

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ

Дејан Љ. Дољак

**ВРЕДНОВАЊЕ ГЕОПРОСТОРА ЗА ПОТРЕБЕ
ПЛАНИРАЊА ФОТОНАПОНСКИХ ЕЛЕКТРАНА У
СРБИЈИ**

докторска дисертација

Београд, 2020. године

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF GEOGRAPHY

Dejan Lj. Doljak

**THE GEOSPATIAL EVALUATION FOR PLANNING
PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS IN SERBIA**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2020

Ментор:

др Дејан Филиповић, редовни професор
Универзитет у Београду
Географски факултет

Чланови комисије:

др Јелена Луковић, ванредни професор
Универзитет у Београду
Географски факултет

др Драгутин Д. Протић, доцент
Универзитет у Београду
Грађевински факултет

Датум одбране докторске дисертације: _____

ЗАХВАЛНОСТ

Након завршеног писања доктората осећам потребу да изразим несебичну захвалност особама које су учествовале и допринеле у изради истог.

Ментору, др Дејану Филиповићу, као и члановима комисије др Јелени Луковић и др Драгутину Протићу, захваљујем на конструктивним саветима и правовременим смерницама.

Највећу захвалност дугујем Горици Станојевић која је била мој институтски ментор и која ми је пружила несебичну помоћ сваки пут када ми је била потребна.

На лекторисању текста захваљујем Бојани Милић, особи која ме је бодрила свих претходних година и била уз мене у сваком тренутку. Хвала што си била мој подстрек да најпре завршим мастер, а сада и докторске студије. Хвала што никада ниси престала да верујеш у мене.

Неизмерну захвалност дугујем Александри Нини из Института за физику у Београду, која ми је омогућила да формуле које сам користио у изради доктората, буду јасне сваком наредном читаоцу.

Јелени Милић захваљујем на помоћи око састављања анкете, а Злати Вуксановић Мацури на залагању да што више стручњака учествује у анкетном истраживању.

Не постоје речи којима бих објаснио преданост и помоћ коју сам имао од Новковић Ивана, особе која ми је помогла и подстакла да савладам основе ГИС и наставим да га свакодневно користим у научне сврхе.

Институту за земљиште у Београду захваљујем на подацима које сам употребио приликом израде доктората, нарочито Весни Мрвић која је била мој главни контакт у Институту.

Користим прилику да се захвалим колегама са Географског института „Јован Цвијић”, а понајвише директору др Милану Радовановићу, Драгани Миљановић, Тамари Јојић-Главоњић и Нини Ђурчић. Хвала што сте Вашим саветима учинили мој докторат још бољим. Хвала што сте ме храбрили у данима када је то било најпотребније.

Невладиној организацији 1 степен Србија, нарочито њеним члановима Ђорђу Самарцији и Данијели Павићевић, желим да захвалим што су у мени препознали пре свега свог колегу, и омогућили ми да стекнем нова сазнања која су ми била неопходна за израду докторске дисертације.

Породици, можда, дугујем и највећу захвалност. Хвала на свакој охрабрујућој речи и несебичном веровању у мене. И зато свој докторат, искључиво, посвећујем вама. Хвала!

ВРЕДНОВАЊЕ ГЕОПРОСТОРА ЗА ПОТРЕБЕ ПЛАНИРАЊА ФОТОНАПОНСКИХ ЕЛЕКТРАНА У СРБИЈИ

Сажетак

Основни циљ докторске дисертације је да се утврди методологија за процену повољности простора за изградњу фотонапонских електрана на земљи, на примеру две јединице локалне самоуправе у Србији: Граду Врању и општини Кладово. Предложен модел заснива се на примени географског информационог система и методе вишекритеријумске анализе. За вредновање простора коришћене су три групе критеријума (климатске карактеристике, животна средина и локација) и њима припадајућих 10 фактора (ирадијација, температура ваздуха, нагиб и, експозиција терена, педолошки састав, удаљеност од површинских вода, близина путева, електроенергетске инфраструктуре и места потрошње). Уз помоћ критеријума за елиминацију из поступка вредновања изузети су терени са нагибом преко 32°, заштићена природна и културна добра, изграђене површине, површинске воде, путеви, железница, и електроенергетска инфраструктура са заштитним појасом, као и остале нетравнате површине. За потребе истраживања направљен је модел просторне расподеле ирадијације. На основу индекса просторне повољности одабране су експерименталне парцеле за које је извршена процена техничког потенцијала за фотонапонску конверзију. Резултати спроведеног вредновања представљени су у виду карата на којима су приказане класе повољности простора за изградњу фотонапонских електрана. Други део дисертације представља анкетно истраживање, које има за циљ да утврди информисаност стручњака и шире јавности у вези коришћења обновљивих извора енергије, са посебним нагласком на фотонапонске системе. Анализом досадашњих активности у Србији на пољу коришћења ових система, као и на основу примера добре праксе у Кини, Немачкој и Словенији, закључено је да би доношење различитих развојних програма и финансијских механизма, који су усмерени на конкретне локације, омогућило боље перформансе фотонапонских електрана уз минималне трошкове и утицај на животну средину.

Кључне речи: соларна енергија, фотонапонске електране, географски информациони систем, вишекритеријумска анализа, аналитички процес хијерархије, душтвена прихватљивост, утицај на животну средину, Град Врање, општина Кладово, Србија.

Научна област: Геонауке – Географија

Ужа научна област: Просторно планирање

THE GEOSPATIAL EVALUATION FOR THE NEEDS OF PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS PLANNING IN SERBIA

Summary

The main goal of the doctoral dissertation is to determine a methodology for the assessment of spatial suitability for the development of ground-mounted photovoltaic power plants, by the example of two local self-government units in Serbia: the City of Vranje and the municipality of Kladovo. The proposed model is based on the application of the geographical information system and the multi-criteria analysis method. Three groups of criteria (climatic characteristics, environment, and location) and 10 related factors (irradiation, air temperature, terrain slope and aspect, pedological composition, distance from surface waters, and proximity to roads, electricity infrastructure and places of consumption) were used to evaluate the spatial suitability. With the help of the criteria for elimination, the terrain with a slope exceeding 32°, protected natural and cultural assets, built-up areas, surface water, road, railway and electricity infrastructure with a protective belt, as well as other non-grassed areas were excluded from the evaluation procedure. For the purposes of the conducted research, a model of the spatial distribution of irradiation was developed. On the basis of the spatial suitability index, experimental plots were selected to estimate technical potential for photovoltaic conversion. The results of the evaluation are presented in the form of maps that shows the spatial suitability classes for the construction of photovoltaic power plants. The second part of the doctoral dissertation is survey research aimed at establishing the awareness of experts and the public regarding the use of renewable energy sources, with particular emphasis on photovoltaic systems. Based on the analysis of recent activities in Serbia in the field of using these systems, as well as on good practices in China, Germany and Slovenia concluded that adopting different development programs and site-specific financial mechanisms would enable better performance photovoltaic power plants with minimal cost and environmental impact.

Keywords: solar energy, photovoltaic power plants, geographic information system, multi-criteria analysis, analytical process of hierarchy, social acceptability, environmental impact, City of Vranje, Kladovo municipality, Serbia.

Scientific field: Geosciences – Geography

Scientific subfield: Spatial planning

САДРЖАЈ

1. УВОД	1
1.1. Преглед досадашњих истраживања	3
1.2. Предмет, циљ и задаци истраживања	4
1.3. Полазне хипотезе	5
1.4. Очекивани резултати и научни допринос	6
2. ТЕОРИЈСКИ ОКВИР ИСТРАЖИВАЊА	7
2.1. Фотонапонска конверзија сунчевог зрачења	7
2.1.1. Сунце и сунчево зрачење	7
2.1.2. Фотонапонски ефекат	9
2.1.3. Фотонапонски системи	10
2.1.3.1. Соларне ћелије	11
2.1.3.2. Фотонапонски панели	14
2.1.3.3. Батерије	16
2.1.3.4. Регулатор пуњења	18
2.1.3.5. Измењивач	18
2.2. Примери добре праксе иностраних земаља	19
2.2.1. Кина	20
2.2.2. Немачка	25
2.2.3. Словенија	31
2.3. Стање и перспективе развоја фотонапонских система у Србији	34
2.3.1. Потенцијал Сунчевог зрачења у Србији	34
2.3.2. Анализа стања постојећих фотонапонских система у Србији	36
2.3.3. Правна регулатива у области фотонапонске конверзије сунчевог зрачења	46
2.3.3.1. Поступак изградње фотонапонске електране	47
2.3.3.2. Подстицање производње електричне енергије из соларних електрана	51
3. ПОДАЦИ И МЕТОДОЛОГИЈА	53
3.1. Преглед метода вишекритеријумске анализе	53
3.2. Аналитички хијерархијски процес	53
3.2.1. Математичке основе АНР-а	54
3.2.2. Провера коегзистентности	55
3.3. Опис критеријума и фактора	55
3.3.1. Критеријуми за елиминацију	55
3.3.2. Критеријуми за вредновање	57
3.3.2.1. Климатске карактеристике	58
Ирадијација	59
Температура ваздуха	61
3.3.2.2. Критеријум животна средина	62
Нагиб и експозиција терена	62
Педолошки састав	63
3.3.2.3. Критеријум локација	64
Удаљеност од површинских вода	65
Близина путева	65
Близина електроенергетске инфраструктуре	66
Близина места потрошње	67
3.4. Примена расплнутих скупова на факторске варијабле	67
3.5. Индекс просторне повољности	69
3.6. Процена производње електричне енергије	70
3.6.1. Улазни подаци	71

3.6.2. Ефикасност фотонапонског модула (f_1)	73
3.6.3. Однос перформанси фотонапонског система (f_2)	73
3.6.3.1. Одређивање губитка услед промене температуре модула	74
3.6.3.2. Одређивање губитка услед промене упадног угла	76
3.6.4. Одређивање степена заузетости земљишта фотонапонским панелима (f_3)	77
3.7. Анкетно истраживање.....	79
3.7.1. Обрада и анализа података.....	79
3.7.2. Коришћени статистички тестови	79
3.7.2.1. Хи-квадрат тест независности.....	80
3.7.2.2. Ман-Витнијев U тест	81
3.7.2.3. Крускал-Волисов тест.....	82
3.7.2.4. Вилкоксон тест.....	83
3.7.2.5. Фридманов тест.....	83
3.7.2.6. Спирманов коефицијент ранга корелације	84
4. РЕЗУЛТАТИ	85
4.1. Резултати вредновања простора и процена производње електричне енергије	85
4.1.1. Потенцијал глобалног Сунчевог зрачења (ирадијација)	85
4.1.2. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана.....	90
4.1.3. Производња електричне енергије на експерименталним парцелама.....	105
4.1.4. Валидација модела за процену производње електричне енергије	108
4.2. Резултати анкетног истраживања	109
5. ДИСКУСИЈА	123
5.1. Просторна повољност за изградњу фотонапонских електрана	123
5.2. Ниво информисаности и свест о обновљивим изворима енергије	128
5.3. Потенцијал обновљивих извора енергије у Србији.....	129
5.4. Утицај фотонапонских електрана на животну средину	132
5.4.1. Промене микро и мезоклиме.....	132
5.4.2. Промене земљишта и утицај на коришћење земљишта	132
5.4.3. Утицај на површинске и подземне воде.....	134
5.4.4. Утицај на флору и фауну.....	134
5.4.5. Утицај на сигурност и здравље људи	135
5.4.6. Визуелни утицај.....	136
6. ЗАКЉУЧАК	139
ЛИТЕРАТУРА	141
ПРИЛОГ А	162
ПРИЛОГ Б.....	175
ПРИЛОГ В	183
СПИСАК ТАБЕЛА	190
СПИСАК СЛИКА.....	191
БИОГРАФИЈА АУТОРА.....	195

1. УВОД

Потрошња енергије у свету се, незаустављиво, повећава, док резерве фосилних горива понестају. У периоду од 1973. до 2018. године потрошња енергије је удвостручена, и износи 9.555 милиона тона еквивалентне нафте (Mtoe) (International Energy Agency [IEA], 2018). Према подацима из 2017. године учешће фосилних горива у потрошњи енергије на глобалном нивоу износи 79,7% (REN21, 2019). Процењује се да би резерве угља могле да потрају до 2112. године, а да ће након 2042. године угљем остати једино фосилно гориво (Shafiee & Topal, 2009).

Осим бројних проблема локалног карактера, коришћење фосилних горива има и глобалну димензију, која се огледа у емисији „гасова са ефектом стаклене баште” (ГСБ), од којих су најзначајнији угљен-диоксид, метан, азот-оксид и халогеновани угљоводоници. Просечна глобална температура ваздуха за декаду 2006–2015. године већа је за 0,87 °C у односу на период 1850–1900. године (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2018). Пројекције, на основу сценарија емисије и концентрације ГСБ, тзв. репрезентативне путање концентрација (енг. Representative Concentration Pathways), показују пораст глобалне температуре до краја 21. века у интервалу од 1,5 °C до 4,8 °C (IPCC, 2013).

Климатске промене утичу на повећање учесталости екстремних временских догађаја (олује, поплаве, суше, топлотни таласи, итд.), који доводе до несташице хране и воде за пиће, појаве заразних болести, па и смртних исхода (Easterling et al., 2000; McMichael, Woodruff, & Hales, 2006). Временске непогоде, такође, могу оштетити или трајно онеспособити инфраструктурне системе, онемогућавајући одвијање основних функција у простору (IPCC, 2013). Ацидификација океана, повећање температуре и нивоа мора, као и повећање ултраљубичастиг зрачења (услед разарања озона) и учесталости екстремних ветрова, праћених олујним таласима, доводи да промене у просторној дистрибуцији, популационој динамици и биодиверзитету морских врста (Harley et al., 2006). Deutsch et al. (2008) закључују да се копнени екосистеми у тропским областима одликују највећом биолошком разноликошћу, али да су исти тако изложени највећем ризику од изумирања услед глобалног отопљавања. Бореални и арктички екосистеми су посебно осетљиви на климатске промене, с обзиром да постоји ризик од ослобађања велике количине угљеника у атмосферу, који је у овим хладним областима ускладиштен у смрзнутом земљишту, слојевима стеље и тресета (Kovena et al., 2011). Gore (2009) наводи да се отапањем ледених маса на копну око Антарктичког океана, као и угљеника у областима тундра, којег варе микроби, ослобађа огромна количина метана—другог најзначајнијег узрочника климатских промена са процењеним радијационим дејством од 0,94 W/m² (IPCC, 2013). Негативне промене у шумском фонду утицаће на складиштење угљеника и услуге екосистема (чист ваздух и вода, заштита од ерозије, сировине за дрвну индустрију, рекреација и сл.). Промене миграторних образаца, ратни сукоби и ширење сиромаштва само су неки од бројних ризика услед промена у климатском систему (IPCC, 2014).

Енергетски сектор одговоран је за скоро половину емисије угљен-диоксида (Ritchie & Roser, 2018). Паралелно са порастом броја становника у свету расте и тражња за јефтенијом енергијом. Економски напредак уско је повезан са енергетском потражњом и емисијом гасова са ефектом стаклене баште. Процењује се да ће до краја 21. века светска потражња за енергијом бити два до три пута већа од данашње (Kriegler et al., 2013).

Париски споразум има за циљ да ограничи раст средње глобалне температуре испод 2 °C, у односу на ниво из преиндустријског периода (United Nations, 2015). Споразум захтева од земаља потписница да сачине националне планове и предузму мере како би смањиле емисију гасова са ефектом стаклене баште. Коришћење обновљивих извора енергије је значајан корак ка остварењу тог циља.

