
УРОШ ДУРЛЕВИЋ, студент докторских студија
Географски факултет, Универзитет у Београду
durlevicuros@gmail.com

УРОШ МИЛИНЧИЋ, студент докторских студија
Географски факултет, Универзитет у Београду
uros.milincic@gmail.com

ВЛАДИМИР ЂУРИЋ, студент основних студија
Географски факултет, Универзитет у Београду

Др МИРОЉУБ А. МИЛИНЧИЋ, редовни професор
Географски факултет, Универзитет у Београду

UDK 502.2:621.311.243(497.11)
007:912]:004

АНАЛИЗА ПРОСТОРА ОПШТИНЕ АЛЕКСАНДРОВАЦ ЗА ПОТРЕБЕ ПЛАНИРАЊА СОЛАРНИХ ЕЛЕКТРАНА

АПСТРАКТ: Анализа природних и антропојених услова има значајан утицај на потенцијалну валоризацију соларне енергије у општини Александровац. Циљ рада је идентификација површина најпогоднијих за инсталацију соларних електрана и њихов картографски приказ. Методологија која је коришћена у раду подразумева обраду геопросторних података у географским информационим системима (ГИС). За добијање синтезне карте, коришћено је пет критеријума: најб шерена, експозиција, начин коришћења земљишта, заштитна простора и животиње средине и удаљености локација од саобраћајница. Предметни природни и антропојени услови картографски су приказани у виду тематских карата. Након формиране базе података у ГИС-у, добијени резултати указују да је на територији општине Александровац више од 40 km² површине изузетно погодно за изградњу соларних електрана. Овај рад треба да омогући значајан искорак ка бољем разумевању потенцијала овог вида обновљиве енергије и даје могућност за евентуалну изградњу истих, чиме би се уштедела значајна количина фосилних горива и повећао квалитет животне средине.

КЉУЧНЕ РЕЧИ: општина Александровац, соларна енергија, ГИС, природни и антропојени услови

Увод

Соларна енергија је обновљиви извор енергије са глобално највећим потенцијалом. Сунце планети Земљи сваког сата испоручује више енергије него што људско друштво користи у једној години, а све то без

емисије гасова са ефектом стаклене баште.¹ Конверзија сунчеве у електричну енергију, тзв. фотонапонски ефекат примећен је пре скоро два века, али тек развојем квантне теорије почетком XX века, овај феномен је објашњен и схваћен.² Од почетка XXI века, соларна енергија представља најбрже растући извор електричне енергије од свих обновљивих извора енергије.³ До краја 2018. године укупан инсталисан капацитет фотонапонских система у свету износио је 480.357 MW.⁴ Током 2018. године фотонапонске електране са 570 TWh учествују са 2% у укупној производњи електричне енергије. До краја 2030. године производња електричне енергије из фотонапонских система могла би да достигне 3.268 TWh (IEA, 2019).⁵

Просечно, Србија има више сунчаних часова од већине европских земаља,⁶ а соларно зрачење је за 40% веће од европског просека.⁷ Број сунчаних сати на годишњем нивоу (период 1961–2010) креће се у интервалу од 1.534,8 часова у Пожеги до 2.142,6 часова у Кикинди (Миловановић и други, 2017).⁸ Према Студији коју је за Србију израдио Институт за мултидисциплинарна истраживања [IMSI] Универзитета у Београду (2004), у северозападном делу процењене су најниже годишње вредности енергије глобалног зрачења на хоризонталну површину (мање од 1.240 kWh/m²), док су највише (веће од 1.540 kWh/m²) на југоистоку, при чему просечна вредност износи 1.400 kWh/m². За општину Александровац, просечна годишња вредност енергије глобалног зрачења износи 1.390–1.460 kWh/m². Употребом формиране базе података и њеном обрадом у ГИС-у добијају се релевантни подаци који у комбинацији са теренским истраживањима могу бити веома прецизни.⁹

¹ O. S. Ohunaki, M. S. Adaramola, O. M. Oyewola & R. O. Fagbenle, "Solar energy applications and development in Nigeria: Drivers and barriers", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 32, (2014), 294–301.

