

ПРИМЕНА ГИС-А У ПРОЦЕНИ ПОТЕНЦИЈАЛА СОЛАРНЕ ЕНЕРГИЈЕ У ОПШТИНИ КУРШУМЛИЈА

Дајана Тешић^{1*}

¹Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Нови Сад, Србија

Сажетак: Загађење животне средине и глобално загревање актуелне су теме последњих неколико деценија. Соларна енергија је најраспрострањенији обновљиви извор енергије и није ограничен у времену и простору. Стога, постоји велика потреба за инсталирањем производних погона који користе обновљиве изворе енергије, а нарочито соларну енергију. Одабир најпогодније локације за инсталацију соларних постројења је основни предуслов за економски оправдану инвестицију. У Србији је највећи потенцијал соларне енергије у источном, јужном и југоисточном делу земље, те је за истраживано подручје изабрана општина Куршумлија. У овом раду применом географских информационих система (ГИС), извршена је идентификација погодних локација за примену соларне енергије у општини Куршумлија. За анализу потенцијала соларне енергије у општини Куршумлија изабрано је 5 фактора: соларна радијација, нагиб терена, начин коришћења земљишта, експозиција терена и удаљеност од путева. У анализи фактора је коришћена Analytic Hierarchy Process (АНП) метода како би се одредила важност сваког фактора. Након тога је извршено преклапање слојева помоћу алага Weighted Overlay Method (WOM) у ArcGIS Pro софтверу. Резултати ове анализе указују на то да је укупно 19 % истраживаног подручја изузетно погодно за изградњу соларних електрана, 46 % површине спада у умерено погодна подручја за изградњу, док је 20.4 % подручја маргинално погодно. Преосталих 14.6 % подручја су заштићена подручја која су искључена из анализе. Резултати овог рада могу користити соларним комуналним предузећима, енергетским компанијама и креаторима политике да одаберу потенцијална места за изградњу соларних електрана.

Кључне речи: соларна енергија, ГИС, обновљиви извори енергије, АНП анализа, Куршумлија.

Original scientific paper

APPLICATION OF GIS IN SOLAR ENERGY POTENTIAL ASSESSMENT IN KURŠUMLIJA MUNICIPALITY

Dajana Tešić^{1*}

¹University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Novi Sad, Serbia

Abstract: Environmental pollution and global warming have been ongoing topics for the last few decades. Solar energy is the most widespread renewable energy source and is not limited in time and space. Therefore, there is a great need to install generating plants that use renewable energy sources, especially solar energy. Choosing the most suitable location for the installation of solar plants is a basic precondition for an economically justified investment. In Serbia, the greatest potential of solar energy is in the eastern, southern and southeastern part of the country, therefore the municipality of Kuršumljia was chosen for the study area. In this paper, the identification of suitable locations for the application of solar energy in the municipality of Kuršumljia was performed using geographic information systems (GIS). For the analysis of the potential of solar energy in the municipality of Kuršumljia, 5 factors were selected: solar radiation, terrain slope, land use, aspect and distance from roads. The Analytic Hierarchy Process (AHP) method was used to determine the importance of each factor. The layers were then overlaid using the Weighted Overlay Method (WOM) tool in the ArcGIS Pro software. The results of this analysis indicate that a total of 19 % of the investigated area is extremely suitable for the construction of solar power plants, 46 % of the area belongs to moderately suitable areas for construction, while 20.4 % of the area is marginally suitable. The remaining 14.6 % of the areas are protected areas that were excluded from the analysis. The results of this work can be used by solar utility companies, energy companies and policy makers to select potential sites for the construction of solar power plants.

Key words: solar energy, GIS, renewable energy sources, AHP analysis, Kuršumljia.

* Аутор за кореспонденцију: Дајана Тешић, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет, Атанасија Гереског 3, 21000 Нови Сад, Србија. E-mail: dajanatesic2@gmail.com

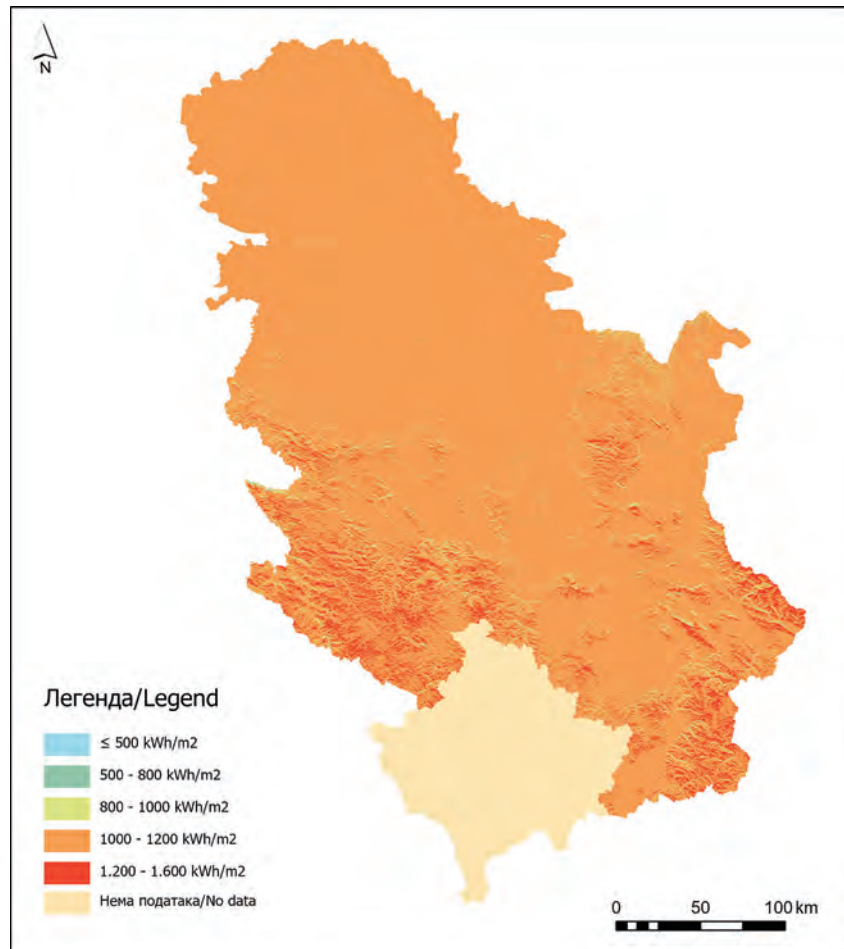
* Corresponding author: Dajana Tešić, University of Novi Sad, Faculty of Science, Atanasija Gereskog 3, 21000 Novi Sad, Serbia. E-mail: dajanatesic2@gmail.com

УВОД

Обновљиви извори енергије као неисцрпни извори енергије све више добијају на значају у свету, с обзиром на све веће глобалне потребе за енергијом. Сунчева енергија представља један од коришћенијих видова обновљивих извора енергије. Међународна агенција за енергију (International Energy Agency – IEA) прогнозира да је да би соларна енергија могла да буде извор четвртине енергије у светској електро мрежи до 2050. године (International Energy Agency, 2020). Према извештају SolarPower Europe (2020), свет је на добром путу. Енергија сунца представља један од енергетских потенцијала Републике Србије, који се може користити за производњу топлотне или електричне енергије. Интензитет сунчеве радијације у Србији је међу највећима у Европи и износи између 1500 и 2200 часова годишње. Посматрано на годишњем нивоу, просечан интензитет сунчевог зрачења износи око 1200 kWh/m²/годишње, у централном делу износи око 1400 kWh/m²/годишње у северозападном делу Србије, док је та вредност у југоисточној Србији око 1550 kWh/m²/годишње (Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године, 2015). Будући да погон за производњу фотонапонске електричне енергије ради током четири годишња доба, подручје истраживања одабрано је на основу годишњег кумулативног сунчевог зрачења (Choi et al., 2013). Најбољи услови за кориштење соларне енергије су у јужном делу земље, нарочито у градовима као што су Врање, Куршумлија и Ниш. На Сл. 1 је приказано просечно соларно зрачење у различитим деловима Србије.