Обновљиви извори енергије представљају енергетске ресурсе који се користе за производњу топлотне и електричне енергије, а чији се извори константно или циклично обнављају. Према Директиви 2018/2001/ЕУ (Directive (EU) 2018/2001, 2018) у обновљиве изворе енергије спадају енергија ветра, соларна, аеротермална, геотермална, хидротермална, енергија океана, хидроенергија, биомаса, депонијски гас, гас из постројења за обраду отпада и биогаз.

Од почетка 21. века, соларна енергија представља најбржи растући извор електричне енергије, од свих обновљивих извора енергије. До краја 2018. године укупан инсталисан капацитет фотонапонских система у свету износио је 480.357 MW (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2019a). Производња, која је током 2018. године остварена из фотонапонских електрана (570 TWh), представља око 2% укупне произведене електричне енергије. Према пројекцијама до краја 2030. године производња електричне енергије из фотонапонских система могла би да достигне 3.268 TWh (IEA, 2019a). Фотонапонски системи од 1 MW или више (енг. utility-scale), чине нешто више од 60% укупно инсталисаног капацитета, док остатак припада категоријама стамбених система, комерцијалних система и система који нису прикључени на електромережу (IEA, 2019b). Нема сумње да ће, и у наредном периоду, фотонапонске електране инсталиране на земљи (капацитета ≥ 1 MW) остати доминантан тип фотонапонских електрана (SolarPower Europe, 2019).

У Србији је Националним акционим планом за коришћење обновљивих извора енергије (у даљем тексту: НАПОИЕ) предвиђено да, до 2020. године, укупна инсталисана снага фотонапонских система износи 10 MW (Министарство енергетике, развоја и заштите животне средине, 2013). Према подацима из јуна 2019. године, инсталирано је укупно 8,81 MW, од чега 60% чине фотонапонски системи на земљи (Министарство рударства и енергетике, 2019).

Уобичајено је да се у просторним плановима потенцијал за коришћење соларне енергије даје само на основу вредности глобалног зрачења на одређеној територији, не узимајући у обзир географска и техничка ограничења. Просторним планом Републике Србије (Министарство животне средине, рударства и просторног планирања & Републичка агенција за просторно планирање [РАПП], 2011) технички потенцијал за коришћења соларне енергије одређен је узимајући у обзир само расположиву површину кровова и ефикасност конверзије фотонапонских система од 15%, занемарујући, на тај начин, потенцијал за изградњу фотонапонских електрана на земљи. У просторном плану нису одређене повољне локације или зоне за изградњу фотонапонских паркова, као што је то урађено за ветроелектране, што би у будућности могло да доведе до конфликта са другим наменама (нпр. заштита простора или пољопривредна производња). Са циљем да се оствари „значајније повећање учешћа обновљивих извора енергије у енергетском билансу, уз поштовање принципа одрживог развоја” (Министарство животне средине, рударства и просторног планирања & РАПП, 2011, стр. 87), у просторном плану су дефинисани оперативни циљеви везани за обновљиве изворе енергије, који су одредили предмет истраживања докторске дисертације: (1) коришћење географског информационог система (ГИС) у сврху одређивања соларног потенцијала и локација за фотонапонске електране; (2) утврђивање критеријума који ће се користити за избор потенцијалних локација за фотонапонске електране; (3) детаљније истраживање и прецизније утврђивање потенцијала за коришћење соларне енергије; (4) стварање погодног амбијента за инвестирање у фотонапонске електране; и (5) побољшање квалитета животне средине коришћењем сунчевог зрачења за производњу електричне енергије.

Иако је Сунце обновљиви извор енергије, системи за експлоатацију сунчевог зрачења, као што су фотонапонске електране на земљи, могу проузроковати негативне утицаје на животну средину. У научно-стручној литератури (Chiabrando, Fabrizio, & Garnero 2009 Hernandez et al., 2014; Koenig, Billitti, & Tallon, 1979; Tsoutsos, Frantzeskaki, & Gekas, 2005) забележени су утицаји на микро- и мезоклиму, земљиште и начин његовог коришћења, површинске и подземне воде, биодиверзитет, сигурност и здравље људи, као и визуелно-естетски доживљај предела у којем се ови системи налазе. Ови утицаји разликују се према значају, величини и трајању (током изградње, рада и одржавања система и затварања). Добрим планирањем могуће је остварити високу производњу „зелене енергије” уз минималне пројектне трошкове и утицаје на животну средину.

Вредновање простора на основу утврђених критеријума и фактора је предуслов за добро планирање просторног размештаја фотонапонских електрана. Коришћење ГИС-а омогућава манипулацију велике количине просторних података неопходних за доношење одлука о потенцијалним локацијама за изградњу фотонапонских електрана.

1.1. Преглед досадашњих истраживања

Истраживања коришћења соларне енергије у Србији започета су након светске енергетске кризе, 1973. године (Pavlović, Miroslavić & Mirjanić, 2013). Од тада, па до данас, истражују се различити аспекти соларне енергије. Lalović (1982) и Zrnić & Čuluma (1988) представљају неизоставан део литературе у многим домаћим истраживањима из области соларне енергетике. Најчешће се истражује техника и технологија коришћења сунчеве енергије, било да се ради о њеном топлотном или електричном облику (Ламбић, 2015; Pavlović & Čarbić 2007; Zoltan, 2017). Принципи урбанистичког планирања и пројектовања зграда за потребе коришћења сунчеве енергије предмет су неколико студија (Kosović, 2008; Lukić, 1994; Pucar 2006; Pucar, Rajević, & Jovanović Porović, 1994). Истражујући обновљиве изворе енергије Ђукановић (2014) даје преглед досадашњег развоја и будућих кретања у погледу примене соларне енергије у Србији и свету, са посебним нагласком на еколошки и економски аспект коришћења обновљивих извора енергије. За потребе компарације фотонапонског тржишта Србије и Хрватске, Šljivac, Nakomčić-Smaragdakis, Vukobratović, Topić, & Šerić (2014) су урадили анализу исплативости улагања у фотонапонске системе на неколико локација у Панонској низији. У оквиру техничко-економске анализе коју су спровели Savić, Katić, Milićević, Dumnić, & Katić (2017) коришћени су економски индикатори који би требало да покажу оправданост инвестиција у кровне фотонапонске системе, различите снаге (30 kW, 160 kW, 300 kW и 500 kW), узмајући у обзир мере за подстицање производње електричне енергије из обновљивих извора, које су усвојене 2016. године. Социјални аспект коришћења соларне енергије је најмање истраживана тема у Србији. Stevanović & Pucar (2012) су, у оквиру финансијске анализе оправданости увођења субвенција за соларне системе за загревање воде, спровели анкетно истраживање међу домаћинствима у Београду, Новом Саду, Нишу, Неготину, Златибору и Сјеници, како би дошли до сазнања о спремности домаћинстава за њихово коришћење.

Познавање глобалног сунчевог зрачења представља важан предуслов за успешно коришћење соларне енергије. Почев од 1984. године, када је настао Европски атлас сунчевог зрачења (Palz, Greif, & Commission of the European Communities [CEC], 1984/1996), интензивно се ради на усавршавању модела за процену просторне расподеле сунчевог зрачења. Европски атлас сунчевог зрачења из 2000. године (Scharmer & Greif, 2000) значајно је унапређен увођењем ГИС-а за мапирање података о сунчевом зрачењу, који су прикупљени осматрањем на приземним станицама и путем сателитских снимака. У периоду 2001–2005. године уследила су нова побољшања, формирањем интегрисаног система за процену соларног зрачења и перформанси фотонапонских система, тзв. *Photovoltaic Geographic Information System* (PVGIS). База података о соларном зрачењу настала је коришћењем *r.sun* модела (Šúri & Hofierka, 2004), који је имплементиран у један од најстаријих ГИС софтвера—*Geographic Resources Analysis Support System* (GRASS). Модел користи податке о сунчевом зрачењу са 566 метеоролошких станица у Европи, фактор замућености атмосфере (енг. Linke turbidity factor), и податке изведене на основу дигиталног модела висина (енг. Digital Elevation Model, DEM). Ова база садржи податке о глобалном зрачењу на хоризонталну површину, односа дифузног и глобалног зрачења, као и податке прозирности атмосфере на месечном нивоу за период 1981–1991. године (Šúri, Huld, Dunlop, & Ossenbrink, 2007). Данас PVGIS (верзија 5) нуди нове могућности и значајна побољшања, не само у погледу просторне и временске покривености, већ и тачности модела за процену енергетског потенцијала. Већина података о сунчевом зрачењу које користи PVGIS добијени су на основу сателитских снимака и реанализа, а обухватају читаву Европу, Африку, делове Азије, Јужне и Северне Америке. Уместо просечних вредности сунчевог зрачења на месечном нивоу, нова верзија PVGIS-а за прорачун користи, комплетну, десетогодишњу серију сатних вредности, просторне резолуције свега неколико километара. Процена производње енергије из фотонапонских система, поред стандардних климатских податка (соларно зрачење, температура ваздуха, релативна влажност и сл.), узима у обзир и ефекат брзине ветра и варијација у соларном спектру (Huld, Pinedo Pascua, Gracia Amillo, Urraca Valle, & Dunlop, 2017).

Најзначајнији пројекат у Србији који је рађен за потребе коришћења обновљивих извора енергије представља „Студија енергетског потенцијала Србије за коришћење сунчевог зрачења и енергије ветра” (Институт за мултидисциплинарна истраживања [IMSI], 2004). У оквиру Студије урађено је неколико карата, на којима је приказана просторна расподела сунчевог зрачења на хоризонталну површину, као и на површине под различитим угловима нагиба, на годишњем нивоу и за референтне месеце у току године (јануар и јул). Допринос ове студије огледа се кроз предлог модела и методологије за процену ресурса сунчевог зрачења и енергије ветра, као и предлог програма континуираних, маршрутних и епизодних мерења. Gradski zavod za zaštitu zdravlja Beograd (2002) је на основу мерења зрачења на београдској опсерваторији Зелено брдо и Соларног атласа Европе, у оквиру Еколошког атласа Београда, направио карту на којој су приказане вредности средње дневне енергије глобалног сунчевог зрачења по квадратном метру хоризонталне површине. Такође, Luković, Bajat, Kilibarda, & Filipović (2015) креирали су растерске мапе, високе просторне резолуције (90 m × 90 m), на којима су приказане вредности директног, дифузног и глобалног зрачења Србије.

За коришћење соларне енергије није довољно познавати само просторну расподелу сунчевог зрачења на одређеној територији (теоријски потенцијал), већ и географска, техничка и економска ограничења (нпр. расположива или адекватна површина за инсталацију система за експлоатацију, њихова ефикасност, повраћај инвестиције, и сл.). Приликом процене потенцијала за коришћење соларне енергије користе се, углавном, PVGIS, PVWatts, RETScreen, Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (HOMER), Energy Advantage (бивши Energy Capacity Assesmet Tool) и други програми (Djurdjevic, 2011; Doljak & Samardzija, 2016; Doljak, Popović, & Kuzmanović, 2017; Pavlović et al., 2013; Pavlović, Milosavljević, & Pirsl, 2013). Protić, Kilibarda, Nenković-Riznić, & Nestorov (2018) су дали преглед модела који је развијен за потребе сервиса „паметан град”, у оквиру i-Score пројекта, а који је способан да визуализује карте о соларном зрачењу и омогући корисницима све неопходне информације везане за жељени фотонапонски систем (нпр. снага система, тип панела, површина система, годишња производња електричне енергије, трошкови инсталације система, повратак инвестиције, смањење емисије CO₂, итд.).

Свеобухватна анализа простора за потребе изградње соларних електрана има за циљ постизање високих перформанси система, уз минимална улагања и утицај на животну средину. Критеријуми и фактори које је потребно размотрити при избору оптималних локација за изградњу соларних електрана били су предмет истраживања неколико студија (Al Garni & Awasthi, 2018; Koenig et al., 1979; Rediske, Siluk, Gastaldo, Rigo, & Rosa, 2018). У свету постоје бројна истраживања која користе ГИС и методе вишекритеријумске анализе, у циљу проналажења оптималних локација за изградњу соларних електрана (Carrión, Estrella, Dols, Toro, et al., 2008; Georgiou & Skarlatos, 2016; Noorollahi, Fadaei, Akbarpour Shirazi, & Ghodsipour, 2016; Suh & Brownson, 2016; Suuronen et al., 2017; Tahri, Hakdaoui, & Maanan, 2015), док су оваква истраживања у Србији слабо заступљена (Doljak & Stanojević, 2017; Potić, Golić, & Joksimović, 2016).

1.2. Предмет, циљ и задаци истраживања

Досадашња проучавања и наведене чињенице усмерила су предмет истраживања докторске дисертације ка утврђивању методологије и модела за процену повољности простора за изградњу фотонапонских електрана на земљи, са циљем да се оствари што рационалније коришћење соларне енергије на територији Србије. У том смислу, дефинисани су следећи истраживачки задаци: (1) испитати који су све просторни подаци релевантни за избор оптималне локације; (2) какви су захтеви модела у погледу њиховог квалитета и да ли су ти подаци јавно доступни; (3) утврдити критеријуме и факторе који ће се користити у моделу; и (4) на основу студије случаја имплементирати модел у ГИС-у.

Конципиран модел за процену повољности простора за изградњу фотонапонских електрана тестиран је на примеру две јединице локалне самоуправе у Србији: Граду Врању и

општини Кладово. Разлози за одабир ових административних јединица садржани су у чињеници да се оне налазе у различитим деловима Србије, у којима су заступљени другачији физичко-географски и друштвено-економски услови. У просторним плановима за наведене јединице локалне самоуправе препознат је потенцијал за коришћење соларне енергије. У општини Кладово, перспективна зона за коришћење соларне енергије налази се у тзв. „Дунавском развојном појасу”, док су за Град Врање потенцијалне локације за соларне електране одређене на нивоу парцела. Један од највећих соларних паркова у Србији налази се у општини Кладово, чији би резултати производње електричне енергије требало да послуже за верификацију модела за процену технички искористивог потенцијала соларне енергије.

У циљу разумевања предности и ограничења у планирању просторног развоја фотонапонских електрана на земљи, непоходно је испунити неколико постављених задатка: (1) дати приказ технике и технологије за фотонапонску конверзију сунчевог зрачења; (2) спровести анализу планирања развоја фотонапонских електрана засновану на примерима добре праксе у Србији и иностранству (Кини, Немачкој и Словенији); и (3) прегледом научно-стручне литературе идентификовати могуће утицаје фотонапонских електрана на животну средину.

Атрактивност простора за изградњу фотонапонских електрана у великој мери зависи и од спремности друштва да прихвати развој ових система у свом окружењу. Да би се утврдили ставови и перцепције друштва о обновљивим изворима енергије, са нагласком на фотонапонске системе и њихов утицај на животну средину, спроведено је анкетно истраживање.

1.3. Полазне хипотезе

Основна хипотеза је да се анализом геопросторних информација може утврдити повољност простора за изградњу фотонапонских електрана у Србији. У досадашњој планерској пракси потенцијал за коришћење соларне енергије, је углавном дефинисан на нивоу теоријског потенцијала (расположивог глобалног зрачења на хоризонталну површину), без икаквог или штурога навођења географског и технички искористивог потенцијала. Проналажење оптималних локација за изградњу фотонапонских електрана представља комплексан проблем, који није, искључиво, везан за количину сунчевог зрачења на одређеној локацији, већ зависи од структуре неколико критеријума и фактора који доприносе ефикаснијем, економичнијем и еколошки прихватљивијем систему за експлоатацију соларне енергије. Увођење ГИС-а у поступак вишекритеријумског одлучивања, олакшава решавање комплексних проблема, као што је одабир адекватне локације за изградњу фотонапонске електране. Свеобухватно вредновање простора ограничено је доступношћу падатака и захтева интердисциплинаран приступ. Претпоставка је да се, на основу коришћених критеријума и фактора, може унапредити планирање простора за изградњу фотонапонских електрана у Србији.