² Lj. Stamenić, *Korišćenje solarne fotonaponske energije u Srbiji*. Washington 2009.

³ Д. Дољак, *Вредновање територија за употребу планирања фотонапонских електрана у Србији*. Докторска дисертација. Београд: Географски факултет, Универзитет у Београду, 2020.

⁴ International Renewable Energy Agency [IRENA], *Renewable capacity statistics 2019*. https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2019.pdf (приступљено 3. новембра 2020).

⁵ International Energy Agency, *Solar PV: Tracking Clean Energy Progress*. <https://www.iea.org/tcep/power/renewables/solarpv/> (приступљено 3. новембра 2020).

⁶ М. Милоновић и Д. Филиповић, *Информациони системи у планирању и заштити територија*, Београд 2017.

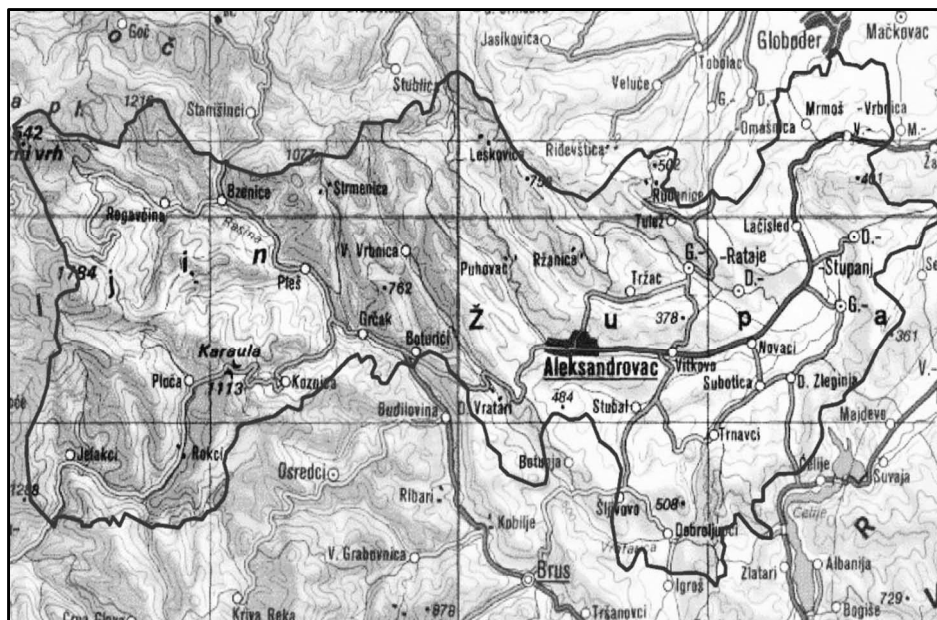
⁷ Lj. Stamenić, *n. d.*

⁸ Б. Миловановић, и други, „Клима Србије“ у: *Географија Србије*, уредник М. Радовановић, Београд 2017, 95–159.

⁹ U. Durlević, B. Mihailović & V. Ćurić, "Application of GIS assessing natural conditions for the development of raspberry growing at the territory of the municipality of Štrpce", *Researches review of the department of geography, tourism and hotel management*, 47–1, (2018), 1–10.

Простор истраживања

Општина Александровац се налази у јужној половини Централне Србије и захвата простор између централног била Копаоничке групе планина на западу, долине доњег тока Западне Мораве и Крушевачког басена на северу, доњег тока Расине и западних огранака Великог Јастрепца (1.492 m) на истоку и сниженог развођа средњег тока Расине на југу.¹⁰



Сл. 1. Географски положај општине Александровац

У актуелној административно-територијалној подели, због свог издуженог упоредничког пружања, захвата централне и крајње западне делове Расинског округа. Општина Александровац се граничи са шест општина, од којих три припадају Расинском (Брус, Крушевац и Трстеник), а три Рашком округу (Рашка, Краљево и Врњачка Бања). Територија има облик неправилног полигона оријентисаног у упоредничком правцу. Западни и источни део је шири, а средишњи ужи.¹¹

¹⁰ М. А. Милинчић, *Жуџа Александровацка, одлике природне средине*, Београд 2012.