INTRODUCTION

Renewable energy sources as inexhaustible energy sources are becoming increasingly important in the world, given the growing global energy needs. Solar energy is one of the most used types of renewable energy sources. The International Energy Agency (IEA) has predicted that solar energy could be the source of a quarter of the world's electricity grid by 2050 (International Energy Agency, 2020). According to a report by SolarPower Europe (2020), the world is on the right track. Solar energy is one of the energy potentials of the Republic of Serbia, which can be used for the production of heat or electricity. The intensity of solar radiation in Serbia is among the highest in Europe and amounts to between 1500 and 2200 hours a year. Observed annually, the average intensity of solar radiation is about 1200 kWh/m²/year, in the central part it is about 1400 kWh/m²/year in the northwestern part of Serbia, while in Southeast Serbia it is about 1550 kWh/m²/year (Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године, 2015). Since the plant for the production of photovoltaic electricity operates during four seasons, the research area was selected on the basis of annual cumulative solar radiation (Choi et al., 2013). The best conditions for the use of solar energy are in the southern part of the country, especially in cities such as Vranje, Kuršumlija and Niš. In Fig. 1 is shown the average solar radiation in different parts of Serbia.



Сл. 1. Просечно соларно зрачење у Републици Србији
 Fig. 1. Average solar radiation in the Republic of Serbia

ГИС алати су изузетно погодни за процену потенцијала соларних система за производњу електричне енергије (Choi et al., 2013). Carrión et al. (2008) предложили су систем за доношење одлука за одређивање оптималног положаја соларне електране с обзиром на утицај на животну средину применом ГИС-а и АНР методе. Charabi и Gastli (2010) анализирали су могућности соларне енергије кроз ГИС процену потенцијала изградње соларног енергетског система у Оману. Janke (2010) је идентификовао места са великим потенцијалом за коришћење обновљивих извора енергије у Колораду користећи вишекритеријумско моделирање у ГИС-у. Такође, у многим радовима су коришћени геоинформациони системи за комбиновање соларног потенцијала са нпр. расположивошћу земљишта утврђеним на основу услова нагиба, начином коришћења земљишта и удаљеношћу

GIS tools are extremely suitable for assessing the potential of solar systems for electricity generation (Choi et al., 2013). Carrión et al. (2008) proposed a decision-making system for determining the optimal position of a solar power plant with respect to environmental impact using GIS and AHP methods. Charabi and Gastli (2010) analyzed the possibilities of solar energy through a GIS assessment of the potential of building a solar energy system in Oman. Janke (2010) identified sites with great potential for the use of renewable energy sources in Colorado using multicriteria modeling in GIS. Also, in many works, geoinformation systems were used to combine the solar potential with e.g. the availability of land determined on the basis of slope conditions, the manner of land use and the distance from roads. Ćurić and Durlević

од саобраћајница. Ćurić и Durlević (2019) у свом истраживању су користили ГИС технологије за израчунавање потенцијала соларне енергије у општини Врање користећи тематске слојеве нагиба терена, експозиције рељефа, начина коришћења земљишта, заштићена подручја, близину саобраћајница и близину насеља. Коришћење ГИС-а за вредновање потенцијалних локација соларних постројења, од велике је важности при доношењу одлука на регионалном и локалном нивоу, а поред сунчевог зрачења од великог значаја је узети у обзир економске, еколошке, техничке, социјалне и факторе изградње (Choi et al., 2019).

У Републици Србији је ситуација са искориштавањем соларне енергије мање повољна. С обзиром на недовољно развијено тржиште и услове за развој обновљивих извора енергије у Србији од велике је важности истражити опције за коришћење обновљивих извора енергије. У овом раду ће бити истражени потенцијали коришћења соларне енергије у општини Куршумлија. Главни циљ овог рада је да се, помоћу географских информационих система и досадашњих искустава коришћења обновљивих извора енергије, одреди потенцијал соларне енергије на подручју општине Куршумлија, те да се подстакне припрема конкретних планова кориштења расположивих енергетских потенцијала, како у општини, тако и на простору читаве Републике Србије.

ИСТРАЖИВАНО ПОДРУЧЈЕ

Општина Куршумлија се налази у јужном делу Србије и припада Топличком округу (Сл. 2). Површина општине износи 952 km², од чега шуме заузимају 57.1 % територије. Смештена је на ободу Куршумлијске котлине, на југоисточним падинама Копоника и севернозападним падинама Радан планине. Територија општине Куршумлија смештена је у централном и горњем току реке Топлице, као и у сливовима њених притока Косанице и Бањске. Граничи се са општинама Блаце, Брус, Медвеђа, Лепосавић и Подујево, где се налазе два превоја – Преполаци и Мердаре. На територији читаве општине, према подацима пописа из 2011. го-

(2019) in their research used GIS technologies to calculate the potential of solar energy in the municipality of Vranje using thematic layers of terrain slope, aspect, land use, protected areas, proximity to roads and proximity to settlements. The use of GIS to evaluate potential locations of solar plants is of great importance in decision-making at the regional and local level, and in addition to solar radiation it is important to take into account economic, environmental, technical, social and construction factors (Choi et al., 2019).

