; 321–природни травнати предели; 324–прелазни шумовито-жбунасти предео; 333–подручја са разређеном вегетацијом; 411–копнене мочваре; 511–водени токови.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

На основу 5 изабраних фактора (нагиб терена, експозиција терена, начин коришћења земљишта, бафер зона око саобраћајница и надморска висина терена) и елиминисаних површина - заштитни појас око путева и природних и културних добара (табела број 1), добијене су локације класификоване према погодности за лоцирање соларних електрана на територији општине Врњачка Бања применом АХП методе. Резултат обраде улазних података је приказан табеларно (за све класе је израчуната површина у километрима квадратним и процентуални удео на територији општине Врњачка Бања) и картографски, у виду синтезне карте на којој су класе приказане одговарајућом бојом (карта број 2).



Карта број 2: Синтезна карта погодности територије општине Врњачка Бања за изградњу соларних електрана.

Према резултатима приказаним на синтезној карти, најповољније локације за изградњу соларних електрана су у крајњем северном и северозападном делу општине, као и у појединим деловима између заштитних зона око саобраћајница у њеном централном делу. Повољност за изградњу опада идући из правца севера ка југу општине, пратећи повећање надморске висине терена (карте број 1 и 2), али су уочене и поједине површине у јужном и југоисточном делу које би условно могле да се узму у разматрање, уколико им је приступ омогућен. Елиминисане површине, које приближно заузимају 57% територије општине, уз преко 20% непогодних површина, остављају могућност изградње и одржавања соларних панела на једној петини територије општине. Процентуално најмање заступљену класу (3,62%), представљају површине које припадају најповољнијој класи, док погодне и делимично (средње) погодне површине заузимају приближно око 9% територије општине Врњачка Бања. Вредности претходно наведених процентуалних удела би биле умањене уколико би се узели у обзир минимална површина потребна за изградњу соларних електрана⁸, ниво опремљености електроенергетском инфраструктуром, присуство објеката и површина чија пренамена из одређених разлога не би била могућа, што је потребно узети у обзир пре активирања пројеката за лоцирање ових постројења.

⁸ Површина зависи од фактора као што су тип соларних панела, потребне количине енергије и др.

ЗАКЉУЧАК

На основу претходно приказаних резултата може се закључити да територија општине Врњачка Бања има слаб потенцијал (мањи од 25% према класама повољности) за изградњу и одржавање соларних електрана. Међутим, потреба за транзицијом општине ка коришћењу обновљивих извора енергије постоји, пре свега због задржавања тренутног статуса бање, што подразумева унапређење стања животне средине на њеном простору.

Треба имати у виду да су одабрана методологија, параметри и фактори субјективни и у одређеним научним радовима примењени на територијама које су површински много веће и са климатског аспекта различите од одабраног истраживаног подручја, што је довело до суженог избора повољних локација на општинском нивоу. Неки од фактора су искључени – на пример, већа удаљеност од насеља се може сматрати као повољна и неповољна карактеристика.

Анализа у овом раду би могла бити надограђена додатним истраживањима, при чему би требало проширити број фактора и ограничења и потражити поузданије изворе улазних података. Уочена је потреба за укључивањем локалних климатских (магле, смога, температуре ваздуха,...) и техничких фактора (могућност повезивања са електроенергетском мрежом, трошкова припреме терена, и др.). На тај начин ће бити смањен број повољних површина, али ће резултати бити прецизнији. Додатну повољност би могла да представља компарација са још неком методом, коришћењем истих фактора. Уколико резултати покажу да су површине за изградњу соларних електрана недовољне, могуће је истраживање проширити на регионални ниво.

Допринос овог рада се огледа у томе што се коришћена комбинација АХП методе са ГИС-ом, базиране на одабраним факторима и параметрима, може искористити за потребе анализе територије неког другог Града/општине, истих или сличних карактеристика као истражена територија, са циљем добијања генералне представе о могућности изградње соларних електрана и у одршеној мери олакшати доношење одлука о даљим корацима.

ЛИТЕРАТУРА

- Al Garni, H., Awasthi, A. (2017). *Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia*. Amsterdam: Elsevier.
- Doljak, D., Stanojević, G. (2017). *Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia*. Amsterdam: Elsevier.
- Yüce, M., Işık, A., Yalçın, C. (2022): *Determination of solar power plant installation areas by AHP and FAHP methods (Burdur case)*. Yakutiye: Turkish Journal of Electromechanics and Energy.
- Kereush, D., Perovych I. (2017). *Determining criteria for optimal site selection for solar power plant*. University of Agriculture in Krakow: Faculty of Environmental Engineering and Land Surveying.
- Јовановић, Д. (2022). *Примена ГИС-а и АХП-а у избору локација за постављање соларних панела на територији општине Сокобања*. Београд: Асоцијација просторних планера Србије.
- Републички завод за статистику. (2023). *Општине и региони у Републици Србији, 2021*. Београд: Републички завод за статистику.
- NASA Shuttle Radar Topography Mission. (2013). *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Global*. <https://portal.opentopography.org/datasetMetadata?otCollectionID=OT.042013.4326.1>
- European Environment Agency. (2022). *CORINE Land Cover (CLC) 2018*. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018?tab=download>
- Geofabrik OSM dataset. *OpenStreetMap data*. <https://download.geofabrik.de>
- Protected Planet. *World Database on Protected Areas (WDPA)*. <https://www.protectedplanet.net/en>
- Споменици културе у Србији. *Списак свих споменика*. <http://spomenickulture.mi.sanu.ac.rs/list.php>

THE APPLICATION OF GIS AND AHP METHOD IN SELECTION OF SUITABLE LOCATIONS FOR BUILDING SOLAR POWER PLANTS IN THE TERRITORY OF THE MUNICIPALITY OF VRNJACKA BANJA

Nikola Radaković⁹, Milica Kostadinović¹⁰

Abstract: In recent years, the use of solar energy in Serbia has become one of the more popular alternatives for electricity supply due to its environmentally friendly, reliable, and renewable source of power. Despite the availability of detailed assessments of the benefits of using solar power plants, the constant emergence of new proposals and endless debate about the justification of investing in these facilities hinder their wider application in the territory of the Republic.

This paper presents the combined use of GIS and AHP methods in selecting suitable locations for building solar power plants in the municipality of Vrnjacka Banja. So far, the proposed factors influencing the decision on choosing a potential location for solar power plants are not definitive, leaving room for further research and improvement in this area.

In this scientific paper, using the AHP method to determine weight coefficients for each factor, four were chosen: land use, terrain slope, buffer zone around roads, and elevation of the terrain. The processed data show that the elevation factor has the greatest impact on selecting suitable locations, followed by the buffer zone around roads, while the influence of terrain slope and land use is significantly weaker.

This scientific paper also identified four key criteria with a significant impact on making the final decision: average annual number of sunshine hours, investment costs, the percentage of stored and usable solar energy compared to the total amount of electrical energy used by the municipality in the observed period, and the impact of solar panels on cultural monuments in their environment. All of the above is analyzed in the QGIS program.

The authors hope that the results of this paper will, to a certain extent, contribute to the further development of the municipality of Vrnjacka Banja's power system, and that the analysis of the mentioned factors and criteria could be applied to other municipalities with similar characteristics.

Key words: solar power plants, AHP method, QGIS.

⁹ Ph.D. student, nikola.radakovic002@gmail.com

¹⁰ Ph.D. student, milica.kstd@gmail.com, ORCID: ORCID: 0009-0009-9992-3975