¹¹ А. М. Милинчић и Д. Сандић, „Општина Александровац – положај, основна обележја и однос према окружењу“, *Жујски зборник*, бр. 1, (2006), 9–26.

Методологија

За потребе идентификације погодних локација за примену соларне енергије, коришћен је ГИС софтверски пакет QGIS 3.10. Извршена је анализа геопросторних података на основу којих су добијене 4 тематске карте: експозиција, нагиб терена начин коришћења земљишта и удаљеност простора од саобраћајница. На територији општине према постојећим подацима у ГИС-у, нема значајнијих заштићених подручја, тако да није било потребно имплементирати метод елиминације за одређене површине. Као продукт обраде и евалуације података са тематских карата, добијена је финална (синтезна) карта погодности.

Експозиција терена (S_1) представља најважнији природни услов за изградњу соларних електрана. Подаци за експозицију добијени су рекласификацијом дигиталног модела висина (EU-DEM), резолуције 25 метара, преузетог од стране Европске агенције за заштиту животне средине (ЕЕА). Извршена је евалуација страна света према погодности за експлоатацију соларне енергије. Највећа оцена додељује се јужној експозицији због најдужег присуства сунчевог зрачења, док се осојним странама (северне) додељују најниже вредности.

Страна света	Нагиб терена (°)	Оцена
Југ	0,5–4	5
Југозапад, југоисток	4–8	4
Исток, Запад	0–0,5; 8–12	3
Североисток, северозапад	12–16	2
Север	>16	1

Табела 1. Евалуација експозиције и нагиба терена за простор општине Александровац

Нагиб терена (S_2) такође је рађен путем дигиталног модела висина, исте резолуције. Ова морфометријска карактеристика има велики значај када се анализира доступност, односно приступачност терена. Терени који се одликују мањим нагибом, погодни су, односно приступачни за изградњу и одржавање соларних електрана, тако да је највећа оцена додељена релативно равним теренима. У зависности од геолошке и педолошке подлоге, простор где је нагиб терена 0–0,5° није оцењен највишом оценом због слабијег површинског отицања воде, тј. већих шанси за настанак поплава које би изазвале штету на инсталацијама.

Начин коришћења земљишта (S_3) преузет је из геопросторне базе података (Corine Land Cover, 2018) издате од стране Европске агенције за заштиту животне средине.

Намена земљишта	Оцена	Намена земљишта	Оцена
Већа насеља	1	Пољопривредне површине са природном вегетацијом	2
Индустријске и комерцијалне зоне	1	Листопадне шуме	1
Ненаводњаване пољопривредне површине	5	Четинарске шуме	1
Виногради	2	Мешовите шуме	1
Воћњаци	2	Пашњаци	3
Ливаде	4	Дрвенасто-жбунаста вегетација	2
Комплекс пољопривредних парцела	2	Површине са оскудном вегетацијом	5

Табела 2. Евалуација намене простора у општини Александровац

Ненаводњаване пољопривредне површине и површине са оскудном вегетацијом означене су као најпогодније за изградњу соларних електрана, тако да би одржавање потенцијалних соларних електрана било на одговарајућем нивоу. Већа насеља и индустријске зоне означене су вредношћу 1. У насељима и индустрији могуће је индивидуално постављање соларних панела на крововима објеката, али за енергетску независност потребне су знатно веће површине и изградња великих соларних електрана.

Удаљеност простора од саобраћајница (S_4) такође је обрађена у ГИС-у. Од свих саобраћајница у општини одређене су бафер (тампон) зоне у интервалу од 400 метара.

Удаљеност (m)	Оцена
0–400	5
400–800	4
800–1.200	3
1.200–1.600	2
➤ 1600	1

Табела 3. Евалуација удаљености простора од саобраћајница на територији општине Александровац

Простори који су удаљени од путева 0–400 метара означени су као најпогоднији, због приступачности приликом потенцијалне изградње соларних електрана и њиховог одржавања. Са већим удаљавањем простора од саобраћајница, смањује се доступност за коришћење соларне енергије.