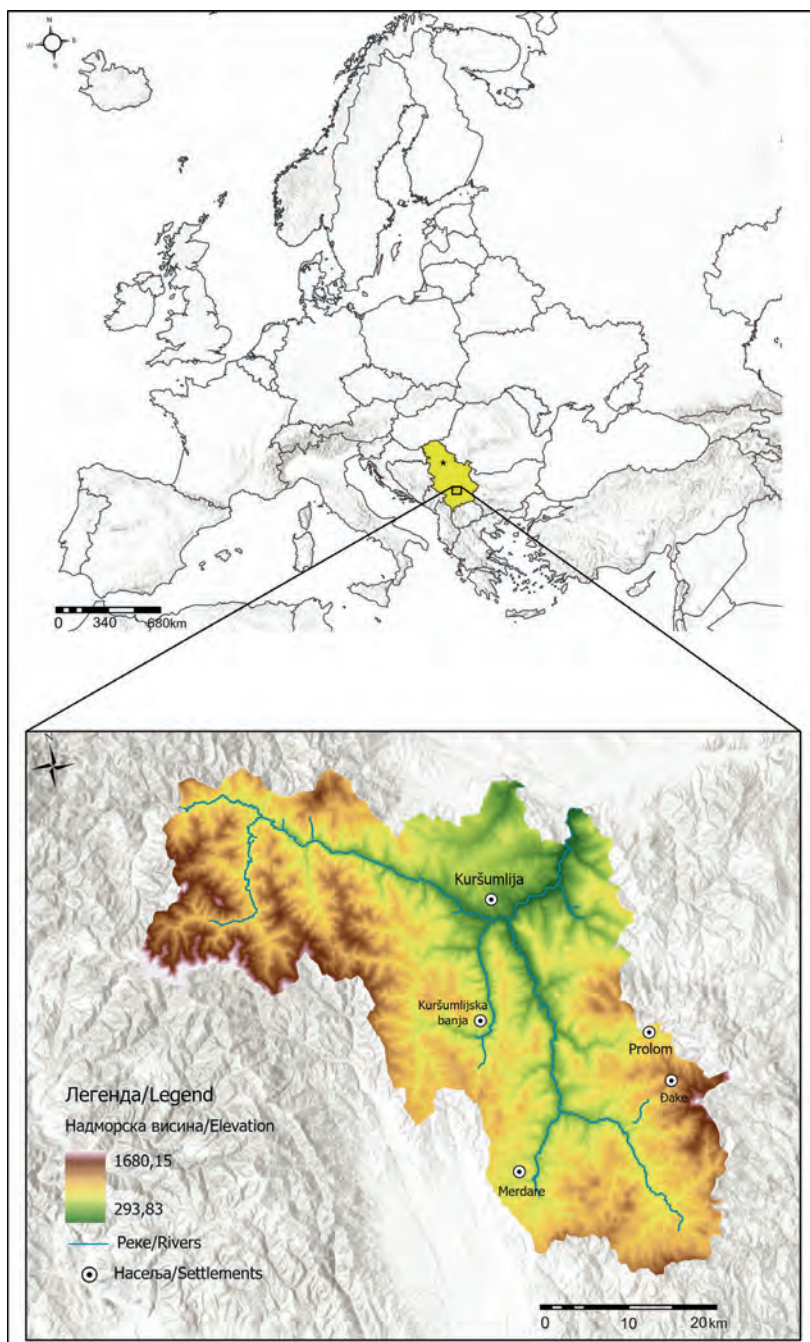
In the Republic of Serbia, the situation with the use of solar energy is less favorable. Given the underdeveloped market and conditions for the development of renewable energy sources in Serbia, it is of great importance to explore options for the use of renewable energy sources. This paper will explore the potentials of using solar energy in the municipality of Kuršumljia. The main goal of this paper is to determine the potential of solar energy in the municipality of Kuršumljia, using geographic information systems and previous experiences of using renewable energy sources, and to encourage the preparation of specific plans for the use of available energy potentials, both in the municipality and throughout Republic of Serbia.

STUDY AREA

The municipality of Kuršumljia is located in the southern part of Serbia and belongs to the Toplica district (Fig. 2). The area of the municipality is 952 km², of which forests occupy 57.1 % of the territory. It is located on the edge of the Kuršumljia valley, on the southeastern slopes of Kopaonik and the northwestern slopes of Radan mountain. The territory of the municipality of Kuršumljia is located in the central and upper course of the river Toplica, as well as in the basins of its tributaries Kosanica and Banjska. It borders the municipalities of Blace, Brus, Medveđa, Leposavić and Podujevo, where there are two passes – Prepolac and Merdare. On the territory of the entire municipality, according to

дине, живи 19213 становника, смештених у једном градском и 89 сеоских насеља. Читава територија општине има јако повољне услове за производњу соларне енергије, јер је просечно годишње соларно зрачење веће него у осталим деловима Србије. До изградње прве соларне електране 2012. године, овај огроман потенцијал општине Куршумлија уопште није био искориштен.

the data from the 2011 census, there are 19213 inhabitants, located in one urban and 89 rural settlements. The entire territory of the municipality has very favorable conditions for the production of solar energy, because the average annual solar radiation is higher than in other parts of Serbia. Until the construction of the first solar power plant in 2012, this huge potential of the municipality of Kuršumljia was not used at all.



Сл. 2. Положај истраживаног подручја
Fig. 2. Location of the study area

ПОДАЦИ И МЕТОДЕ

У овом раду су за анализу потенцијалних локација за изградњу соларних електрана коришћени геоинформациони системи. Како би се изабрале најпогодније локације за коришћење соларне енергије, потребно је утврдити факторе који утичу на одрживост соларних електрана на истраживаном подручју. Тренутно у Србији не постоје прописи који прецизирају услове терена за изградњу соларних електрана, стога су одабрани фактори овог истраживања изабрани на основу мишљења стручњака и претходних истраживачких студија. У овом истраживању, за креирање карте погодности за инсталацију соларних електрана у општини Куршумлија, изабрани су следећи предиспонирајући фактори: нагиб, експозиција, начин коришћења земљишта, удаљеност од постојеће инфраструктуре, као и годишња количина сунчевог зрачења истраживаног подручја. Иако је свако подручје различито по карактеристикама, за уградњу фотонапонских (PV) постројења могу се анализирати наведени фактори (Merouni et al., 2018).

Подаци о инсолацији подручја истраживања су изведени из ASTER глобалног дигиталног модела елевације (DEM, резолуција 30 m) коришћењем алата Area Solar Radiation. Нагиб терена представља веома важан фактор када се анализира погодна локација за инсталирање соларних електрана. Најприкладнији су терени са изузетно благим нагибом, ради лакше приступачности током изградње електрана и смањеног ризика од могућих несрећа чије шансе расту са нагибом терена (Ćurić & Durlević, 2019). Карта експозиције терена приказује оријентацију терена у односу на сунце. Република Србија се налази на северној хемисфери, где је на јужним експозицијама изложеност терена сунчевом интензитету највећа, па је јужни правац експозиције најпогоднији за изградњу соларних електрана (Ćurić & Durlević, 2019). База података Corine Land Cover коришћена је за потребе добијања карте коришћења земљишта. Подручја попут шума, заштићених подручја, мочвара, река и језера су неприкладна за из-

DATA AND METHODS

In this paper, geoinformation systems were used for the analysis of potential locations for the construction of solar power plants. In order to select the most suitable locations for the use of solar energy, it is necessary to determine the factors that affect the sustainability of solar power plants in the study area. Currently in Serbia there are no regulations that specify the terrain conditions for the construction of solar power plants, so the selected factors of this research were chosen based on the opinion of experts and previous research studies. In this study, the following predisposing factors were selected to create a map of suitability for the installation of solar power plants in the municipality of Kuršumlija: slope, aspect, land use, distance from existing infrastructure, and annual amount of solar radiation in the study area. Although each area is different in characteristics, the above factors can be analyzed for the installation of Photovoltaic (PV) plants (Merouni et al., 2018).