Осим познавања просторног потенцијала важан аспект за шире коришћење соларне и других видова обновљиве енергије у Србији представља свест друштва о значају њиховог коришћења. Друга хипотеза у докторату је да су стручњаци и јавност у Србији недовољно информисани о коришћењу обновљивих извора енергије, нарочито у погледу фотонапонске конверзије сунчевог зрачења. У циљу доказивања ове хипотезе дефинисано је неколико посебних и појединачних хипотеза:

- Главни мотив за коришћење обновљивих извора енергије је очување животне средине;
- Србија има добар потенцијал за производњу енергије из обновљивих извора, нарочито, у погледу, енергије из биомасе;
- Стручна и шира јавност у Србији се највише информише о обновљивим изворима енергије путем интернета;
- Од свих система за експлоатацију обновљивих извора енергије, соларни системи се најчешће могу видети у Србији;
- Јавност у Србији није упућена да држава издваја одређена новчана средства како би стимулисала производњу енергије из обновљивих извора;

- Подстицање производње енергије из обновљивих извора уско је повезано са месечним примањима;
- Расположена соларна технологија би могла да обезбеди целокупне потребе за електричном енергијом;
- Недоволjna информисаност стручњака и јавности о начину рада и тенденцијама развоја фотонапонских система;
- Свест људи о позитивним утицајима фотонапонских електрана на животну средину је много израженија у поређењу са негативним утицајима; и
- Фотонапонске електране умањују визуелни квалитет предела у очима посматрача.

1.4. Очекивани резултати и научни допринос

Преглед досадашњих истраживања и планирања развоја фотонапонских електрана у Србији и свету, на дескриптиван али свеобухватан начин, указује на стање и перспективе за коришћење соларне енергије. Анализа и класификација фактора који утичу на перформансе и трошкове фотонапонских електрана, уз сагледавање негативних утицаја ових система на животну средину, требало би да допринесу бољем разумевању сложених геопросторних односа. Утврђивање метода и техника, на основу којих би се проценила повољност простора за изградњу фотонапонских електрана и потенцијална производња електричне енергије, захтева да се размотре релевантне базе просторних податка, као и захтеви у погледу њиховог квалитета. Научни допринос дисертације представља конципиран емпиријски модел за процену повољности простора за изградњу фотонапонских електрана који је имплементиран на примеру две јединице локалне самоуправе у Србији: Граду Врању и општини Кладово. Изабрани критеријуми и фактори у овом моделу омогућавају утврђивање најповољнијих локација за фотонапонску конверзију сунчевог зрачења.

Осим научне вредности, докторска дисертација ће имати и апликативан карактер, будући да је предмет истраживања настао из практичних потреба друштва да користи обновљиве изворе енергије на ефикасан, економичан и еколошки прихватљив начин. Проналажење оптималне локације представља први корак у реализацији пројекта фотонапонске електране. Модел који је приказан у докторској дисертацији требало би да послужи органима управе на свим нивоима за потребе одређивања повољности простора за изградњу фотонапонских електрана. Свеобухватно и рационално активирање соларног потенцијала, допринеће не само борби против климатских промена, већ и отварању нових радних места, унапређењу инфраструктуре, смањењу енергетске зависности, повећању сигурности у снабдевању електричном енергијом, побољшању квалитета животне средине, итд. Издвајање потенцијалних локација за изградњу фотонапонских електрана требало би да допринесе знатно бржем и једноставнијем поступку добијања неопходних дозвола и сагласности, будући да је на таквим локацијама већ урађена прелиминарна провера просторних могућности и ограничења за изградњу. Каталонска понуда потенцијалних локација, за које су везане подстицајне откупне цене, пореске олакшице, посебни програми одложеног плаћања, кредити и сл. могу створити сигурност и охрабрити инвеститоре да улажу у соларне пројекте. Успостављање ГИС-а о постојећим и планираним фотонапонским електранама, као и другим системима за експлоатацију обновљивих извора енергије, може допринети ефикаснијем управљању и контроли развоја ових система у будућности.

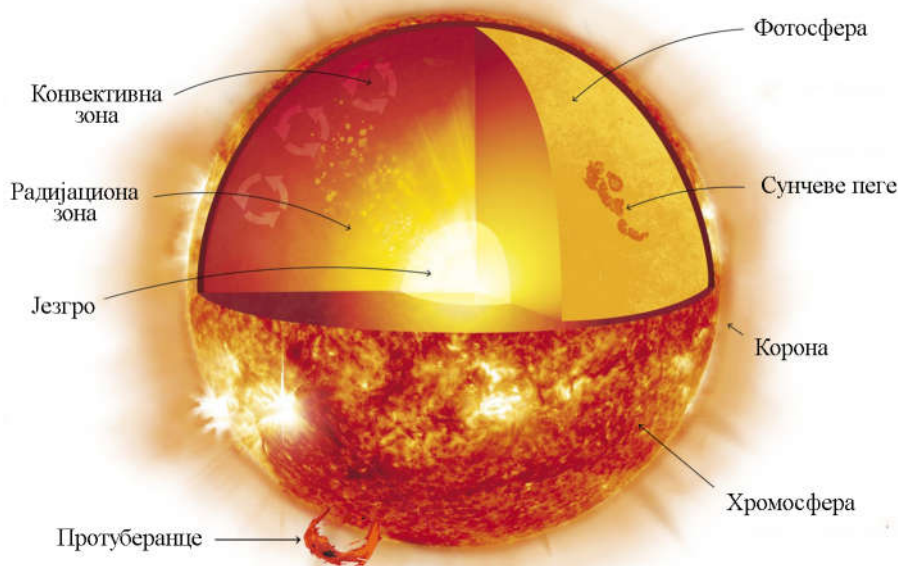
Анализа информисаности, ставови и перцепција друштва у погледу коришћења обновљивих извора енергије, са посебним нагласком на соларну енергију, требало би да укаже на њихову спремност да се укључе у програме за подстицање масовнијег коришћења обновљивих извора енергије. Куповина деоница фотонапонских електрана омогућава грађанима да допринесу ширењу обновљивих извора енергије и очувању животне средине у Србији. Свеобухватно, докторска теза допринноси разумевању просторне проблематике у вези коришћења соларне енергије и планирања фотонапонских електрана у Србији.

2. ТЕОРИЈСКИ ОКВИР ИСТРАЖИВАЊА

2.1. Фотонапонска конверзија сунчевог зрачења

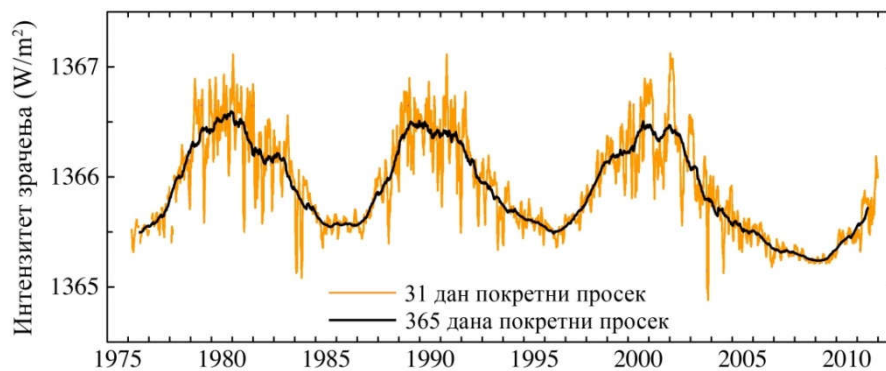
2.1.1. Сунце и сунчево зрачење

Сунчева енергија потиче од термонуклеарних реакција у његовом језгру. У том процесу, званом фузија, спајањем водоникових атома настаје хелијум уз ослобађање велике количине енергије. Енергија се из језгра шири кроз радијациону зону, да би преласком у зону конвекције наставила свој пут ка површини преко конвекционе струје загрејаног и охлађеног гаса. Загрејани гас се, услед промене запремине и густине, подиже све до површинског слоја Сунца—фотосфере, где зрачењем губи енергију. Охлађен гас постаје гушћи због чега тоне у дубље слојеве конвективне зоне. Изнад фотосфере налази се хромосфера, која се одликује бројним појавама, од којих су најзначајније протуберанце. Реч је о црвенкастим праменовима, гасовите материје, које хромосфера избацује у корону. Могу бити мирне и еруптивне. Еруптивне протуберанце трају знатно краће од мирних, а праћене су и појачаном емисијом ултраљубичастог, радиофреквентног зрачења и наелектрисаних честица разних енергија од којих неке достижу енергију космичког зрачења (Pavlović & Šabrić, 2006). Корона је слој који се простире изнад хромосфере (Слика 1). Корона има знатно вишу температуру од хромосфере и фотосфере, због чега Сунчеве честице имају довољно енергије да савладају гравитациону силу Сунца и оду у околни простор.



Слика 1. Структура Сунца. Модификовано према „The End of Days”, by D. Hansford, 2014, *New Zealand Geographic*, 129. Copyright 2014 by Kowhai Media Ltd. Доступно на <https://www.nzgeo.com/stories/the-end-of-days/>

Соларна енергија се у виду светлости и топлоте шири у међупланетарни простор па тако, један мали део, долази и до Земље. Интензитет Сунчевог зрачења на горњој граници атмосфере, при средњој удаљености Земље од Сунца, износи 1.367 W/m^2 и назива се соларна константа. Међутим, вредност соларне константе варира као последица промене активности Сунца, као и растојања између Земље и Сунца (Слика 2).



Слика 2. Промене интензитета екстратерестричког зрачења. Модификовано према „Assessing ‘Dangerous Climate Change’: Required Reduction of Carbon Emissions to Protect Young People, Future Generations and Nature”, by J. Hansen, P. Kharecha, M. Sato, V. Masson-Delmotte, F. Ackerman, D. J. Beerling, . . . & J. Rockstrom, 2013, PloS one, 8(12), p.12.

Приликом проласка кроз Земљину атмосферу, сунчево зрачење слаби услед расејавања, рефлексије и апсорпције од стране присутних гасова (водоника, кисеоника, азота, озона, водене паре, угљен-диоксида, итд.). Од укупне количине енергије на горњој граници атмосфере, 27% се рефлектује о облаке и враћа у међупланетарни простор, још 7% одлази у истом смеру услед дифузне рефлексије, облаци апсорбују 12%–18%, а атмосферски гасови око 6%. Остатак од 48% доспева на Земљину површину, с тим да се још 5% зрачне енергије рефлектује о подлогу, и тако облаци апсорбују још 2%, док се 3% враћа у међупланетарни простор (Дукић, 2006). Услед радијационог биланса, Земља одаје исту количину енергије коју је примила од Сунца. Од укупне количине енергије коју емитује Земљина површина, 8% се директно враћа у међупланетарни простор, док се преосталих 35% најпре апсорбује у атмосферу, где заједно са претходно апсорбованих 20% чини укупну количину енергије (55%) коју је апсорбовала атмосфера. На крају се, целокупна енергија, враћа у виду дуготаласног зрачења у међупланетарни простор.

Пролазећи кроз атмосферу, зраци кратких таласних дужина, попут рендгенских и гама зрака, апсорбују се на већим надморским висинама у области јоносфере. Највећи део ултраљубичастог зрачења је апсорбован у слоју озона, који се налази на висини 22–25 km од Земљине површине. У нижим слојевима атмосфере, водена пара и угљен-диоксид апсорбују део зрачења у инфрацрвеној области. Око 97% Сунчевог зрачења које доспева на Земљину површину налази се у опсегу таласних дужина 0,3–2,5 μm , док остатак чине зраци са таласним дужинама већим од 2,5 μm (Pavlović & Čabrić, 2006).

Укупно Сунчево зрачење које пада на земљину површину назива се глобално зрачење, а састоји се од две компоненте: директног и дифузног зрачења (Дукић, 2006). Директно зрачење чине они Сунчеви зраци који несметано пролазе кроз атмосферу и падају на Земљину површину, док дифузно зрачење настаје расејавањем Сунчевих зрака у разним правцима, при сударању са најразличитијим честицама у ваздуху. При ведром дану и када је Сунце у зениту, директно зрачење је доминантна компонента у структури глобалног зрачења, док се удео дифузног зрачења креће у границама од 8% до 22%. У зависности од годишњег доба и атмосферских услова повећава се проценат дифузног зрачења. За време облачних дана, целокупно зрачење је дифузног карактера (Ђукановић, 2009).

Део Сунчевог зрачења се рефлектује са земље и околних предмета. Однос количине рефлектованог према глобалном зрачењу које падне на одређену површину назива се алbedo. Вредност алbedo изражава се у процентима. Алbedo природних површина зависи како од положаја Сунца, тако и од особина подлоге, због чега се његове вредности мењају током дана и године. Највећи алbedo имају беле површине. Са друге стране црне површине имају најмањи алbedo. Површине под свежим снегом рефлектују до 95% глобалног зрачења, док асфалтиране површине рефлектују свега 10% глобалног зрачења. Површине под шумама имају алbedo од 30%, а травнате 26%. Најмању рефлексију укупног Сунчевог зрачења имају водене површине свега 5%, али је вода добар акумулатор топлоте, због чега представља неизоставни део у неким системима за експлоатацију соларне енергије.

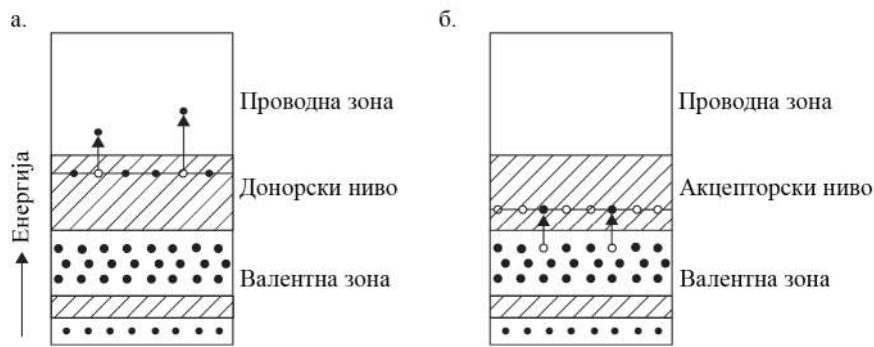
За приказивање и анализу податка о Сунчевом зрачењу у докторату су коришћени параметри глобалног зрачења: ирадијанса и ирадијација. Ирадијанса (интензитет зрачења) је тренутни флуks краткоталасне енергије зрачења, изражен у W/m^2 , док ирадијација (енергија зрачења или количина зрачења) представља интеграл ирадијансе у одређеном интервалу времена, због чега се најчешће изражава у Wh/m^2 или одговарајућим мањим или већим јединицама (IMSI, 2004).

2.1.2. Фотонапонски ефекат

Француски физичар Александар Едмон Бекерел (франц. Alexandre-Edmond Becquerel) је 1839. године открио фотонапонски ефекат, приметивши да се јачина струје између две металне електроде у раствору електролита повећава при излагању електрода Сунчевом зрачењу. Опсежнија истраживања наставио је немачки физичар Хајнрих Рудолф Херц (нем. Heinrich Rudolf Hertz), који је 1887. године запазио електрично варничење између две електроде, услед излагања ултраљубичастој светлости. Међутим, разумно објашњење фотонапонског ефекта пружио је Алберт Анштајн, због чега је 1921. године добио Нобелову награду. Анштајн је допунио квантну теорију, немачког физичара Макс Планка, према којој се сунчева светлост не посматра само као таласна појава, већ и као честица енергије (фотон).