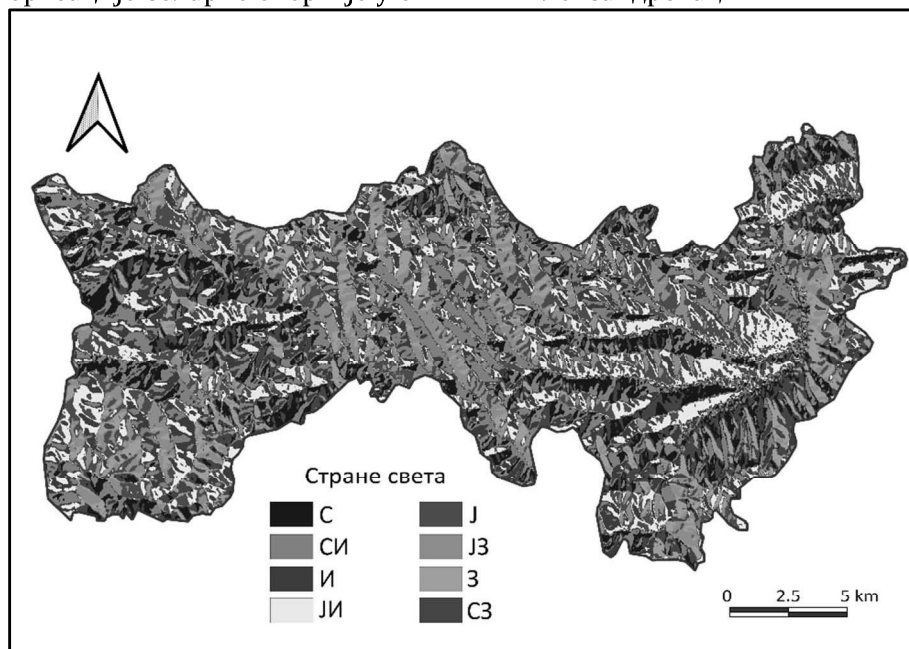
Обрадом тематских карата у ГИС-у, добијена је синтезна карта формулом:

$$Sk = \frac{S_1+S_2+S_3+S_4}{4}, \text{ где је}$$

Sk – синтезна карта, док S_1 , S_2 , S_3 и S_4 представљају тематске карте.

Резултати и дискусија

У географским информационим системима, картографски су приказани природни и антропогени услови који утичу на погодност валоризације соларне енергије у општини Александровац.



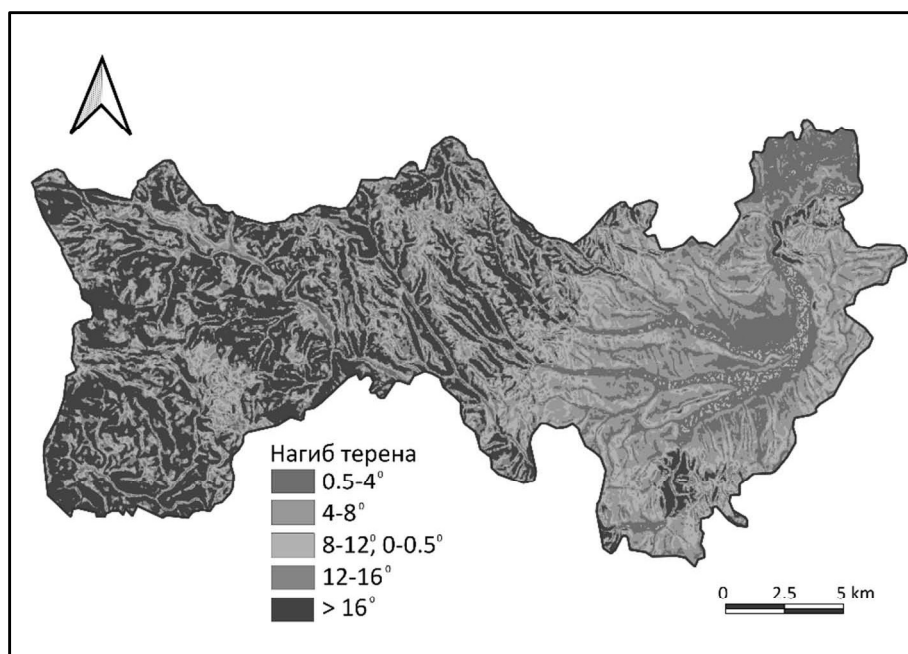
Сл. 2. Експозиција терена на простору општине Александровац