The insolation data of the study area were derived from the ASTER global digital elevation model (DEM, 30 m resolution) using the Area Solar Radiation tool. The slope of the terrain is a very important factor when analyzing a suitable location for the installation of solar power plants. The most suitable terrains are with an extremely slight slope, for easier accessibility during the construction of power plants and reduced risk of possible accidents whose chances increase with the slope of the terrain (Ćurić & Durlević, 2019). The aspect map shows the orientation of the terrain in relation to the sun. The Republic of Serbia is located in the northern hemisphere, where the exposure of the terrain to solar intensity is greatest at the southern exposures, so the southern direction of the aspect is the most suitable for the construction of solar power plants (Ćurić & Durlević, 2019). The Corine Land Cover database was used to obtain a land use map. Areas such as forests, protected areas, wetlands, rivers and lakes are unsuitable for the construction of solar

градњу соларних електрана (Yousefi et al., 2018). Такође, врло је важно да соларне електране буду доступне за изградњу, па је неопходно узети у обзир удаљеност до путне мреже (Choi et al., 2019). Неотежан приступ транспортној мрежи смањује оперативне трошкове изградње (Zoghi et al., 2017). Помоћу алата Euclidean Distance у софтверу ArcGIS Pro је израчуната удаљеност од путне мреже у истраживаном подручју. Подаци о заштићеним подручјима на територији општине Куршумлија су преузети из Светске базе података о заштићеним подручјима. Различитим класама тематских слојева додељене су вредности оцењивања које одговарају њиховом релативном доприносу лакшем постављању соларних електрана. У овом истраживању, значајност критеријума је заснована на мишљењу стручњака, литератури и локацијама коришћења соларне енергије у Србији. Вредности оцена су изведене кроз АНП приступ.

АНП приступ који је установио Saaty (1980), је најчешће коришћена метода за квантификавање тежине према мишљењу стручњака. Укупне тежине и важност сваког улазног параметра добијају се помоћу матрице упоређивања у пару (Choi et al., 2019). На почетку АНП процеса дефинише се циљ и бирају алтернативе и критеријуми. После тога се генерише матрица упоређивања у пару (A). Релативна важност два критеријума мери се према нумеричкој скали од 1 до 9 (Saaty, 1980).

$$A = \begin{matrix} & 1 & a & b \\ 1/a & 1 & c & \\ 1/b & 1/c & 1 & \end{matrix} \quad (1)$$

Потребно је нормализовати матрицу (A) дељењем елемената сваке колоне збиром елемената исте колоне како би се израчунала значајност сваког критеријума. Просек редова нове матрице даје тражене релативне тежине критеријума (Merrouni et al., 2018). Прикупљени подаци су затим обрађени у софтверу ArcGISPro преко алата WOM.

power plants (Yousefi et al., 2018). Also, it is very important that solar power plants are available for construction, so it is necessary to take into account the distance to the road network (Choi et al., 2019). Easy access to the transport network reduces the operating costs of construction (Zoghi et al., 2017). Using the Euclidean Distance tool in the ArcGIS Pro software, the distance from the road network in the study area was calculated. Data on protected areas in the municipality of Kuršumlija were obtained from the World Database on Protected Areas. Different classes of thematic layers have been assigned evaluation values that correspond to their relative contribution to easier installation of solar power plants. In this study, the weight of the criteria is based on the expert's opinion, literature and solar utilization sites in Serbia. Rating values were derived through the AHP approach.

The AHP approach established by Saaty (1980) is the most commonly used method for quantifying weight according to experts. The total weights and importance of each input parameter are obtained using a pairwise comparison matrix (Choi et al., 2019). At the beginning of the AHP process, the goal is defined and alternatives and criteria are chosen. After that, a pairwise comparison matrix (A) is generated. The relative importance of the two criteria is measured according to a numerical scale from 1 to 9 (Saaty, 1980).

$$A = \begin{matrix} & 1 & a & b \\ 1/a & 1 & c & \\ 1/b & 1/c & 1 & \end{matrix} \quad (1)$$

It is necessary to normalize the matrix (A) by dividing the elements of each column by the sum of the elements of the same column in order to calculate the significance of each criterion. The average rows of the new matrix give the required relative weights of the criteria (Merrouni et al., 2018). The collected data were then processed in ArcGIS Pro software through the WOM tool.

РЕЗУЛТАТИ

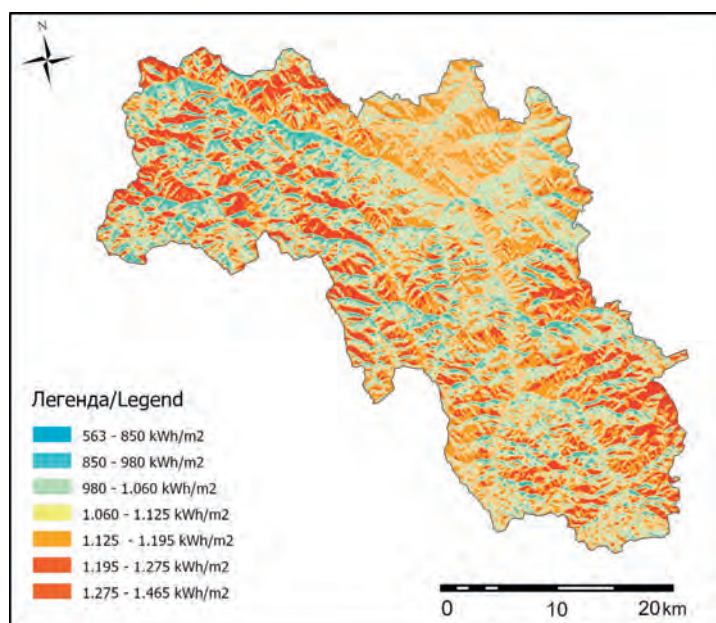
Соларна радијација

Соларна радијација се може израчунати помоћу алата Area Solar Radiation у софтверу ArcGIS Pro. Резултати су исказани у kWh/m² у било којој тачки или подручју за одређено време. Овај алат користи DEM као основу за израчунавање соларне радијације на истраживаном подручју. На истраживаном подручју највећи ниво соларне радијације (1275–1465 kWh/m²) имају западни и југоисточни делови општине Куршумлија (Сл. 3).

RESULTS

Solar Radiation

Solar radiation can be calculated using the Area Solar Radiation tool in ArcGIS Pro software. Results are expressed in kWh/m² at any point or area for a given time. This tool uses a DEM as a basis for calculating solar radiation in the study area. In the investigated area, the western and southeastern parts of the municipality of Kuršumlija have the highest level of solar radiation (1275–1465 kWh/m²) (Fig. 3).



Сл. 3. Соларна радијација
Fig. 3. Solar radiation map

Нагиб терена

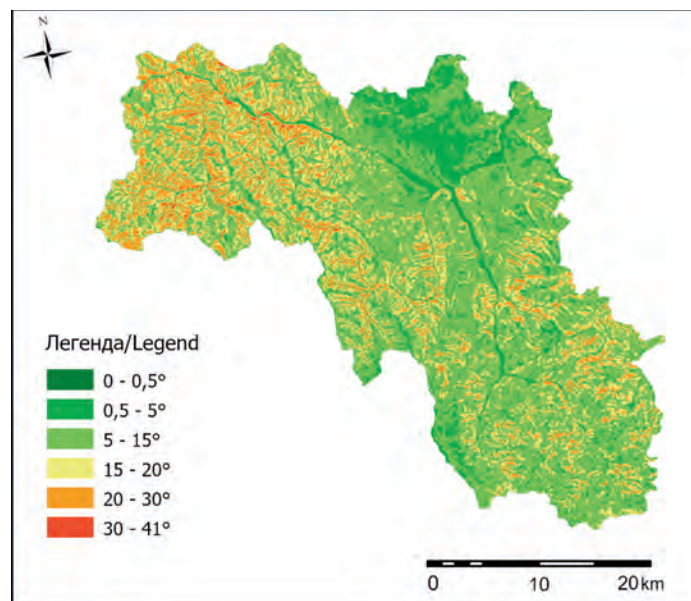
Aly et al. (2017) истичу да у литератури не постоји консензус у вези са прихваћеним процентом нагиба за PV постројења. Нагиб у овом истраживању је генерисан помоћу DEM и алата Slope у софтверу ArcGIS Pro. Због неприступачности током изградње и отежаног одржавања електрана, треба избегавати високе нагибе. Стога је долинама и стрмом земљишту са нагибом већим од 5 процената додељена најмања оцена. На територији општине Куршумлија, погодан нагиб терена се налази у долинама река. Најпо-

Slope

Aly et al. (2017) point out that there is no consensus in the literature regarding the accepted percentage of slope for PV plants. The slope in this study was generated using DEM and Slope tools in ArcGIS Pro software. Due to inaccessibility during construction and difficult maintenance of power plants, high slopes should be avoided. Therefore, valleys and steep land with a slope greater than 5 percent were given the lowest grade. On the territory of the municipality of Kuršumlija, a suitable slope of the terrain is located in the river valleys.