Фотонапонски ефекат настаје приликом осветљавања соларне ћелије, чиме она постаје извор једносмерне струје. Када фотон падне на соларну ћелију, он се може рефлектовати, апсорбовати или проћи кроз њу. Уколико се апсорбује, валентни електрон атома може добити довољно енергије да пређе у проводну зону, где се може слободно кретати. Енергија потребна за прелазак у проводну зону одговара ширини забрањене зоне полупроводника. Електрон се може одвојити формирањем електричног поља на предњој и задњој страни соларне ћелије помоћу тзв. *pn* споја. У супротном, електрон се рекомбинује са атомом, све док електрично поље не покрене проток електрона, стварајући на тај начин струју. Фотони који имају енергију мању од ширине забрањене зоне, не могу побудити електрон из валентне зоне, па се вишак енергије претвара у кинетичку енергију електрона, што доводи до пораста температуре. Соларне ћелије имају малу ефикасност јер се, без обзира на интензитет енергије коју фотон поседује, само један електрон може ослободити валентне везе.

Соларна ћелија је изграђена од полупроводних елемената, најчешће силицијума, али се користе и поједина једињења (кадмијум сулфид, бакар сулфид и галиум арсенид). Ако се чистом полупроводнику додају примесе са више електрона у валентној зони, настаје полупроводник *n*-типа. То се постиже када се нпр. у кристалу силицијума атом силицијума замени атомом азота, фосфора, арсена или антимона, који имају пет валентних електрона, при чему четири електрона граде ковалентну везу са атомом силицијума, а преостали електрон остаје везан за примесне атоме. Енергетски ниво примесних атома налази се у непосредној близини проводне зоне. Уколико би електрони на овом енергетском нивоу примили енергију реда 0,01 eV прешли би у проводну зону. Због тога се полупроводник са оваквим примесама назива још и донорски, а енергетски ниво слабо везаних електрона донорски ниво (Слика 3). У полупроводнику *n*-типа број електрона надмашује број шупљина, па су електрони већински носиоци наелектрисања. Полупроводник *p*-типа настаје када се чистом полупроводнику додају примесе са мање електрона у валентној зони. У кристалу силицијума то би били бор, галијум, индијум или алуминијум, који имају по три валентна електрона, при чему једна ковалентна веза са атомом силицијума остаје незасићена, због чега се формира позитивна честица—шупљина, која се може кретати кроз кристалну структуру дифузијом или под утицајем струје. С обзиром да примесни атоми прихватају побуђене електроне из валентне зоне називају се акцептори, док се њихов енергетски ниво назива акцепторски ниво (Pavlović & Čabrić, 2006). У полупроводнику *p*-типа шупљине су већински, а електрони мањински носиоци наелектрисања.



Слика 3. Енергетске зоне код полупроводника n -типа (а) и p -типа (б). Модификовано према *Solar Energy Engineering: Processes and Systems* (2nd ed., p. 486), S. A. Kalogirou, 2014. Academic Press

Соларна ћелија се састоји од полупроводника n -типа и p -типа, тј. p - n споја. У извесној мери електрони и шупљине дифузијом прелазе границе p - n споја успостављајући електрично поље. Када фотони падну на површину соларне ћелије и када их полупроводник апсорбује, неки од њих формирају парове електрон-шупљина. Ако су ови парови довољно близу p - n споју, његово електрично поље доводи до раздвајања наелектрисања, тако да се електрони крећу према n -типу полупроводника, а шупљине према p -типу полупроводника. Као последица оваквог кретања електрона и шупљина на крајевима соларне ћелије се јавља потенцијална разлика, односно напон. Када су две стране соларне ћелије повезане са потрошачем кроз електрично коло ће протичати електрична енергија, све док је ћелија осветљена.

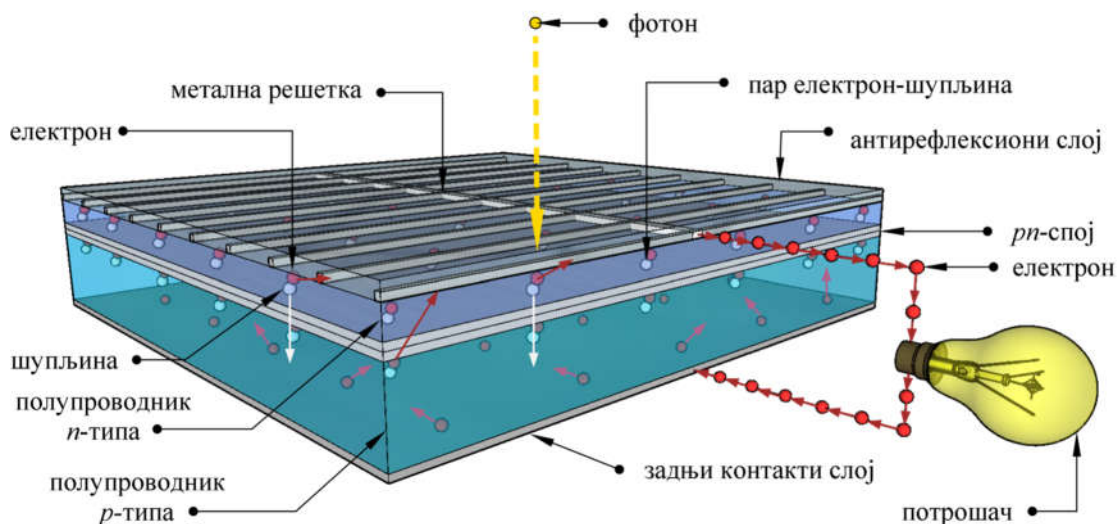
2.1.3. Фотонапонски системи

Фотонапонски системи служе за директно претварање сунчевог зрачења у електричну енергију. Сви фотонапонски системи се у основи могу поделити у две групе: самосталне и мрежне системе. Самостални фотонапонски системи се користе када снабдевање електричном енергијом из јавне електроенергетске мреже није могуће, нпр. на местима где изградња електромереже није могућа или није економски исплатива. Код оваквих система постоји проблем усклађивања производње и потрошње енергије, па се вишак произведене електричне енергије обично чува у батеријама. Када нема довољно сунчевог зрачења за производњу електричне енергије могу се користити додатни извори напајања (нпр. дизел генератор, горивне ћелије, ветротурбине и сл.), чиме настају хибридни системи. Самостални фотонапонски системи су нарочито погодни за снабдевање малих и средњих уређаја електричном енергијом, као што су пумпе за воду. Већина пумпних система не користи батерије за складиштење енергије, већ се енергија директно користи за пумпање воде у резервоар, која обично служи за наводњавање, појење стоке или потрошњу у домаћинствима. Самостални фотонапонски системи су, такође, нашли своју примену у напајању електричних возила, уређаја за саобраћајну сигнализацију, система за осветљење, комуникационих и мониторинг система, итд. Фотонапонски системи повезани на електроенергетску мрежу производе електричну енергију за потребе објеката на којима су постављени (породичне куће, стамбене зграде, пословне или јавне зграде, индустријске погоне, гараже, хотеле и сл.) или за испоруку у јавну електроенергетску мрежу. Уколико су намењени искључиво за снабдевање јавне електроенергетске мреже онда се називају фотонапонским електранама. Захваљујући државним подстицајима, у свету, међу фотонапонским системима, преовладавају (око 90%) они који су повезани на јавну електромережу. Међутим, процене су да око 30% становништва у свету, нарочито земаља у развоју, нема приступ јавној електроенергетској мрежи, па је улога самосталних фотонапонских система у оваквим ситуацијама непроцењива (Labudović et al., 2011).

Стандардни фотонапонски систем обично се састоји од: фотонапонских панела, батерија, регулатора пуњења и измењивача. Од осталих компоненти могу се издвојити каблови, прекидачи, бројила и носећа конструкција. У наставку текста описане су најзначајније компоненте фотонапонских система.

2.1.3.1. Соларне ћелије

Соларне ћелије су полупроводнички елементи, који на основу фотонапонског ефекта, врше претварање соларне енергије у електричну. Дизајниране су тако да приме што више сунчевог зрачења и произведу што већу количину електричне енергије. Соларне ћелије се састоје од материјала за фотонапонску конверзију, антирефлексивног слоја, предњег и задњег контакта (Слика 4). Како би се остварила максимална апсорпција светлости контакт на предњој страни ћелије је изведен у виду металне решетке, која заузима само 5% њене површине (Labudović et al., 2011). Антирефлексциони слој има улогу да смањи рефлексију сунчевих зрака и на тај начин повећа коефицијент конверзије соларне ћелије. Наношењем танког слоја силицијум-моноксида на ћелије од монокристалног силицијума, доводи до смањења рефлексије сунчевих зрака, са око 30% на свега 10%, док се додавањем још једног слоја рефлексија може смањити на 4%. Антирефлексциони слој на бази силицијум-нитрида ће повећати ефикасност соларне ћелије, тако да она може бити и преко 15% (IMSI, 2004). Већа ефикасност се може постићи повећањем храпавости горње површине соларне ћелије, односно формирањем конусне и пирамидалне текстуре, која омогућава преламање сунчевих зрака ка унутрашњости ћелије, повећавајући тако удео апсорбоване светлости. Неке соларне ћелије прекривене су са предње стране делимично провидим проводником, који се истовремено понаша као колектор енергије и антирефлексциони слој. Проводни слој, на задњој страни соларне ћелије, најчешће се изводи од алуминијума или молибдена. Формирањем задњег контакта од алуминијума утиче на побољшање ефикасности соларне ћелије, јер се светлост, која није апсорбована у активном слоју, рефлектује назад у ћелију (IMSI, 2004).



Слика 4. Струкура и принцип рада соларне ћелије

Соларне ћелије се, у зависности од материјала и технологије који се користе за њихову израду, могу поделити на: ћелије од кристалног силицијума, танкослојне ћелије, вишеслојне ћелије и наноструктурне ћелије.

Соларне ћелије од кристалног силицијума чини 93% светског тржишта соларних ћелија (Ribeyron, 2017). Ту спадају ћелије од монокристалног и поликристалног силицијума. Соларне ћелије од монокристалног силицијума настају резањем чистог монокристала силицијума. За добијање монокристала силицијума користи се поступак Чохралског, који се

састоји у зарањању клице монокристалног силицијума у растоп силицијума и њеног лаганог извлачења уз ротацију. Најпре се монокристал пречника око 30 cm и дужине неколико метара реже у блокове, а затим сваки блок на танке плочице (вафере) дебљине до 0,3 mm (Labudović et al., 2011). Следећи корак представља дифундовање фосфора у посебној пећи на температури од 800 °C до 1200 °C, а затим следи nanoшење антирефлексивног слоја и уградња предњих и задњих контаката (Labudović et al., 2011). Предност соларних ћелија од монокристалног силицијума је њихова висока ефикасност, која у просеку износи око 17%, док је у лабораторијским условима остварена рекордна ефикасност од 26,7% (Fraunhofer ISE, 2018). Међутим, сложен процес производње који води ка релативно високим трошковима, представља основну ману ових ћелија, због чега се најчешће користе у условима где се очекује максимална производња на ограниченом простору, као што су кровови стамбених и комерцијалних објеката. У поређењу са танкослојним ћелијама, соларне ћелије од монокристалног силицијума, имају знатно брже опадање излазне снаге са порастом температуре ћелије (од $-0,4\%/^{\circ}\text{C}$ до $-0,5\%/^{\circ}\text{C}$), као и у условима слабије осветљености (Kalogirou, 2014; Marion, 2008). Соларне ћелије од поликристалног силицијума настају изливањем растопљеног силицијума, температуре око 1500 °C у инготе, који се потом хладе на температури од 800 °C. Реч је о блоковима поликристалног силицијума димензија $40 \times 40 \times 30$ cm, који се прво режу на шипке, а потом на танке плочице дебљине до 0,3 mm. Као и код монокристалних, завршна обрада обухвата дифундовање фосфора, nanoшење антирефлексивног слоја и уградњу контаката. Због једноставнијег производног процеса, ћелије од поликристалног силицијума су јефтиније од монокристалних ћелија, али је њихова ефикасност нешто нижа, и износи око 16%, док у лабораторијским условима достиже и 22,3% (Fraunhofer ISE, 2018). Соларне ћелије од поликристалног силицијума, баш као и монокристалне, имају висок температурни коефицијент. Због добре ефикасности и повољније цене, ћелије од поликристалног силицијума нашле су своју примену како код система на крововима/надстрешницама, тако и код система инсталираних на земљи.

Танкослојне соларне ћелије настају nanoшењем једног или више фотоосетљивих слојева (филмова) полупроводничког материјала на подлогу од стакла, метала, полимера или неког другог прикладног материјала. Основна предност танкослојних ћелија у односу на ћелије од кристалног силицијума је њихова дебљина (1–6 μm у поређењу са 0,1–0,3 mm), потрошња сировина (0,2 kg/kW у поређењу са 16 kg/kW) и потрошња примарне енергије (1–7,5 MWh/kW у поређењу са 12–15 MWh/kW) (Labudović et al., 2011). У производном процесу танкослојних ћелија користе се комбинације разних материјала, па се могу поделити у више подгрупа:

- *Танкослојне ћелије од аморфног силицијума* су састављене од атома силицијума у танком хомогеном слоју, неправилне структуре. Аморфни силицијум апсорбује светлост ефикасније него кристални силицијум, због чега ћелије могу бити тање, а уштеде материјала веће. Због релативно ефикасне апсорпције таласних дужина у опсегу плаве светлости, која је присутна у условима веће облачности, годишња производња ћелија од аморфног силицијума је већа у поређењу са ћелијама од кристалног силицијума исте снаге. Такође, ћелије од кристалног силицијума имају температурни коефицијент око $-0,2\%/^{\circ}\text{C}$, што их чини ефикаснијим у климатским областима са високом температуром ваздуха. Главни недостатак ових ћелија односи се на њихову малу ефикасност, која износи од 6 % до 7% (Price, 2010), при чему се оно још смањује у првих 6–12 месеци, због деградације коју проузрокује светлост (Labudović et al., 2011). Аморфни силицијум се може нанети на широк спектар подлога, како крутих тако и флексибилних, што га чини идеалним за закривљене површине. Данас постоје ћелије од аморфног силицијума у различитим облицима, нпр. цреповима за кров.
- *Танкослојне ћелије од кадмијум телурида (CdTe)* остварују највећи удео у производњи танкослојних ћелија (Fraunhofer ISE, 2018). Настају nanoшењем танког слоја кадмијумовог сулфида (полупроводника *n*-типа) и апсорпционог слоја кадмијум

телурида (полупроводника *p*-типа) на провидни слој кога чине проводни оксиди (Transparent conducting oxides—TCOs), најчешће калај диоксид или кадмијум-калај-оксид, а може се користити и индијум-калај-оксид или цинк-оксида са примесама алуминијума. Просечна ефикасност комерцијалних CdTe ћелија износи око 16%, док је највећа достигнута ефикасност у лабораторијским условима 21%. Температурни коефицијент ових ћелија износи од $-0,25\%/^{\circ}\text{C}$ до $-0,35\%/^{\circ}\text{C}$. Због своје ниске цене, средње ефикасности и великог обима производње, CdTe ћелија доприноси развоју новог тржишта соларних ћелија, које се користе у системима за производњу и испоруку електричне енергије у електромережу. Модули од танкослојних CdTe ћелија прикладни су како за велике фотонапонске системе на земљи, тако и за системе који се монтирају на крововима комерцијалних објеката (Kalogirou, 2014).