На истраживаном простору најзаступљенија експозиција је североисточна, која покрива 68,56 km² површине. Осојне стране које смањују потенцијал соларне енергије заступљеније су у општини него присојне стране (југ, југозапад, југоисток).

Страна света	Површина (km ²)	Удео (%)	Страна света	Површина (km ²)	Удео (%)
Север	52,92	13,59	Југ	50,03	12,85
Североисток	68,56	17,61	Југозапад	44,94	11,54
Исток	55,87	14,35	Запад	31,90	8,19
Југоисток	51,01	13,10	Северозапад	34,17	8,78

Табела 4. Површина експозиција на територији општине Александровац

Код нагиба терена постоји јасна разлика у степену инклинације између западног и источног дела општине. Западни део општине карактерише се великим нагибом који мање погодује примени соларне енергије, док су најповољније локације када је овај природни услов у питању, источни делови општине (Витково, Тржац, Горње и Доње Ратаје, Лаћислед). Као најпогоднији нагиб за потенцијалну изградњу соларних електрана узимају се вредности $0,5-4^\circ$ које обухватају 28% површине општине.

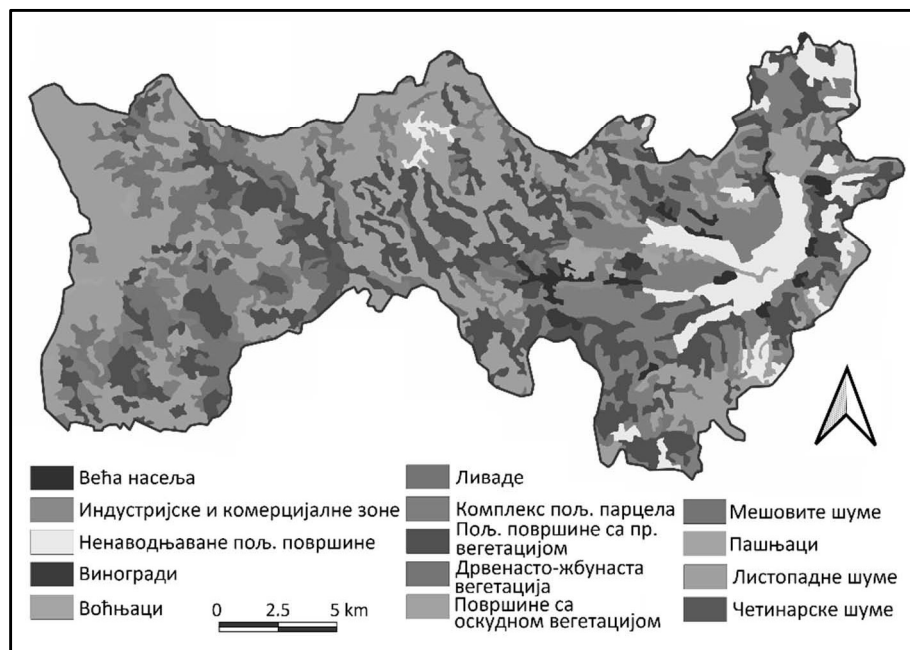


Сл. 4. Нагиб терена на простору општине Александровац

Нагиб терена ($^\circ$)	Површина (km^2)	Удео у површини (%)
0,5–4	109,38	28,09
4–8	65,17	16,73
8–12, 0–0,5	75,79	19,46
12–16	83,52	21,45
> 16	55,55	14,26
Укупно	389,40	100,00

Табела 5. Површина нагиба терена

Површине са нагибом терена $4-8^\circ$ ($65,17 \text{ km}^2$) такође се могу узети у разматрање за примену соларне енергије, у комбинацији са равнијим тереном.