вољнији нагиб терена је $0.5\text{--}3^\circ$, који је најбоље оцењен због стабилности соларних електрана, а који се налази у северном делу општине (Сл. 4). На равним теренима са нагибом испод 0.5° , вода се често задржава након значајних падавина, како због нагиба, тако и због специфичне геолошке подлоге (Ćurić & Durlević, 2019). У многим истраживањима се препоручује да за изградњу соларне електране нагиб терена треба да буде 10° или мање (Choi et al., 2019; Al Garni & Awasthi, 2017; Yousefi et al., 2018).

The most favorable slope of the terrain is $0.5\text{--}3^\circ$, which are best rated due to the stability of solar power plants located in the northern part of the municipality (Fig. 4). On flat terrains with a slope below 0.5° , water is often retained after significant precipitation, both due to the slope and due to the specific geological base (Ćurić & Durlević, 2019). Many studies recommend that for the construction of a solar power plant, the slope of the terrain should be 10° or less (Choi et al., 2019; Al Garni & Awasthi, 2017; Yousefi et al., 2018).



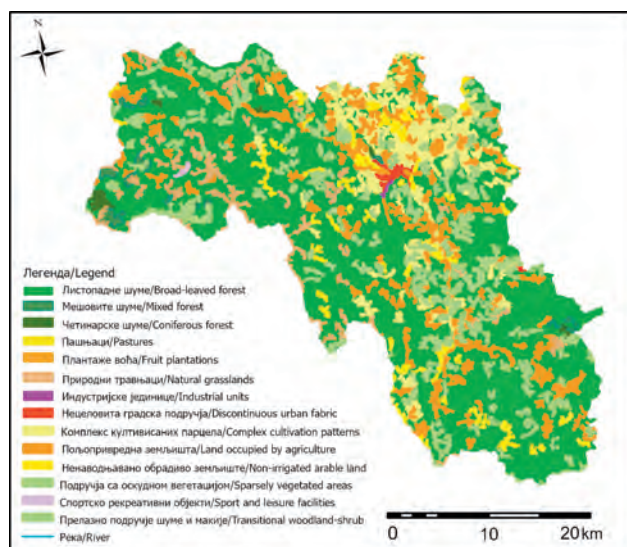
Сл. 4. Нагиб терена
Fig. 4. Slope map

Начин коришћења земљишта

Начин коришћења земљишта зависи од међусобних утицаја природних и антропогених фактора. У овом истраживању информације о коришћењу земљишта добијене су из Corine Land Cover базе података. Најприкладнија подручја за изградњу соларних електрана су ненаводњавана обрадива земљишта која су углавном заступљена у северном делу општине (Сл. 5). Овој класи, као и подручјима са оскудном вегетацијом су додељене највише оцене. Велики део општине је под листопадним шумама (65%), те је неопходно заштитити екосистеме од антропогеног утицаја (Ćurić & Durlević, 2019). Из наведених разлога подручјима са шумском вегетацијом је додељена ниска оцена значајности.

Land use

The way of land use depends on the mutual influences of natural and anthropogenic factors. In this study, land use information was obtained from the Corine Land Cover database. The most suitable areas for the construction of solar power plants are non-irrigated arable land, which is mainly present in the northern part of the municipality (Fig. 5). This class, as well as areas with sparse vegetation, were awarded the highest marks. A large part of the municipality is under deciduous forests (65%), so it is necessary to protect ecosystems from anthropogenic impact (Ćurić & Durlević, 2019). For these reasons, areas with forest vegetation were assigned a low weight.



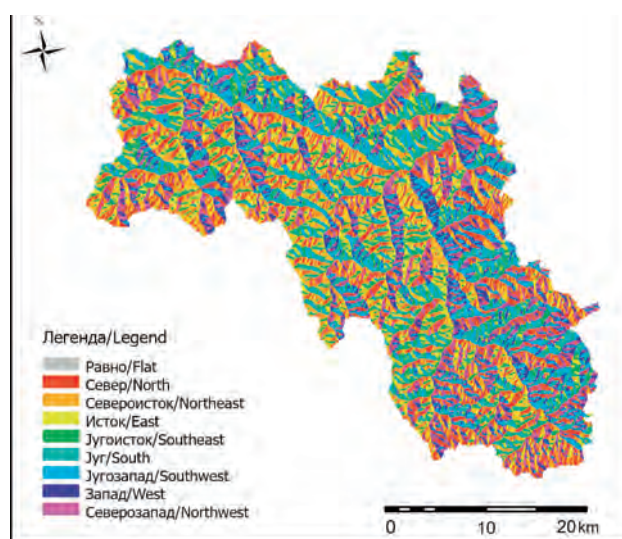
Сл. 5. Начин коришћења земљишта
Fig. 5. Land use map

Експозиција терена

Експозиција терена је такође битан фактор при планирању изградње соларних електрана. На јужним експозицијама рад соларних панела је много ефикаснији у поређењу са осталим правцима. Разлог томе јесте то што јужне падине на северној хемисфери имају више сунчаних сати у односу на друге правце. Стога су падине у јужним правцима оцењене високом оценом 5. Јужни, југозападни и југоисточни правци заступљени су у већим деловима општине (Сл. 6).

Aspect

The aspect is also an important factor in planning the construction of solar power plants. Solar panels are much more efficient at the southern exposures compared to other directions. The reason for that is that the southern slopes in the northern hemisphere have more hours of sunshine compared to other directions. Therefore, the slopes in the southern directions were rated high 5. The southern, southwestern and southeastern directions are represented in larger parts of the municipality (Fig. 6).