- *Танкослојне ћелије на бази бакра, индијума, галијума и селенида (CIGS)* представљају најновије решење за развој комерцијалних модула, који не користе стакло, што их чини флексибилним и веома лаганим. Као и друге танкослојне ћелије, CIGS ћелије се производе по ниској цени и у непрекидном низу, па ћелије није потребно повезивати у модуле, као што је то случај код ћелија од кристалног силицијума. Њихова електрична својства налазе се на граници соларних ћелија од кристалног силицијума и ћелија од кадмијум телурида, нешто више од 16% (Ramanujam & Singh, 2017), са средњим температурним коефицијентом у распону од $-0,3\%/^{\circ}\text{C}$ до $-0,4\%/^{\circ}\text{C}$ (Kalogirou, 2014). Због своје ниске цене, средње ефикасности и мале тежине, CIGS ћелије су идеалне за инсталације на крововима стамбених и комерцијалних објеката. Ове ћелије имају добру перспективу за интеграцију са другим конвенционалним материјалима који се користе као омотачи за објекте (нпр. соларне фасаде, соларни прозори, итд.).

Вишеспојне соларне ћелије (енг. Multi-junction) или тзв. тандем соларне ћелије настају спајањем два или више *p-n* споја од различитих полупроводничких материјала, при чему сваки од њих апсорбује светлост различитих таласних дужина, побољшавајући, на тај начин, ефикасност конверзије соларне у електричну енергију. Највећа теоријска ефикасност бесконачног броја спојева износи 86,6% (Green, 2003), док је лабораторијским истраживањима, у условима концентрисане сунчеве светлости, добијена ефикасност од око 44% (National Renewable Energy Laboratory [NREL], 2012). Због великих трошкова производње ове ћелије се, за сада, користе само за напајање сателита и код фотонапонских система са концентраторима. У погледу конструкције Pavlović & Čabrić, 2006 разликују два типа тандем ћелија: монолитне и механичке. Код монолитне, две соларне ћелије се налазе у директном контакту једна изнад друге, док су код механичке оне одвојене слојем транспарентног изолатора, при чему свака има по два електрична извода преко којих остварује везу са другим ћелијама. Код тандем соларних ћелија најчешће се комбинује аморфни са кристалним силицијумом, али се користе и полупроводнички материјали базирани на комбинацији елемената из треће и пете групе, тзв. III-V једињења (нпр. GaAs, InP, GaSb).

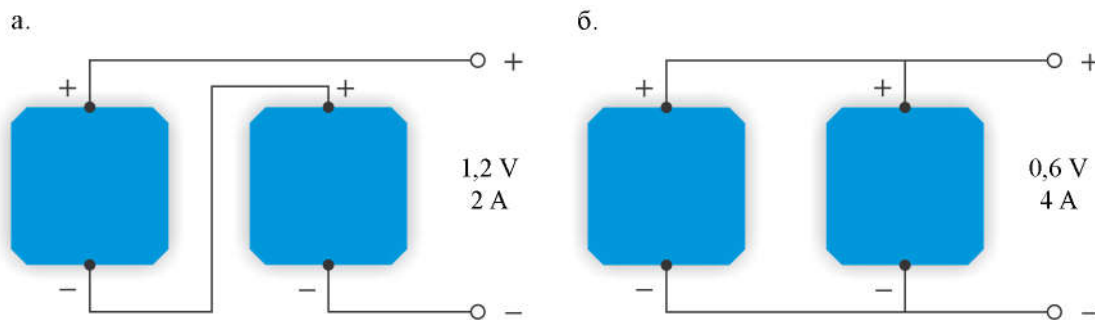
Наноструктурне соларне ћелије су фотонапонски уређаји који излазе из оквира микроелектронике, те настају применом нанотехнологије. Нанотехнологија предлаже конструкцију уређаја величине неколико нанометара ($\sim 1\text{--}20\text{ nm}$), што значи да се не могу видети голим оком. Велики однос површине и запремине наноматеријала обезбеђује јефтине соларне ћелије (од $\$0,60/\text{W}$) које могу бити конкурентне стандардним генераторима електричне енергије. У ову групу спадају:

- *Органске соларне ћелије* су флексибилне ћелије направљене од полимера, великих молекула сачињених од повезаних серија поновљених једноставних мономера. Иако, у погледу перформанси и издржљивости заостају за традиционалним соларним ћелијама, њихова способност да се произведу из раствора, отворила је могућност њиховог једноставног наношења техником штампе или облагањем (енг. roll-to-roll production). Ефикасност ових ћелија износи око 5%, али истраживања су показала да органске соларне ћелије могу достићи ефикасност око 10% или више (Krebs & Norrman, 2007). Животни век органских соларних ћелија је значајно побољшан

- протеклих година, а показало се да пластичне соларне ћелије могу да трају и по неколико година (Bagher, Vahid, & Mohsen, 2015).
- *Соларне ћелије са фотоосетљивом бојом* (енг. dye-sensitized solar cells— DSSCs) изумели су 1991. године проф. Мајкл Грацел (нем. Michael Grätzel) и др Брајан О Реган (енг. Brian O'Regan) са Савезног института за технологију у Лозани. Соларне ћелије са фотоосетљивом бојом се састоје од нанометарских честица титан-диоксида (TiO_2) које се наносе на стаклену аноду силицијум-диоксида (SiO_2). Анода је пресвучена танким и провидним слојем проводног калај-диоксида (SnO_2). Слој са наночестицама TiO_2 се најпре суши, а затим загрева како би се створила порозна структура која се потом урања у раствор боје. У процесу тзв. „сензибилизације”, молекули боје се везују за TiO_2 , и тако настаје апсорбер светлости. На порозни слој TiO_2 наноси се течни електролит са јодидом. На задњој страни ћелије налази се стаклена катода која је пресвучена танким слојем платине или угљеника, због бољег протока електричне енергије. Када молекул боје апсорбује фотон, електрон добија довољно енергије да раскине валентну везу и пређе на наночестице TiO_2 . На месту електрона остаје шупљина, који попуњава електрон јодида у течном електролиту (TheSolarSpark, 2011). На тај начин долази до кретања електрона, чиме се ствара струјно коло које напаја уређај повезан на соларну ћелију. Предност ових ћелија огледа се у једноставној производњи, малој потрошњи материјала, полу-еластичности и полу-провидности, што омогућава њихову разноврсну примену. Иако је ефикасност DSSCs мања него код танкослојних ћелија, однос цене и перформанси би требало да утичу да оне постану конкурентне енергији из фосилних горива (Bagher et al, 2015).
 - *Соларне ћелије са квантним тачкама* користе квантне тачке, тзв. „вештачке атоме”, као замена за масовне фотонапонске материјале (силицијум, CIGS или CdTe). Квантне тачке су полупроводни нанокристали који у зависности од састава и димензија емитују светлост различите боје. Комбинацијом кристала различитих димензија могуће је учинити да готово свака таласна дужина светлости изазива пренос електрона у проводну зону, па се тако повећава ефикасност соларних ћелија, уз истовремено смањење производних трошкова. Колоидне квантне тачке се процесирају у танке филмове техникама наношења у спреју, наношења у капљици, као и техникама ротационог наношења (енг. „spin-coating”) или потапања (енг. „dip-coating”). Tasić (2017) разликује неколико конфигурација соларних ћелија које обухватају и слојеве квантних тачака: а) Шоткијеве ћелије (метал у контакту са слојем квантних тачака PbS или PbSe), б) хетероспојевима (n -тип оксида у диодном споју са квантним тачкама p -типа), ц) ћелије са квантним тачкама уместо молекула фотоосетљиве боје, д) ћелије са квантним спојевима (квантне тачке p -типа у диодном споју са квантним тачкама n -типа).
 - *Перовскитске соларне ћелије* за апсорпцију светлости користе материјале који се обично састоје од три компоненте: метала (нпр. олово), халогена (углавном јод, али се такође користи хлор или бром) и органског једињења (метиламонијум или формадиум). Иако су се соларне ћелије на бази перовскита појавиле 2012. године, врло брзо су оствариле ефикасност конверзије преко 19% (Bagher et al., 2015), и тако надмашиле ефикасност танкослојних соларних ћелија.

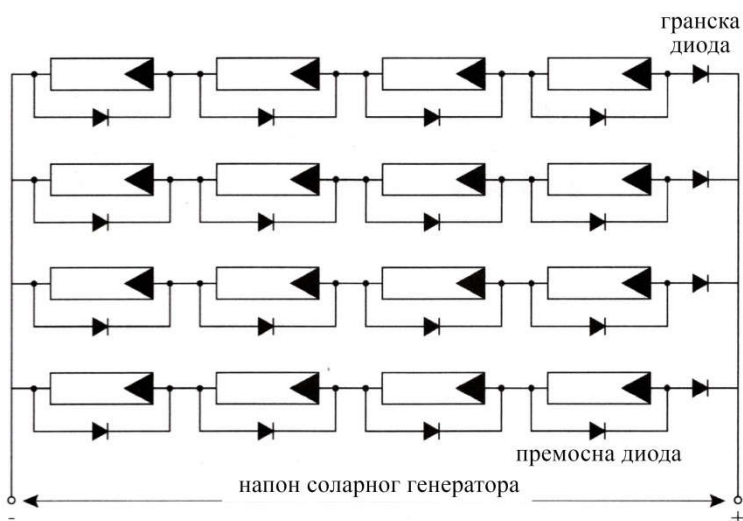
2.1.3.2. Фотонапонски панели

Будући да појединачне соларне ћелије, у зависности од сунчевог зрачења и температуре ћелије, производе напон 0,3–0,7 V и јачину сутрује од неколико десетина mA/cm^2 , оне се обично повезују редно (серијски) или паралелно у фотонапонске панеле (модуле), како би се добио одговарајући напон, односно снага. Код редно повезаних (Слика 5а) соларних ћелија напон је једнак збиру напона у свакој ћелији, док је укупна јачина струје једнака јачини струје појединачне ћелије. У случају паралелног повезивања ситуација је обрнута (Слика 5б).



Слика 5. Шематски приказ редног (а) и паралелног (б) повезивања соларних ћелија у фотонапонске панеле.

Ако је део соларних ћелија у фотонапонском панелу осенчен, односно заклоњен од извора светлости, онда те ћелије не могу производити електричну енергију, већ представљају сметњу у струјном колу. Засењене соларне ћелије се при проласку струје загревају, па се понашају слично као електрични потрошач. Због тога се приликом спајања соларних ћелија у фотонапонске панеле користе премосне и гранске диоде (Слика б). Премосна диода служи за заштиту редно повезаних соларних ћелија и паралелно спаја сваку ћелију у низу, док гранска диода служи за заштиту у подмодулу и серијски се спаја на фотонапонске ћелије на поједину грану (Labudović et al., 2011).



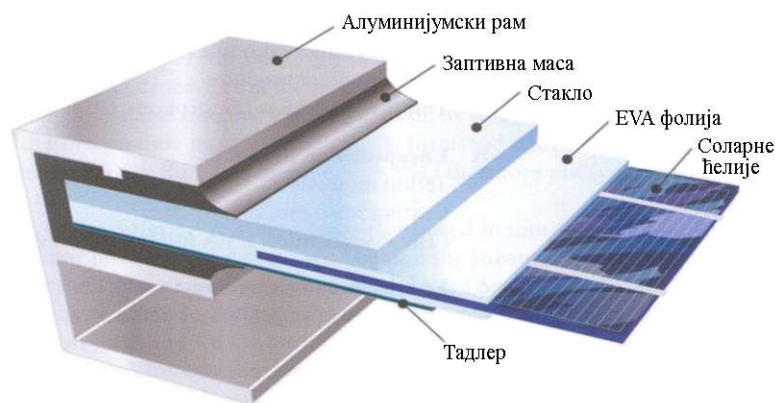
Слика 6. Заштита фотонапонских панела од осенчености ћелија помоћу преносних и гранских диода. Модификовано према *Osnove primjene fotonaponskih sustava* (стр. 83), B. Labudović, M. Elezović, D. Knežević, M. Kos, Z. Matić, Lj. Majdandžić, V. Martinčić, D. Papler, & M. Stojan, 2011, Zagreb: Energetika marketing.

Фотонапонски панели обично садрже око 36 редно повезаних ћелија. Излазна снага за стандарне панеле креће се између 50 W и 200 W, а поједни проивођачи нуде панеле преко 200 W (Geist, 2015).

Фотонапонски панели са соларним ћелијама од кристалног силицијума, осим међусобно повезаних ћелија, састоје се и од оквира, заптивне масе, предњег стакла, етилен винил ацетат (EVA) фолија, заштитне плоче и електричних контаката на задњој страни панела (Слика 7). На предњој страни панела налази се посебна врста стакла са ниским садржајем гвожђа (тзв. бело стакло) које јако добро пропушта сунчеве зраке. Да би се ћелије додатно заштитиле од климатских и механичких утицаја EVA фолија се помоћу ламинатора загрева и растапа у транспарентну пластичну масу, која пропушта светло. Уместо EVA фолије за заптивање панела може се користити течна смола. Заштитна плоча са задње стране може бити од метала, стакла или полимерног материјала. Обично се користи композитни пластични материјал тзв. тадлар, који делимично садржи слој алуминијума, што му

омогућава да, слично као и стакло, заустави продирање кисеоника, и на тај начин спречи прерану оксидацију соларних ћелија (Geist, 2015). Прикључни водови се изводе и поствљају у разводне кутије на задњој страни панела. Сви елементи су обједињени у јединствену целину помоћу оквира, који се по правилу, израђује од алуминијума или нерђајућег челика. По ободима оквира налазе се гумени заптивачи који спречавају продор влаге и нечистоћа.

Фотонапонски панели од танкослојних ћелија се могу израдити као еластична фолија без оквира и предњег стакла. Такви панели се, углавном, производе као већ интерно повезан низ соларних ћелија, који резултира нижим трошковима производње.



Слика 7. Попречни пресек фотонапонског панела. Модификовано према „Bestandteile von PV-Anlagen“ (Поглавље 2.1.7), Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie. Copyright DGS PV ID-03-16; e-fit. Преузето са https://elearning.izt.de/files/onlinekurse/efit/DGS/PV_Online_Kurs_2_20110702_start/PV_Online_Kurs_2_20110702_start.htm

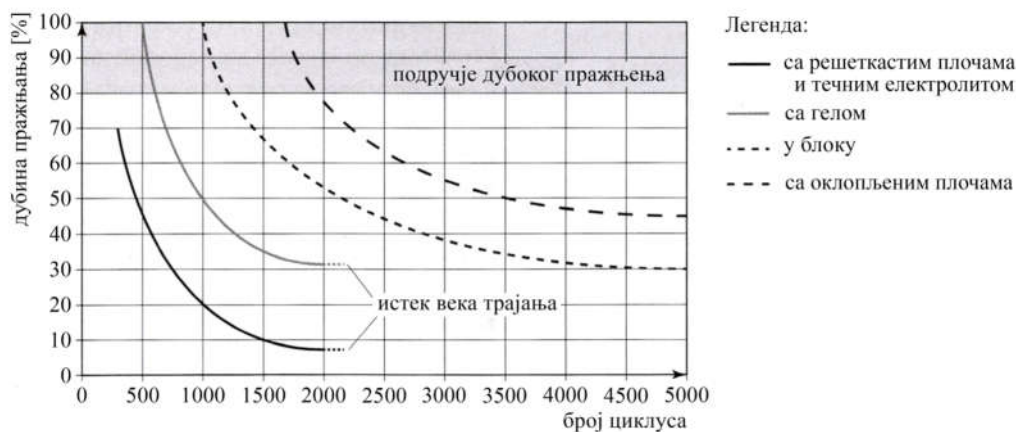
Панели се, као и соларне ћелије, могу повезивати редно и паралелно како би се добио фотонапонски низ (енр. PV array) одређеног напона и јачине струје. У литератури се појављује термин соларни или фотонапонски генератор који се односи на један или више међусобно повезаних фотонапонских елемената (ћелија или панела) који у струјном колу представљају извор електричне енергије.