Слика 5: Начин коришћења земљишта на простору општине Александровац

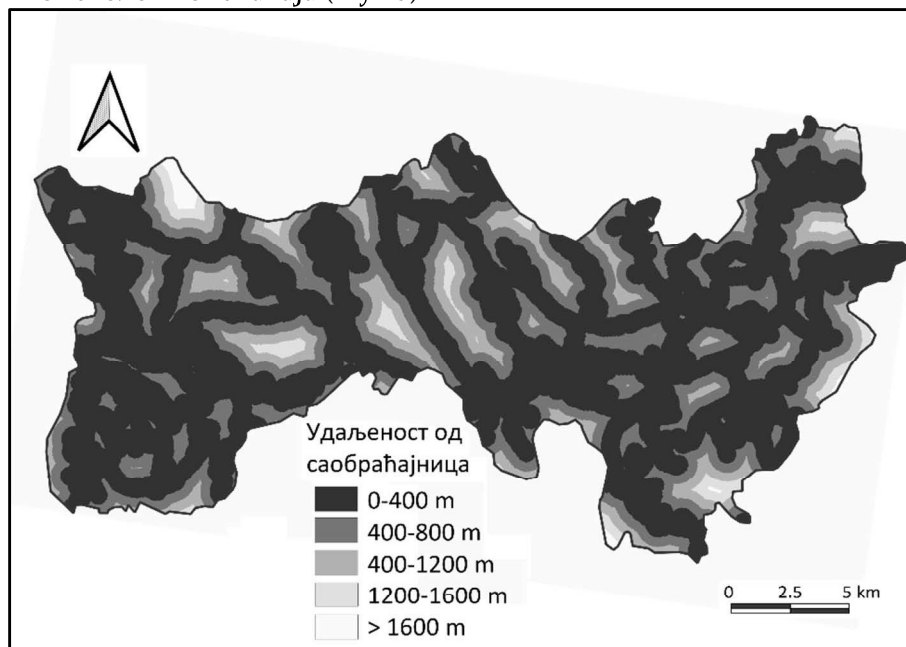
У општини је идентификовано 14 класа намене простора. Најпогодније локације налазе се у источном делу општине, где већином доминирају ненаводњаване пољопривредне површине, које укупно захваћају 83 km² (Горње и Доње Ратаје, Суботица, Горњи и Доњи Ступањ, Новаци). Површине са оскудном вегетацијом углавном се јављају у западном делу општине, односно на Жељину, али због већег нагиба терена, потенцијал за валоризацију соларне енергије је мањи.

Намена	Површина (km ²)	Удео (%)	Намена	Површина (km ²)	Удео (%)
Већа насеља	7,06	1,81	Пољопривредне површине са природном вегетацијом	82,81	21,27
Индустријске и комерцијалне зоне	0,51	0,13	Листопадне шуме	140,51	36,09

Ненаводња- ване пољопривредне површине	28,72	7,38	Четинарске шуме	8,71	2,24
Виногради	1,32	0,34	Мешовите шуме	7,88	2,02
Воћњаци	2,76	0,71	Пашњаци	3,23	0,83
Ливаде	4,19	1,08	Дрвенасто-жбунаста вегетација	28,30	7,27
Комплекс пољопривредних парцела	70,91	18,21	Површине са оскудном вегетацијом	2,47	0,63

Табела 6. Класе начина коришћења земљишта на територији општине Александровац

Највећу површину на истраживаном простору захватају листопадне шуме, које покривају више од 1/3 општине, заступљене у централном, западном и југоисточном делу. Комплекс пољопривредних парцела и пољопривредне површине са природном вегетацијом заузимају скоро 40% општине. Ове површине заједно са шумама нису погодне за развој соларне енергије због потребе становништва за производњом хране и великог еколошког значаја (шуме).