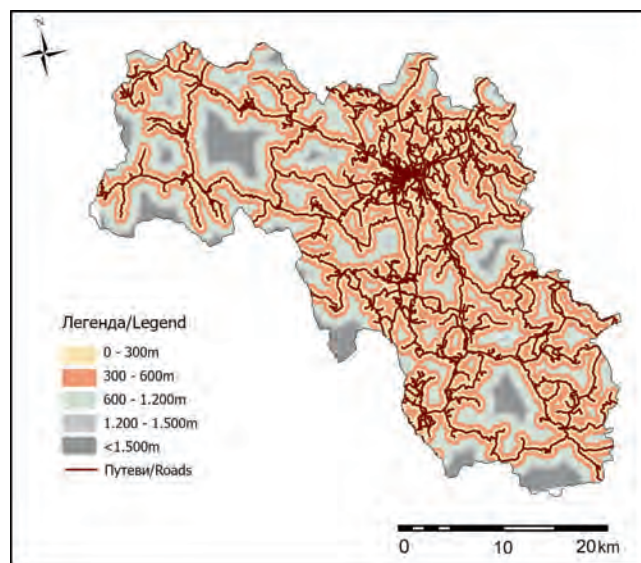
Сл. 6. Карта експозиције терена
Fig. 6. Aspect map

Удаљеност од путева

Путеви играју једну од пресудних улога у одабиру погодних подручја за изградњу PV постројења. Близина путева је пожељан економски фактор јер се избегавају додатни трошкови, као што је нпр. изградња нове инфраструктуре (Khemiri et al., 2018). Такође, пожељно је да се PV постројења налазе у близини путева вишег ранга ради веће приступачности. У истраживаном подручју, направљене су зоне удаљености око путева на сваких, 300, 600, 1200 и 1500 m удаљености (Сл. 7). На територији општине Куршумлија процењује се да је већина подручја изузетно повољно, тј. на удаљености мањој од 600 m. Међутим, ове зоне треба комбиновати са локацијама оцењеним са високим оценама из других карата како би се свеобухватније посматрао простор за примену сунчеве енергије (Ćurić & Durlević, 2019).

Distance from roads

Roads play one of the crucial roles in selecting suitable areas for the construction of PV plants. Proximity to roads is a desirable economic factor because additional costs are avoided, such as e.g. construction of new infrastructure (Khemiri et al., 2018). Also, it is desirable that PV plants are located near higher-ranking roads for greater accessibility. In the study area, distance zones were created around the roads at each, 300, 600, 1200 and 1500 m distances (Fig. 7). On the territory of the municipality of Kuršumljia, it is estimated that most of the areas are extremely favorable, ie. at a distance of less than 600 m. However, these zones should be combined with locations rated with high scores from other maps in order to observe the space for the application of solar energy more comprehensively (Ćurić & Durlević, 2019).



Сл. 7. Удаљеност од путева

Fig. 7. Road distance map

Заштићена подручја

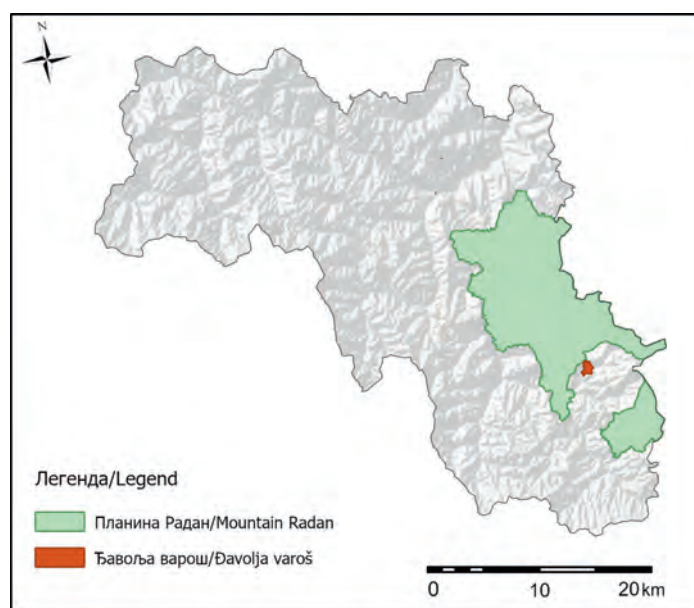
На заштићена подручја могу лоше утицати људске активности, попут изградње постројења за производњу соларне енергије. Ова подручја је потребно посебно размотрити пре постављања нових пројеката у њиховој близини и све док одређена удаљеност око њих не буде искључена са мапа погодности. Због својих

Protected areas

Protected areas can be adversely affected by human activities, such as the construction of solar power plants. These areas need to be considered separately before setting up new projects in their vicinity and until a certain distance around them is excluded from the benefit map. Due to their ecological values,

еколошких вредности, заштићена подручја се сматрају неприкладним за изградњу соларних електрана (Zoghi et al., 2017). Заштићена подручја у овом истраживању ће се сматрати непогодним за изградњу соларних електрана. На територији општине Куршумлија постоје два типа заштићених подручја: планина Радан која је заштићена као природно добро од изузетног значаја и Ђавоља Варош која је специјални резерват природе (Сл. 8).

protected areas are considered unsuitable for the construction of solar power plants (Zoghi et al., 2017). The protected areas in this study will be considered unsuitable for the construction of solar power plants. There are two types of protected areas on the territory of the municipality of Kuršumljia: Mount Radan, which is protected as a natural asset of exceptional importance, and Đavolja Varoš, which is a special nature reserve (Fig. 8).



Сл. 8. Заштићена подручја
Fig. 8. Protected areas

Синтезна карта

Synthesis map

Коришћењем ГИС технологије, наведене тематске карте су искоришћене за израду карте погодности за примену PV електрана у општини Куршумлија. Претходне студије су пружиле важне информације за упоређивање значајности и оцењивање параметара од стране стручњака. Резултати упоређивања указују на то да критеријум соларне радијације добија највећу значајност од 0.39, а следи критеријум нагиба са тежином једнаком 0.28 (Таб. 1). Збир свих значајности износи 1 (Khemiri et al., 2018).

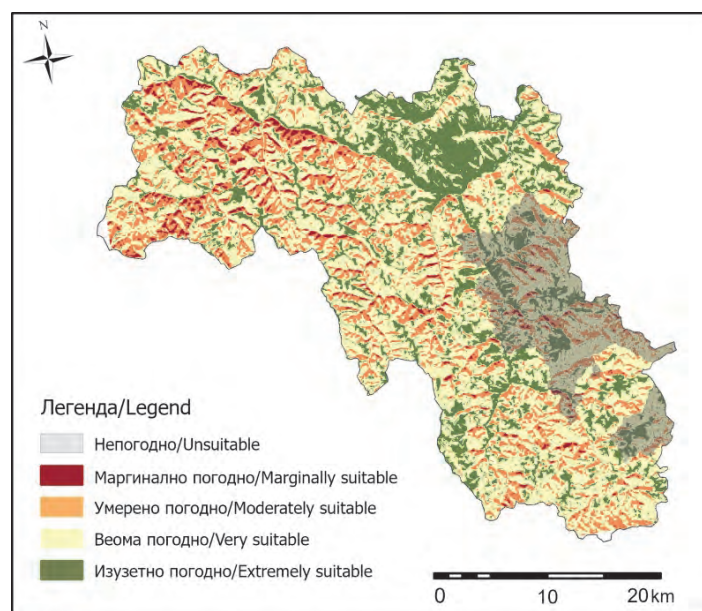
Using GIS technology, the thematic maps were used to create a map of suitability for the application of PV power plants in the municipality of Kuršumljia. Previous studies provided important information for weighting and rating the parameters by experts. The results of the comparison indicate that the criterion of solar radiation gained the highest significance of 0.39, followed by the criterion of slope with a weight equal to 0.28 (Tab. 1). The sum of all significance is 1 (Khemiri et al., 2018).

Таб. 1. Значајност фактора
Tab. 1. Significance of factors

Фактори / Factors	Значајност / Weight
Соларна радијација / Area Solar Radiation (C1)	0.39
Нагиб / Slope (C2)	0.28
Начин коришћења земљишта / Land use (C3)	0.21
Експозиција / Aspect (C4)	0.07
Удаљеност од путева / Distance to roads (C5)	0.06

Добијене вредности су груписане у пет класа: непогодне, маргинално погодне, умерено погодне, јако погодне и изузетно погодне (Сл. 9).