2.1.3.3. Батерије

Сунчево зрачење је интермитентан извор енергије, па складиштење енергије представља важну ставку у планирању фотонапонских система, нарочито када се ради о самосталним системима. Акумулатор или батерија је део фотонапонског система који омогућава складиштење енергије коју производе фотонапонски панели. Током ноћи или при облачном дану, када панели не производе енергију, потрошачи, код самосталних фотонапонских система, преузимају енергију која је складиштена у батеријама. Мрежни фотонапонски системи обично не користе батерије, већ помоћу инвертера регулишу преузимање енергије из електромере.

Батерије се, као и соларне ћелије или фотонапонски панели, могу повезивати редно ради подизања напона, или паралелно, чиме се повећава њихов капацитет, изражен у ампер-сатима (Ah). Капацитет батерије није константна величина, већ зависи од врсте батерије/акумулатора, температуре (са порастом температуре повећава се капацитет батерије), коначног напона и јачине струје при пражњењу. Најчешће се изражава у часовима пражњења.

Животни век батерије се може изразити бројем година и/или животних циклуса. Број година показује колико ће батерија трајати ако се редовно пуни али се никад не користи, док број животних циклуса показује колико је пута могуће пунити и празнити батерију пре него што изгуби 20% номиналног капацитета. Произвођачи батерија означавају њен животни век графички или табеларно тако што приказују број циклуса према дубини пражњења (Слика 8).



Слика 8. Дијаграм века трајања оловних соларних акумулатора. Модификовано према *Osnove primjene fotonaponskih sustava* (стр. 91), B. Labudović, M. Elezović, D. Knežević, M. Kos, Z. Matić, Lj. Majdandžić, V. Martinčić, D. Papler, & M. Stojan, 2011, Zagreb: Energetika marketing.

Као што се на Слици 8 може видети, батерија има дужи животног век ако је дубина пражњења мања. Већина експерата сматра да би батерије требало повезати у велику групу, тако да режим пражњења никада не иде испод 50% укупног капацитета. Са друге стране, велика група батерија јача поузданост и флексибилност система у погледу коришћења електричне енергије, покривајући потребе потрошача у тренуцима када панели не производе енергију, нпр. током ноћи или облачног времена, као и у случају квара или оштећења на систему.

У данашње време на тржишту су доступне олово-киселинске, никл-кадмијум, никл-метал-хидридне и литијум-јонске батерије. У самосталним фотонапонским системима обично се користе батерије на бази олово-киселина. Labudović et al. (2011), према начину извођења, разликују неколико типова оловних акумулатора:

- *Акумулатори са решеткастим плочама и течним електролитом* су незнатно модификовани стартер акумулатори за аутомобиле. Одликују се малом тежином, повољном ценом и широком применом. Основни недостатак је мали циклус пуњења и пражњења, због чега је животног век ових акумулатора краћи у односу на остале (Слика 8). Како би се продужио животног век акумулатора потребно је, 2 до 3 пута годишње, незнатно препунти акумулатор, односно довести га на кратко време у фазу производње гаса, како би дошло до мешања акумулаторске киселине (Geist, 2015). Међутим, због стварања гаса (водоника) услед препуњености, као и због губитка течности у акумулатору, постоји опасност од експлозије. Ови акумулатори су погодни за фотонапонске системе који се користе за снабдевање викендица, камп-кућица и пловила.
- *Акумулатори са гелом* су много практичнији од оних са течним електролитом, будући да нема опасности од стварања гаса и изливања киселине, а не захтевају ни одржавање у виду додавања дестиловане воде. Поред тога потпуно затворено кућиште омогућава постављање у било ком положају. Животног век ових акумулатора је двоструко дужи у односу на оне са течним електролитом (Слика 8), али је и њихова цена нешто већа (Labudović et al., 2011). Обично се користе код фотонапонских система који служе за напајање мањих угоститељских објеката, већих викендица и сл.
- *Акумулатори са оклопљеним плочама* су најсложенији и најиздржљивији акумулатори, са већом трајањем од 15 до 20 година. Назив су добили по чврстом појасу, причвршћеном око оловног језгра, који онемогућава расипање активног материјала (PbO_2), а истовремено је и порозан за електролит. У погледу конструкцијских решења разликују се они са течним електролитом (OPzS) и електролитом у гелу (OPzV). Већа цена ових акумулатора је потпуно оправдана, ако се у обзир узме дужи век трајања. Због велике масе ови акумулатори предвиђени су за стационарну примену, најчешће за напајање породичних кућа, угоститељских објеката и постројењима са већом потрошњом струје, током целе године.

- *Акумулатори у блоку* представљају комбинацију оних са решеткастим и оклопљеним плочама. Уз редовно одржавање на сваких 0,5–3 године, животни век ових акумулатора може бити дуг (Слика 8). Упркос нешто већој цени, све чешће се користе у фотонапонским системима за напајање изолованих породичних кућа, угоститељских објеката, разних постројења и уређаја, и сл.

Када се користе батерије у фотонапонским системима, оне се морају инсталирати на местима без екстремних температура и са добрим проветравањем.

2.1.3.4. Регулатор пуњења

Регулатор пуњења има функцију да заштити батерију од дубоког пражњења и пуњења, спречавајући на тај начин нежељене последице у фотонапонским системима (проток струје у супротном смеру, редукација животног века батерије, опасност од експлозије и сл.). Регулатори пуњења могу бити серијски и паралелни (шант-регулатори). Одабир адекватног регулатора пуњења зависи од напона у систему, јачине струје у фотонапонским панелима, максималне јачине струје потрошача, и жељених карактеристика самог регулатора. Уобичајени принцип рада регулатора пуњења је да на основу напона батерије одређују радни напон у фотонапонском систему. Међутим, постоје регулатори пуњења који могу оптимизовати радни напон фотонапонских модула независно од напона батерије тако да систем увек функционише највећом снагом. Већина регулатора пуњења има два основна режима рада (Kalogirou, 2014):

- 1) *Нормални режим рада*, у којем напон батерије варира између дозвољених минималних и максималних вредности.
- 2) *Режим прекомерног пуњења и пражњења*, који наступа у тренутку када напон батерије достигне критичну вредност.

Прекомерно пуњење и пражњење батерије у фотонапонским системима се контролише помоћу електромеханичких (релеји, склопке, итд.) или solid-state (биполарни транзистори, MOSFET, итд.) прекидача. У ситуацији када се напон на терминалу повећа изнад одређеног прага и када је струја коју захтевају потрошачи мања од струје коју обезбеђују фотонапонски панели, батерије су заштићене од прекомерног пуњења искључивањем фотонапонских панела са струјног кола, путем прекидача. Фотонапонски панели се поново укључују на струјно коло када напон на терминалу опадне испод одређене вредности. Када је струја коју захтевају потрошачи већа од струје коју обезбеђују фотонапонски панели, батерије су заштићене од прекомерног пражњења, искључивањем потрошача са струјног кола, у тренутку када напон на терминалу падне испод одређеног прага. Потрошачи су поново укључени на струјно коло када је напон на терминалу изнад одређеног прага (A. D. Hansen, Sorensen, Hansen, & Bindner, 2000).

2.1.3.5. Измењивач

Измењивач или инвертор врши претварање једносмерне струје у наизменичну. Осим тога, инвертор служи да регулише излазни напон, као и да омогући функционисање једног или више међусобно повезаних фотонапонских панела у опсегу највеће излазне снаге.

Инвертори се разликују према њиховој укупној снази, која може износити од стотину вати до неколико мегавати. Инвертори мале снаге (мање од 3 kW) су лагани уређаји, који се обично постављају на полицу или сто. Монтажа на зиду је предвиђена за инвертора средње снаге, док су они велике снаге (10 kW и више) причвршћени за под (Boxwell, 2015). Сваки инвертор производи извесну количину топлоте, нарочито ако ради у домену номиналне излазне снаге. Губици у систему најчешће су проузроковани прегревањем инвертора. Због тога место на коме се налази инвертор мора да има добар систем проветравања, али и да буде заштићено од продирања прашине и влаге.

Инвертор код самосталних фотонапонских система је потпуно другачији у односу на мрежно повезане фотонапонске системе. Вредност фреквенције и напона струје на излазу из инвертора мора да одговара вредностима у јавној електромережи. С обзиром да је код мрежних система инвертор повезан директно са фотонапонским панелима, он се искључује у моменту када панели више не производе електричну енергију. Код самосталних фотонапонских система инвертор је повезан са батеријом тако да се он искључује када је батерија скоро празна.

Код фотонапонских система обично се користи један инвертор тзв. централни инвертор који је паралелно повезан преко сабирнице једносмерне струје са неколико, редно, повезаних фотонапонских панела. Оваква конфигурација остварује високу ефикасност уз мале трошкове, али је поузданост код оваквих система ограничена на само један инвертор. Уколико дође до квара инвертора, губици ће се одразити на све фотонапонске панеле у систему. У новије време користе се тзв. master-slave и микро инвертори. Master-slave конфигурација инвертора подразумева више међусобно повезаних инвертора који, у условима слабијег зрачења, функционишу тако што се једносмерна струја коју производе панели ослања само на главни инвертор, до његовог максималног нивоа улазне снаге; како интензитет зрачења расте тако се производња струје раздваја на помоћне инверторе до њихове максималне снаге. Микро инвертор се поставља на сваки панел појединачно, тако да сваки панел ради у опсегу највеће снаге. Микро инвертори омогућавају прикључење система за праћење тачке максималне снаге (енг. maximum power point trackers—MPPTs). Реч је о системима који оптимизују радни напон фотонапонског панела тако да производи максималну количину електричне енергије. Произвођачи тврде да MPPTs могу да повећају производњу енергије у фотонапонским системима у опсегу 5–20% (Kalogirou, 2014). Конфигурација фотонапонских панела са микро инверторима је скупља варијанта у односу на оне са централним инвертором. Међутим, системи са микро инверторима функционишу на безбеднијем напонском нивоу, а у случају квара инвертора губици су ограничени на појединачне панеле.

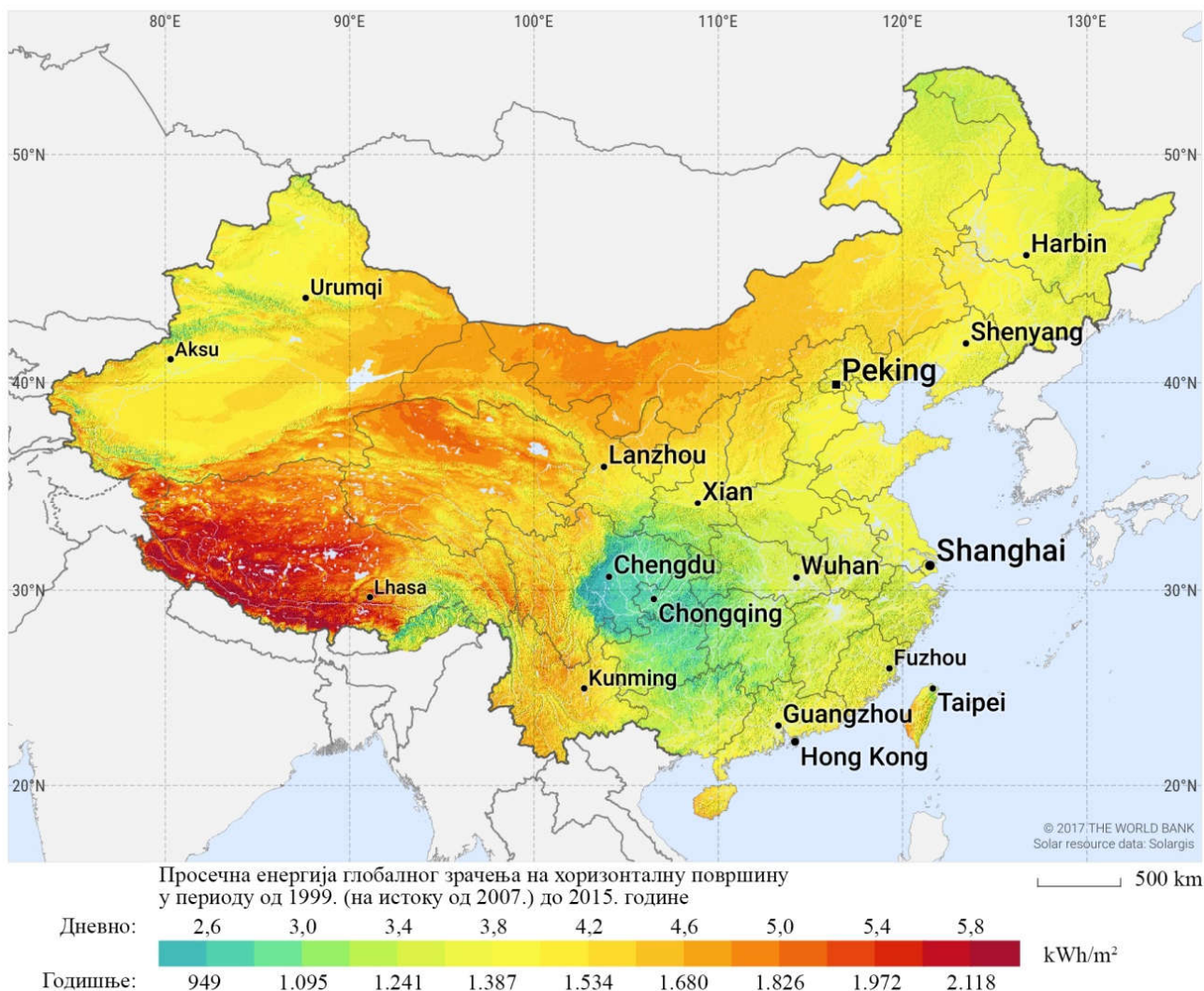
Према облику таласног сигнала једносмерне струје, инвертори се могу поделити на оне синусног таласа, модификованог синусног таласа и квадратног таласа. Предност инвертора синусног таласа је та што је већина уређаја прилагођена овом облику таласног сигнала. Инвертори модификованог синусног таласа су за разлику од претходних много јефтинији, али постоји могућност да неки уређаји уопште неће радити или да ће радити са сметњама. Инверторе квадратног таласа, углавном, могу користити једноставнији уређаји са универзалним мотором. Њихова највећа предност је што су доста јефтинији од инвертора синусног таласа.

2.2. Примери добре праксе иностраних земаља

Развој фотонапонских електрана није искључиво везан за енергетски потенцијал сунчевог зрачења, већ зависи од мноштва других фактора, при чему је стварање повољног амбијента за инвестирање у обновљиве изворе енергије од суштинског значаја за трансформацију целокупног енергетског система. Кина је захваљујући нижој цени панела и развијеној подстицајној политици успела да, до краја 2015. године, престигне Немачку и заузме водеће место у свету у погледу инсталисане снаге фотонапонских система. Осим значаја у фотонапонском тржишту Европе, Немачка је добар пример како је за потребе регионалног планирања извршена процена повољности локација за изградњу фотонапонских електрана, као и начин на који је кроз урбанистички план регулисана изградња простора на којем се данас налазе различити системи за експлоатацију обновљивих извора. Од држава насталих распадом Савезне Федеративне Републике Југославије, Словенија је најуспешнији пример коришћења сунчевог зрачења за потребе производње електричне енергије, као и увођења ГИС технологије за приказивање соларног потенцијала и праћења развоја фотонапонских система. Искуства поменутих држава детаљније су описана у наставку.

2.2.1. Кина

Кина је земља која не оскудева у погледу потенцијала за коришћење соларне енергије, будући да око 60% њене територије има преко 2.200 сунчаних сати годишње (Hou, Luo, & Cao, 2019). Аерозагађење у метрополитанским подручјима источне Кине умањује вредност сунчевог зрачења за око 20% (Li, Wagner, Peng, Yang, & Mauzerall, 2017). Просечно годишње зрачење у Кини износи преко 1.389 kWh (Слика 9).