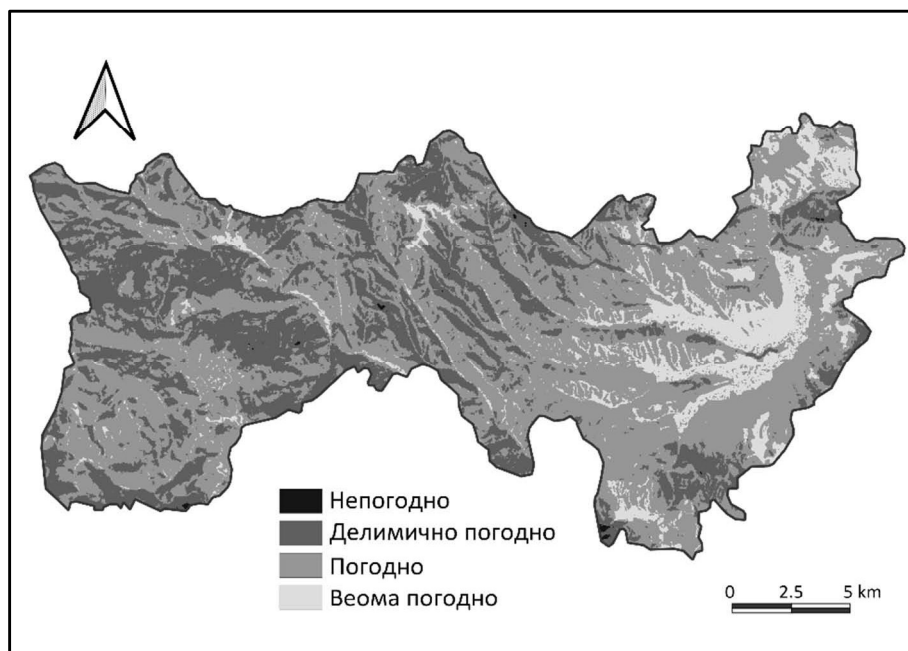
Сл. 6. Удаљеност површина од значајнијих саобраћајница на простору општине Александровац

Простори који су најближи саобраћајницама означени су као најпогоднији за примену соларне енергије (боља приступачност) и обухватају више од 62% површине општине.

Удаљеност (m)	Површина (km ²)	Удео (%)
0–400	244,54	62,80
400–800	95,10	24,42
800–1200	36,57	9,39
1200–1600	9,62	2,47
> 1600	3,56	0,91
Укупно	389,39	100,00

Табела 7. Удаљеност простора од саобраћајница на простору општине Александровац

У случају општине Александровац, простори који нису погодни по овом критеријуму су: терен северно од Рогавчине, простор јужно од Плеша, терен источно од насеља Доброљупци и простор јужно од Шљивова.



Сл. 7. Погодност за изградњу соларних електрана на простору општине Александровац

Анализом тематских карата, добијена је синтезна карта погодности. На основу карте, закључује се да је најпогоднији простор у источном, североисточном и југоисточном делу општине.

Степен погодности	Површина (km ²)	Удео (%)
Непогодно	1,11	0,29
Делимично погодно	113,95	29,26
Погодно	233,51	59,97
Веома погодно	40,81	10,48
Укупно	389,39	100,00

Табела 8. Површине погодне за изградњу соларних електрана на територији општине Александровац

Скоро 41 km² простора најпогоднији је за примену соларне енергије, и углавном се ове локације налазе у источном делу општине (Горње Ратаје, Доње Ратаје, Витковац, Доброљупци, Велика Врбница) а веома мале површине у западном делу (Бзенице). Потребно је одредити већи број пројеката и процена утицаја на животну средину како би соларна енергија у блиској будућности била основни извор снабдевања општине Александровац електричном енергијом. Осим што не емитује гасове са ефектом стаклене баште, соларна енергија је и економски оправдана. Радни век соларног панела је 20–25 година, а исплативност инвестиције је 7–9 година након инсталације целокупног система.¹² Трошкови изградње могли би делом бити покривени од стране Републике Србије, а делом од стране организација развијених земаља које су изразиле спремност на конференцији у Копенхагену 2009. да доделе значајна средства (до 100 милијарди \$ годишње) за помоћ земљама у развоју и њиховом преласку на чисту енергију.¹³

Закључак

На територији општине Александровац извршена је геопросторна анализа и валоризација природних и антропогених услова са циљем идентификовања погодних локација за потенцијалну изградњу соларних електрана. Обрадом тематских карата, добијена је финална карта погодности, која приказује локације у источном делу општине као најпогодније. Јужна експозиција, релативно мали нагиб терена, одсуство заштићених подручја и заступљеност ненаводњаваних пољопривредних површина условили су да на овом простору геопросторни услови буду најповољнији.