The obtained values are grouped into five classes: unsuitable, marginally suitable, moderately suitable, very suitable and extremely suitable (Fig. 9).



Сл. 9. Синтезна карта
Fig. 9. Synthesis map

Добијена синтезна карта указује на то да се најпогоднија подручја налазе у северним и северозападним деловима истраживаног подручја, као и деловима општине уз долине река. На основу површина добијених из ГИС-а утврђено је да је 181.1 km² истраживаног подручја јако погодно и изузетно погодно за изградњу електрана. Подручја високе погодности за изградњу електрана чине 19 % подручја, док умерено погодна подручја заузимају 436.2 km² (46 %) истраживаног подручја. Заштићена подручја су означена као непогодна и заузимају 139 km² (14.6 %) општине Куршумлија.

The obtained synthesis map indicates that the most suitable areas are located in the northern and northwestern parts of study area, as well as parts of the municipality along the river valleys. Based on the areas obtained from GIS, it was determined that 181.1 km² of the investigated area is very suitable and extremely suitable for the construction of power plants. Areas of high suitability for the construction of power plants make up 19 % of the area, while moderately suitable areas occupy 436.2 km² (46 %) of the study area. Protected areas are marked as unsuitable and occupy 139 km² (14.6 %) of the municipality of Kuršumlija.

ДИСКУСИЈА

Највећа несигурност при процени инсталације соларног система долази из података о сунчевом зрачењу. Побољшавањем података о сунчевом зрачењу и стављањем истих на увид јавности може се помоћи инвеститорима да донесу ефикасне и сигурне одлуке. Стварање синтезне карте соларног потенцијала општине Куршумлија може допринети развоју стратегија за искоришћавање соларног потенцијала и на тај начин помоћи развоју обновљивих извора енергије. У Србији су се у протеклих 40 година изузетно ретко финансирали истраживања у области процене природних ресурса соларног зрачења (Гбурчик et al., 2004). Национални центар за сунчево зрачење укинут је 1988. године, а 1991. су престала и сва мерења сунчевог зрачења. Подаци су тешко доступни јер не постоје базе података (Гбурчик et al., 2004).

Процењено сунчево зрачење у Србији износи око 1500–2200 kWh/m² што је око 30 % више него у Средњој Европи. Количина добијене енергије сунца у току вегетационог периода креће се од 4.9 kWh/m² на западу, до 5.7 kWh/m² на југоистоку Србије. Најниже вредности у Србији подударају се са највећим вредностима у Аустрији и Немачкој, које предњаче у коришћењу сунчеве енергије (Gburčik et al., 2006). Нема тачних података колико се енергије у Србији добија из обновљивих извора енергије. На доминантно коришћење конвенционалних извора енергије имају утицај значајне резерве лигнита и мрког угља (Petrović et al., 2014). Значајан напредак је остварен у погледу хидро и ветропотенцијала, док су други облици обновљивих извора енергије још увек недовољно искоришћени. До сада у Србији је изграђено око 21 MW соларних електрана. Наведене соларне електране су капацитети малих снага. За инвеститоре и планере је највећи изазов да одреде погодна географска подручја за соларне електране и инсталирају их на одговарајућем месту. Иновације у мапирању соларног зрачења могу допринети брзом расту тржишта соларне енергије. Прецизне карте погодних подручја за инсталирање соларних електрана биће све

DISCUSSION

The greatest uncertainty in estimating the installation of a solar system comes from solar radiation data. Improving solar radiation data and making it available to the public can help investors make efficient and secure decisions. Creating a synthesis map of the solar potential of the municipality of Kuršumlija can contribute to the development of strategies for the use of solar potential and thus help the development of renewable energy sources. In the past 40 years, research in the field of assessment of natural solar radiation resources has been extremely rarely funded in Serbia (Гбурчик et al., 2004). The National Solar Radiation Center was abolished in 1988 and in 1991, all measurements of solar radiation stopped. Data are difficult to access because there are no databases (Гбурчик et al., 2004).

The estimated solar radiation in Serbia is about 1500–2200 kWh/m², which is about 30 % more than in Central Europe. The amount of solar energy obtained during the vegetation period ranges from 4.9 kWh/m² in the west to 5.7 kWh/m² in southeastern Serbia. The lowest values in Serbia coincide with the highest values in Austria and Germany, which lead in the use of solar energy (Gburčik et al., 2006). There is no exact data on how much energy is obtained in Serbia from renewable energy sources. The dominant use of conventional energy sources is influenced by significant reserves of lignite and brown coal (Petrović et al., 2014). Significant progress has been made in terms of hydro and wind potential, while other forms of renewable energy are still underutilized. About 21 MW of solar power plants have been built in Serbia so far. These solar power plants are low power capacities. The biggest challenge for investors and planners is to determine suitable geographical areas for solar power plants and install them in the appropriate place. Innovations in solar radiation mapping can contribute to the rapid growth of the solar energy market. Accurate maps of suitable areas for installing solar power plants will be increasingly important as investors

важније јер инвеститори траже уверење да ће послови бити заиста профитабилни. Због тога је проналажење правог места за инсталирање система соларне енергије веома важно (Charabi & Gastli, 2010). Развој обновљивих извора енергије би требало да допринесе бржем развоју постојећих привредних грана и делатности. Значајна инвестициона средства ће послужити као основа за економски прогрес читаве земље, а ГИС технологије ће омогућити значајно ефикаснији процес одлучивања и планирања који на дужи рок обезбеђује услове за већу запосленост, пораст стандарда и боље укупне услове живота (Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године, 2015).

Добијени подаци указују да су северни и северозападни делови истраживаног подручја најпогоднији за инсталацију соларних електрана. Западни делови нису погодни, највише због стрмих нагиба терена и шумског земљишта које се сматра непогодним за инсталацију соларних електрана. Резултати показују да је 19 % површине општине јако и изузетно погодно, а чак 46 % површине умерено погодно за изградњу соларних електрана. Због веома високог процента погодне територије (65 %), на терену би требало измерити додатне факторе како би се додатно повећала поузданост резултата. Иако се улога ГИС-а у последњем периоду све више користи за процену соларне енергије, и даље постоји јаз између карата повезаних са соларном енергијом које су генерисали истраживачи и њихове практичне употребе у пројектовању и управљању системима соларне енергије од стране инжењера, планера и дизајнера. Сходно томе, потребни су већи напори како би се овај јаз смањио повећањем применљивости и практичности будућих резултата (Choi et al., 2019). Ово истраживање може послужити као основа за даље унапређење методологије. У идеалном случају, финансијери великих енергетских пројеката на подручју општине, узимали би у обзир зоне погодности за изградњу соларних електрана као важан извор за будуће пројекте у регионалном планирању и развоју.

seek reassurance that the business will be truly profitable. That is why finding the right place to install a solar energy system is very important (Charabi & Gastli, 2010). The development of renewable energy sources should contribute to the faster development of existing industries and activities. Significant investment funds will serve as the basis for economic progress of the entire country, and GIS technologies will enable a significantly more efficient decision-making and planning process that provides conditions for higher employment, higher standards and better overall living conditions (Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године, 2015).