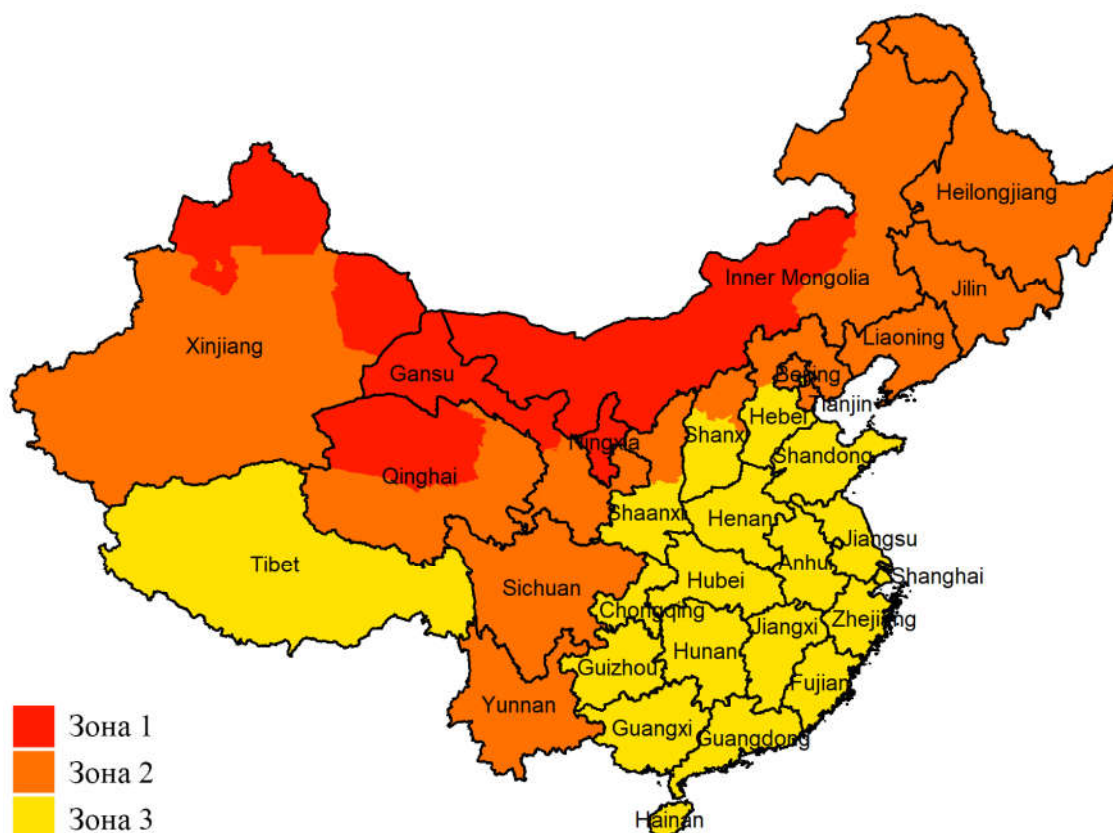
Слика 9. Соларно зрачење у Кини. Модификовано према “Solar resource data obtained from the Global Solar Atlas, owned by the World Bank Group and provided by Solargis.”, World Bank Group & Solargism, 2017, (<https://globalsolaratlas.info/downloads/china>).

Развој фотонапонске технологије у Кини почео је давне 1958. године, да би седамдесетих година 20. века ушла у фазу примене. Средином осамдесетих година наступа период индустријализације и шире примене соларних ћелија. Од 2004. године расте потражња за фотонапонском технологијом у Европи, нарочито у Немачкој, утицали су да кинески произвођачи заузму прво место у свету по производњи соларних ћелија (Zhang & He, 2013). Седам од укупно десет најбоље рангираних произвођача соларних ћелија у свету, је из Кине, а чак три произвођача је на самом врху листе. Током 2017. године производња соларних ћелија у Кини процењена је на 87,2 GW, а фотонапонских модула на 85,7 GW (REN21, 2019).

Кина је већ 2017. године остварила и премашила циљ који је постављен у „13. Петогодишњем плану за развој соларне енергије (2016–2020)”, а који износи 105 GW укупне инсталисане снаге фотонапонских система до 2020. године. Према подацима из 2018. године,

укупан процењен фотонапонски капацитет у Кини износи око 175 GW (IRENA, 2019a). Овакав прогрес омогућен је захваљујући наглом паду трошкова везаних за фотонапонске системе почев од 2009. године, као значајној подршци Владе путем различитих подстицајних мера и политика. Најзначајнији механизми за подстицање шире примене обновљивих извора установљени су Законом о обновљивим изворима енергије 2006. године, који је допуњен 2009. године. Ту се, пре свега, мисли на постављене националне циљеве у погледу обновљивих извора енергије, који су усмерили инвестиције у ову област. Увођење обавезе прикључивања произвођача електричне енергије из обновљивих извора на електромережу и откупа целокупне произведене електричне енергије од стране оператера преносног, односно дистрибутивног система. Увођење подстицајних откупних цена за електричну енергију произведену из обновљивих извора, као и механизма за „дељење трошкова”, према коме су трошкови производње и прикључења система за производњу енергије из обновљивих извора подељени између предузећа и крајњих корисника електричне енергије, уз подршку средстава од продате струје. На основу овог Закона формиран је и Посебан фонд за развој обновљивих извора енергије, који нуди додатну финансијску подршку за истраживања, пилот пројекте и процену потенцијала, као и коришћење обновљивих извора енергије у руралним срединама (Zhang & He, 2013).

У априлу 2019. године, Национална комисија за развој и реформе (енг. National Development and Reform Commission [NDRC]) издала је „Распис о побољшању подстицајних откупних цена за електричну енергију произведену у фотонапонским електранама”, на основу којег су утврђене нове подстицајне откупне цене, сходно врсти фотонапонске електране и зоне у којој се налази (Слика 10). Све фотонапонске електране које се прикључују на електромережу од 1. јула 2019. године, осим оних који су обухваћени програмима смањења сиромаштва (енг. Poverty Alleviation programmes) у руралним подручјима, имају мање подстицајне откупне цене у односу на претходни период (Табела 1).



Слика 10. Мапа зона према којима су дефинисане подстицајне откупне цене за електричну енергију произведену у фотонапонским електранама. Модификовано према “PV Resource category areas”, China Energy Portal, 2019a. Преузето са <https://chinaenergyportal.org/en/circular-on-improving-the-feed-in-tariff-mechanism-for-pv-power-generation/>.

Табела 1. Подстицајне откупне цене за електричну енергију производну у фотонапонским електранама у Кини

Датум прикључења на електромрежу	Врста фотонапонске електране	Подстицајне откупне цене јуан/kWh			
		Зона 1	Зона 2	Зона 3	Тибет
пре 2016. године ^а	Фотонапонске електране	0,90	0,95	1,00	
2016. године ^а	Фотонапонске електране	0,80	0,88	0,90	
2017. године ^а	Фотонапонске електране	0,65	0,75	0,85	1,05
мај–јун 2018. године ^а	Велике фотонапонске електране (utility-scale)				
	Стандардни пројекти	0,55	0,65	0,75	1,05
	Пројекти за смањење сиромаштва	0,65	0,75	0,85	1,05
	Дистрибутивни фотонапонски системи				
	Стандардни пројекти	0,37	0,37	0,37	1,05
од јуна 2018. године ^б	Велике фотонапонске електране (utility-scale)				
	Стандардни пројекти	0,50	0,60	0,70	1,00
	Пројекти за смањење сиромаштва	0,65	0,75	0,85	1,00
	Дистрибутивни фотонапонски системи				
	Стандардни пројекти	0,32	0,32	0,32	1,00
од јула 2019. године ^б	Велике фотонапонске електране (utility-scale)				
	Стандардни пројекти	0,40	0,45	0,55	
	Пројекти за смањење сиромаштва	0,65	0,75	0,85	
	Дистрибутивни фотонапонски системи				
	Индустријски и комерцијални ФН пројекти				
	Модел 1	0,1	0,1	0,1	
	Модел 2	*	*	*	
Стамбени ФН пројекти	0,18	0,18	0,18		

Напомена. ^аChina energy portal (2017); ^бSolarPower Europe (2019); ^вChina energy portal (2019a). Модел 1 = произведена енергија се користи за сопствене потребе, а вишак се испоручује у електроенергетску мрежу; Модел 2 = целокупна произведена енергија се испоручује у електроенергетску мрежу; *примењиваће се подстицајне откупне цене за производњу електричне енергије у великим фотонапонским електранама, дефинисане на локалном нивоу.

У најзначајније програме, намењене подстицању примене фотонапонских система у Кини, спадају: „Светлост”, „Програм за електрификацију града”, „Соларни фотонапонски пројекти на зградама”, и „Златно Сунце”. Програм „Светлост” имплементиран је 1996. године са намером да промовише примену фотонапонских модула за дневне потребе становништва на подручју Кине без енергетске инфраструктуре. Кинеска влада је 2002. године донела „Програм за електрификацију града”, на основу којег су изграђене фотонапонске електране, укупне инсталисане снаге 20 MW, у чак 688 градова лоцираних у тешко приступачним и западним деловима Кине (Gul, Kotak, & Muneer, 2016). У марту 2009. године, Министарство финансија и Министарство за стамбена питања и урбано-рурални развој Кине, објавили су програм под називом „Соларни фотонапонски пројекти на зградама”. Овим програмом обезбеђене су субвенције за инсталацију фотонапонских система на крововима кућа, у износу од 15 јуана по вату, и 20 јуана по вату за фотонапонске системе интегрисане са објектима. Половина трошкова за набавку модула од кристалног силицијума, оловних акумулаторских батерија и мрежних конвертора субвенционисана је преко овог програма. Услов је да фотонапонски пројекти буду снаге мање од 50 kW, а ефикасност панела од поликристалног силицијума да не прелази 16%, односно 14% за панеле од поликристалног силицијума, и 6% за панеле од аморфног силицијума. Исте године, само неколико месеци касније, Национална управа за енергију и Министарство науке и технологије покренуле су програм „Златно Сунце”, који обезбеђује субвенције у износу од 50% укупних трошкова за мрежно повезане фотонапонске системе и 70% за самосталне фотонапонске системе. Једини услов је да инсталисана снага фотонапонског система буде мања од 300 kW. Програми субвенција показали су одличне резултате. За само четири године програм „Соларни фотонапонски пројекти на зградама” помогао је изградњу фотонапонских

система укупне инсталисане снаге 551,2 MW, док је имплементацијом програма „Златно Сунце” фотонапонски капацитет увећан за 2.872 MW (Zhang & He, 2013).

Од 2014. године, Кинеска влада је почела са имплементацијом фотонапонских електрана у циљу смањења сиромаштва, што је дало резултате не само на пољу зеленог развоја, већ и да се смањење сиромаштва, у руралним областима, одвија бржим темпом. Пилот пројекти за смањење сиромаштва, кроз примену фотонапонских електрана, имплементирани су у шест провинција (Нингсја, Анхуеј, Шанси, Хебеј, Гансу и Тингхај), односно 30 округа који се одликују високим вредностима соларног зрачења, ефикасном политиком подршке и добрим стањем инфраструктуре. Током протеклих година пројекти за смањење сиромаштва кроз примену фотонапонских електрана унапређени су у следеће типове пројеката: (1) фотонапонске електране, снаге 3–5 kW, смештене на крововима или у двориштима сиромашних домаћинстава; (2) фотонапонске електране, снаге 100–300 kW, изграђене на колективном сеоском земљишту; (3) фотонапонске електране изграђене на пољопривредним стакленицима и другим модерним објектима који се користе за обављање пољопривредне делатности; (4) велике фотонапонске електране, снаге преко 10 MW, које су изграђене на неплодном (јаловом) земљишту (Нои, Луо, & Сао, 2019). До краја 2017. године, укупна инсталисана снага прве групе пројеката за смањење сиромаштва применом фотонапонских електрана у оквиру „13. Петогодишњег плана за развој соларне енергије (2016–2020)” износила је око 4,18 GW (SolarPower Europe, 2019), од укупно планираних 5,16 GW (China Energy Portal, 2016). У марту 2018. године, донете су мере за управљање фотонапонским електранама за смањење сиромаштва. До краја августа 2018. године, укупна инсталисана снага свих пројеката развијених у оквиру програма за смањење сиромаштва износила је око 15,44 GW, од чега је 13,63 GW припадало мрежним фотонапонским системима. Програмом је обухваћено 2,24 милиона сиромашних домаћинстава (SolarPower Europe, 2019). У априлу 2019. године, издато је обавештење о другој групи пројеката за смањење сиромаштва применом фотонапонских електрана, према којем је планирана изградња 3.961 фотонапонска електрана у сеоским насељима, укупне инсталисане снаге 1,67 GW. Програмом ће бити обухваћено 15 провинција (аутономних региона), односно 165 округа (China Energy Portal, 2019b).

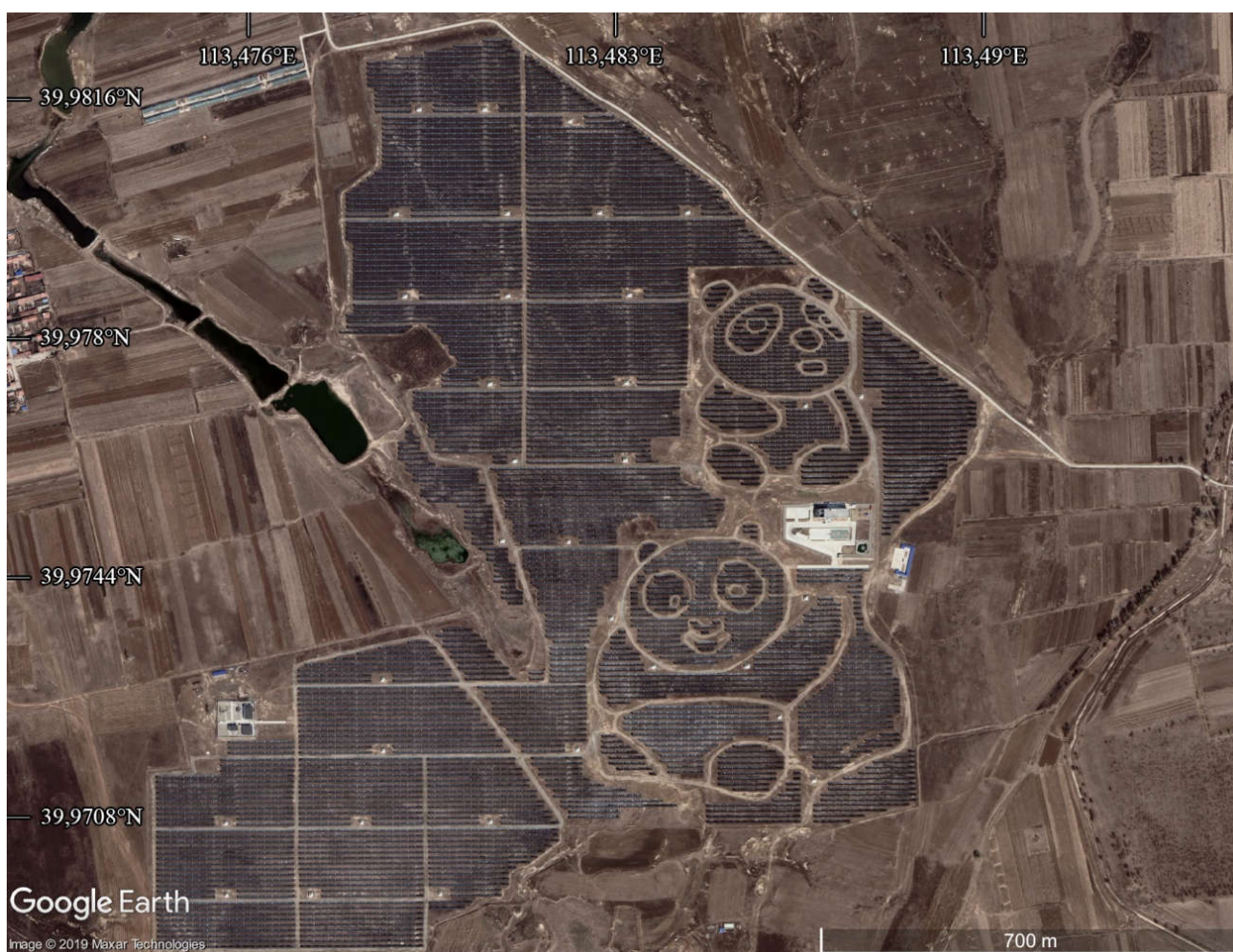
Top Runner Programme представља још један од важних чинилаца развоја фотонапонског тржишта у Кини. Са једне стране, програм је имао за циљ да промовише примену напредне фотонапонске технологије, а са друге, затварање застарелих производних постројења. До краја 2017. године, у оквиру *Top Runner Programme*, одобрено је укупно три пројекта, укупне снаге 12,5 GW (SolarPower Europe, 2019).