¹² U. Durlević i drugi, „Identifikacija pogodnih lokacija za primenu solarne energije na teritoriji opštine Pirot“, *Zbornik radova – Posledica klimatskih promena na poljoprivredu i životnu sredinu*, 1. Међународно саветовање, (2019), 98–105.

¹³ United Nations, Copenhagen Climate change (2009). http://unfccc.int/meetings/copenha-gen_dec_2009/meeting/6295.php (приступљено 2. новембра).

Како би се подаци добијени и интерпретирани помоћу ГИС алата потврдили као прецизни, потребно је извршити и теренска истраживања најпогоднијих локација. Потенцијална изградња соларних електрана омогућила би енергетску независност у општини и у великој мери би допринела смањењу потрошње угља и дрвне масе који се експлоатишу за добијање електричне, односно топлотне енергије. Редукцијом гасова са ефектом стаклене баште, стање животне средине (вода, ваздух, земљиште, биодиверзитет) било би знатно боље него што је данас.

ИЗВОРИ И ЛИТЕРАТУРА

Литература

- Дољак Д., *Вредновање простора за употребу и планирања фотонапонских електрана у Србији*. Докторска дисертација. Београд, Географски факултет, Универзитет у Београду, 2020).
- Durlević U., V. Grbović & U. Milinčić, „Identifikacija pogodnih lokacija za primenu solarne energije na teritoriji opštine Pirot“, *Zbornik radova – Posledica klimatskih promena na poljoprivredu i životnu sredinu, 1. Međunarodno savetovanje*, (2019), 98–105.
- Durlević U., B. Mihailović & V. Ćurić, “Application of GIS assessing natural conditions for the development of raspberry growing at the territory of the municipality of Štrpce”, *Researches review of the department of geography, tourism and hotel management*, 47–1, (2018), 1 – 10.
- Институт за мултидисциплинарна истраживања (2004). *Студија енергетској потенцијала Србије за коришћење енергије сунчевог зрачења и ветра* (НПЕЕ, Евиденциони број ЕЕ704-1052А). http://vetar-sunce.imsi.rs/tekstovi/Studija_EE704-1052A/index.php (приступљено 3. новембра 2020).
- International Energy Agency. (2019). *Solar PV: Tracking Clean Energy Progress*. <https://www.iea.org/tcep/power/renewables/solarpv/> (приступљено 3. новембра 2020).
- International Renewable Energy Agency. (2019). *Renewable capacity statistics 2019*. https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2019.pdf (приступљено 3. новембра 2020).
- Милановић М. и Д. Филиповић, *Информациони системи у планирању и заштити простора*, Београд 2017.
- Милинчић А. М. и Д. Сандић, „Општина Александровац – положај, основна обележја и однос према окружењу“, *Жупски зборник*, бр. 1, (2006), 9–26.
- Милинчић А. М., *Жупа Александровацка, одлике природне средине*, Београд 2012.

- Миловановић Б., М. Радовановић, Г. Станојевић, М. Пецељ и Ј. Николић, „Клима Србије“, у: *Географија Србије*, уредник М. Радовановић, Београд (2017), 9–159
- Ohunaki O. S., M. S. Adaramola, O. M. Oyewola & R. O. Fagbenle, „Solar energy applications and development in Nigeria: Drivers and barriers“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 32, (2014), 294–301.
- Stamenić Lj., *Koriscenje solarne fotonaponske energije u Srbiji*, Washington 2009.
- United Nations, Copenhagen Climate change (2009). http://unfccc.int/meetings/copenha-gen_dec_2009/meeting/6295.php (приступљено 2. новембра).