The obtained data indicate that the northern and northwestern parts of the investigated area are the most suitable for the installation of solar power plants. The western parts are not suitable, mostly due to the steep slopes of the terrain and forest land, which is considered unsuitable for the installation of solar power plants. The results show that 19 % of the area of the municipality is very and extremely suitable, and as much as 46 % of the area is moderately suitable for the construction of solar power plants. Due to the very high percentage of suitable territory (65 %), additional factors should be measured in the field to further increase the reliability of the results. Although the role of GIS has been increasingly used to estimate solar energy, there is still a gap between solar-generated maps generated by researchers and their practical uses in the design and management of solar energy systems by engineers, planners and designers. Consequently, greater efforts are needed to reduce this gap by increasing the applicability and practicality of future results (Choi et al., 2019). This research can provide as a basis for further improvement of the methodology. Ideally, financiers of large energy projects in the municipality would consider convenience zones for the construction of solar power plants as an important source for future projects in regional planning and development.

ЗАКЉУЧАК

Соларна енергија је енергија будућности. Осим што је овај облик енергије присутан у неограниченим количинама, велика је предност то што енергија сунца не загађује околину. У погледу примања сунчевог зрачења, Србија има јако велики потенцијал за инсталацију великих соларних електрана, нарочито источни и југо-источни делови земље.

У овом раду је анализиран соларни потенцијал општине Куршумлија. Помоћу географских информационих система добијене су погодне локације за изградњу PV соларних електрана. Добијене вредности јако и изузетно погодног земљишта (19 %) су довољне да шира примена соларне енергије у општини Куршумлија буде еколошки оправдана и економски прихватљива. Такође, потребно је извршити процену утицаја на животну средину како би се испунили сви еколошки критеријуми. С обзиром на растући значај обновљивих извора енергије, примењене методе истраживања могу помоћи у циљу искориштавања соларног потенцијала, како у општини Куршумлија, тако и на целој територији Републике Србије. Постепен прелазак са необновљивих на обновљиве изворе енергије у општини Куршумлија има вишеструке предности, као што су допринос економском расту, смањење емисије угљен диоксида, побољшање здравља грађана и заштита животне средине. У питању су чисти и економски оправдани извори енергије који доносе енергетску независност и побољшање квалитета ваздуха.

CONCLUSION

Solar energy is the energy of the future. Apart from the fact that this form of energy is present in unlimited quantities, the great advantage is that the energy of the sun does not pollute the environment. In terms of receiving solar radiation, Serbia has a very large potential for the installation of large solar power plants, especially the eastern and southeastern parts of the country.

In this paper, the solar potential of the municipality of Kuršumljia is analyzed. With the help of geographic information systems, suitable locations for the construction of PV solar power plants have been obtained. The obtained values of highly and extremely suitable land (19 %) are sufficient for the wider use of solar energy in the municipality of Kuršumljia to be environmentally justified and economically acceptable. Also, it is necessary to perform an environmental impact assessment in order to meet all environmental criteria. Given the growing importance of renewable energy sources, the applied research methods can help in order to exploit the solar potential, both in the municipality of Kuršumljia and in the entire territory of the Republic of Serbia. The gradual transition from non-renewable to renewable energy sources in the municipality of Kuršumljia has multiple advantages, such as contributing to economic growth, reducing carbon dioxide emissions, improving the health of citizens and protecting the environment. These are clean and economically justified energy sources that bring energy independence and improved air quality.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Al Garni, H. Z., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.024>
- Aly, A., Jensen, S. S., & Pedersen, A. B. (2017). Solar power potential of Tanzania: Identifying CSP and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis. *Renewable Energy*, 113, 159–175. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.077>
- Carrion, A. J., Estrella, A. E., Dols, F. A., Toro, M. Z., Rodriguez, M., & Ridaou, A. R. (2008). Environmental decision-support systems for evaluating the carrying capacity of land areas: Optimal site selection for grid-connected photovoltaic power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,

- 12(9), 2358–2380. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.06.011>
- Charabi, Y., & Gastli, A. (2010). GIS assessment of large CSP plant in Duqum, Oman. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 835–841. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.08.019>
- Choi, Y., Choi, Y., Suh, J., Park, H. D., Jang, M., & Go, W. R. (2013). Assessment of Photovoltaic Potentials at Buguk, Sungsan and Younggwang Abandoned Mines in Jeollanam-do, Korea. *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 50(6), 827–837. <https://doi.org/10.12972/ksmer.2013.50.6.827>
- Choi, Y., Suh, J., & Kim, S. M. (2019). GIS-Based Solar Radiation Mapping, Site Evaluation, and Potential Assessment: A Review. *Applied Sciences*, 9(9), 1960. <https://doi.org/10.3390/app9091960>
- Ćurić, V., & Durlević, U. (2019). Natural and Energy Potentials of Solar Energy Within the Vranje Municipality. *Proceedings Of The International Conference On Renewable Electrical Power Sources – ICREPS*, 7(1), 151–156.
- Гбурчик, П., Јовић, В., Тодоровић, Д., Срдановић, В., Гбурчик, В., Вучинић, Ж., Вратоњић, Б., & Гргур, Б. (2004). *Студија енергетског потенцијала Србије за коришћење сунчевог зрачења и енергије ветра*. Министарство науке и заштите животне средине Републике Србије.
- Gburčik, P., Gburčik, V., Gavrilov, M., Srdanović, V., & Mastilović, S. (2006). Complementary Regimes of Solar and Wind Energy in Serbia. *Geographica Pannonica*, 10, 22–25. <https://doi.org/10.5937/GeoPan0610022G>
- International Energy Agency. (2020). *World Energy Outlook 2020*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/557a761b-en>
- Janke, J. R. (2010). Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. *Renewable Energy*, 35(10), 2228–2234. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.03.014>
- Khemiri, W., Yaagoubi, R., & Miky, Y. (2018). Optimal placement of solar photovoltaic farms using analytical hierarchical process and geographic information system in Mekkah, Saudi Arabia. *AIP Conference Proceedings*, 2056(1), 020025. <https://doi.org/10.1063/1.5084998>
- Merrouni, A. A., Elalaoui, F. E., Mezrhab, A., Mezrhab, A., & Ghennioui, A. (2018). Large scale PV sites selection by combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case study: Eastern Marocco. *Renewable Energy*, 119, 863–873. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.044>
- Petrović, M., Bolić, A., Sjenar, Z., Madeško, M., Kalčo, M., Alomerović, A., Njogo, A., Rodić, A., & Ademović, A. (2014). *Студија изводљивости о могућностима коришћења solarne енергије за потребе добијања toplotne i električne енергије на подручју grada Bijeljine i opštine Bogatić*.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.
- Solar Power Europe (2020). *Global Market Outlook for Solar Power 2020-2024*. <https://resources.solarbusinesshub.com/images/reports/259.pdf>
- Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године, Службени гласник Републике Србије бр. 101 (2015).
- Yousefi, H., Hafeznia, H., & Yousefi-Sahzabi, A. (2018). Spatial Site Selection for Solar Power Plants Using a GIS-Based Boolean-Fuzzy Logic Model: A Case Study of Markazi Province, Iran. *Energies*, 11(7), 1648. <https://doi.org/10.3390/en11071648>
- Zoghi, M., Ehsani, A. H., Sadat, M., Amiri, M. J., & Karimi, S. (2017). Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(2), 986–996. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.014>