Осим што је водећа у свету, према укупној инсталисаној снази фотонапонских система, Кина је по много чему специфична када је реч о изградњи фотонапонских електрана. Највећа соларна електрана у Кини, смештена је на југоисточном рубу пустиње Тенгер, у граду Зонгвеи. Укупна површина фотонапонског индустријског парка износи 43,33 km², и подељена је на четири дела: фотонапонски панели на земљи, фотонапонски панели инсталирани на пољопривредним стакленицима, производни погон фотонапонских панела и простор намењен за потребе туризма (Huang et al., 2018). До краја 2015. године, у оквиру Тенгер соларног парка, изграђено је 45 мрежно повезаних фотонапонских система, укупне инсталисане снаге 1.547 MW (Institute for Energy Economics and Financial Analysis, 2018).

Осим великих фотонапонских електрана на земљи, Кина је позната и по плутајућим фотонапонским електранама. У граду Хуајнан, налази се неколико оваквих електрана, које су изграђене на површини некадашњег рудника угља испуњеног водом. Недавно је на овом месту, изграђена нова плутајућа фотонапонска електрана, инсталисане снаге 70 MW. Електрана је састављена од 52.000 плутајућих елемената на којима се налази 194.700 фотонапонских панела, подељених у 13 блокова. Укупна површина електране износи 63,6 ha, односно 48% водене површине. Плутајући блокови са панелима усидрени су у муљевито-глинасто дно, максималне дубине 14 m. Спирално сидро омогућава стабилност електране која је током године нарушена услед сезонских промена нивоа воде и хидродинамичке активности спољних фактора (ветар, киша, итд.) (Pougan, 2018). Електрана је прикључена на

нови далековод од 110 kV, а очекивана производња енергије, у току прве године рада електране, требало би да износи 77.693 MWh електричне енергије, што је довољно да подмири око 21.000 домаћинстава електричном енергијом (Kenning, 2019). Предности плутајућих фотонапонских електрана огледају се у већој ефикасности фотонапонских модула (због ниже температуре ваздуха изнад водених површина), дужој чистоћи панела (због мањег присуства прашине), једноставнијем прању задрљаних панела (због лако доступне воде), једноставнијем постављању (нема нивелисања или бетонирања земљишта), смањеном штетном испаравњу воде, итд. Код оваквих система постоје и одређени проблеми који су са једне стране везани за одржавање постројења, сидрење и повезивање блокова, као и електричну безбедност и дуговечност опреме, док са друге стране могу проузроковати утицај на животну средину услед смањеног продора светлости.

Компанија *Panda Green Energy*, у септембру 2016. године потписала је уговор са Програмом Уједињених нација за развој (UNDP) о изградњи фотонапонске електране у облику панде, као део акције за подизање свести о одрживом развоју међу младим људима. Изградња фотонапонске електране, планираног капацитета 100 MW, започета је у новембру 2016. године, на локацији југоисточно од града Датунг. У фебруару 2017. године завршена је изградња првих 50 MW, која обухвата површину од 248 ари. Комбинацијом црних панела од монокристалног силицијума и белих панела од танкослојних ћелија обликоване су циновске панде (један од симбола Кине), видљиве из птичје перспективе (Слика 11). Изградњом пуног капацитета електране, процењено је да ће производња „зелене енергије” у наредних 25 година, спречити емисију 2,47 милиона тона угљен-диоксида (United Nations Development Programme, n.d.).

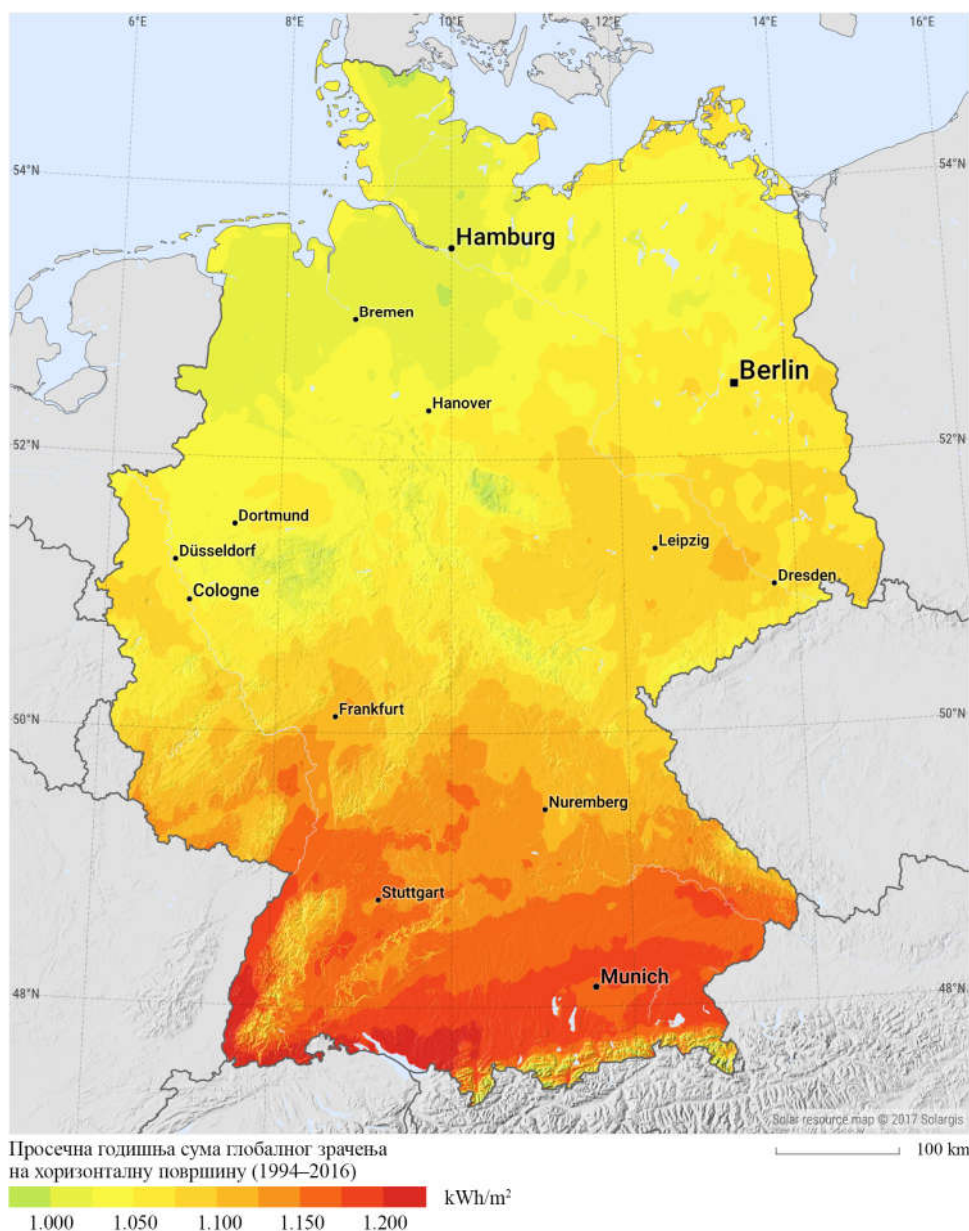


Слика 11. *Datong Panda Power Plant*, Кина (39.975798°N, 113.482959°E). Google Earth Pro 7.3.2.5776 (8 април, 2018). Maxar Technologies 2019. Преузето са <https://www.google.com/earth/versions/#earth-pro>

2.2.2. Немачка

На северу Немачке глобално зрачење на хоризонталну површину је мање од 1.000 kWh/m^2 , док је на југу преко 1.200 kWh/m^2 (Слика 12). Просечно годишње трајање сијања Сунца креће се између 1.300 и 1.900 сати.

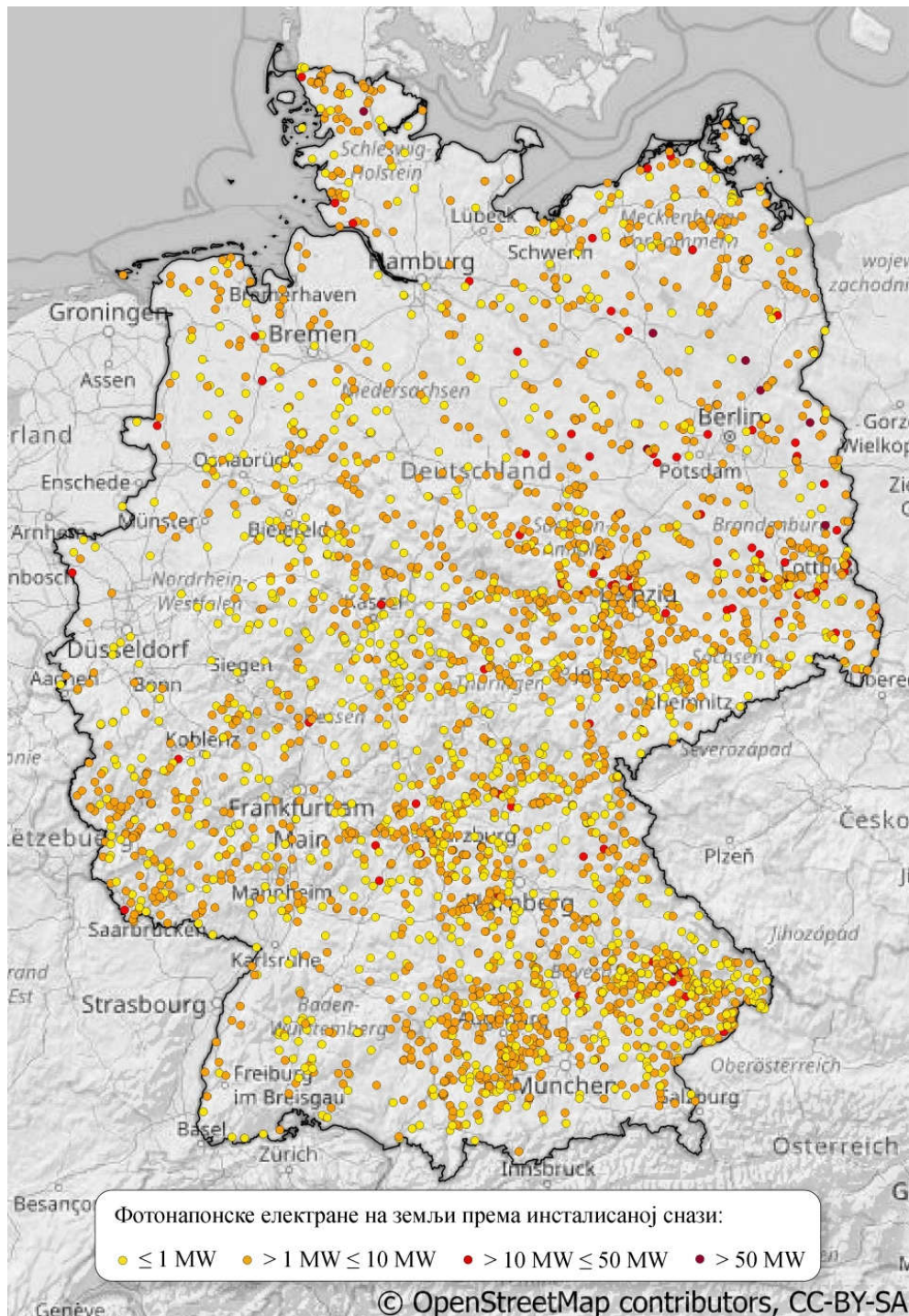
Учешће обновљивих извора у потрошњи електричне енергије бележи константан раст у протеклих неколико година—са око 6%, 2000. године на 38%, 2018. године. Електрична енергија добијена фотонапонском конверзијом сунчевог зрачења износи око 48 TWh, односно 8,7% укупне потрошње електричне енергије у Немачкој, укључујући и губитке у електромрежи (Fraunhofer ISE, 2019).



Слика 12. Соларно зрачење у Немачкој. Модификовано према „Solar resource map”, Solargis, 2017. Презузето са <https://solargis.com>

Захваљујући политици подстицајних откупних цена, донацијама (новчаним подстицајима), повољним кредитима, јавним гаранцијама и активностима на пољу истраживања и развоја, Немачка је успела да постане водећа земља у Европи, када је реч о фотонапонској конверзији сунчевог зрачења. До краја 2018. године у Немачкој је изграђено преко 1,6 милиона фотонапонских електрана, укупне исталисане снаге 45,9 GW (Fraunhofer

ISE, 2019). Eichhorn et al. (2019) napravili su GIS базу просторне дистрибуције 3.256 фотонапонских електрана које су изграђене на земљи, укупне инсталисане снаге 9351 MW (Слика 13).



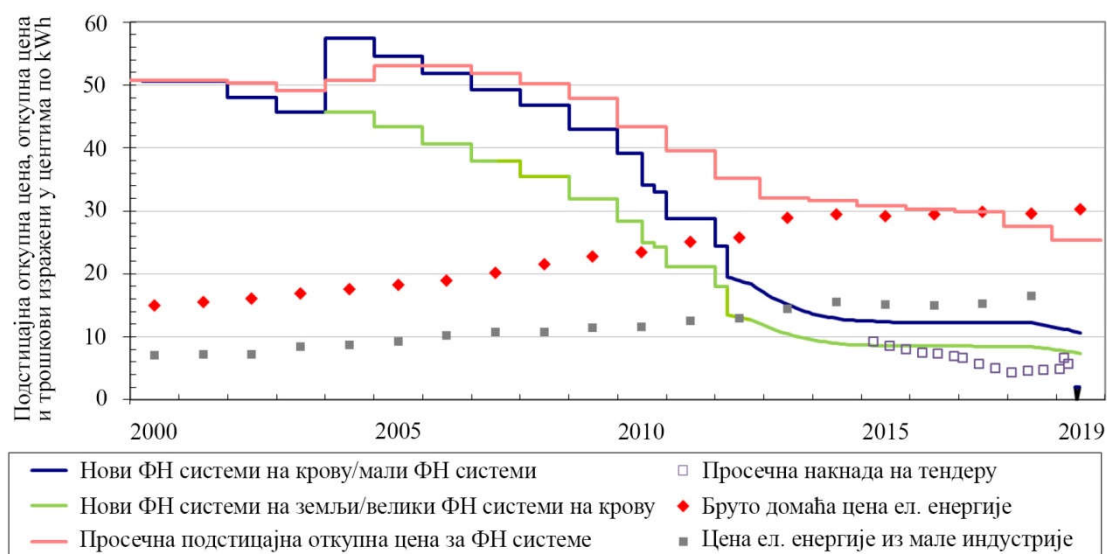
Слика 13. Соларне електране изграђене на земљи (Немачка). Модификовано према “Spatial Distribution of Wind Turbines, Photovoltaic Field Systems, Bioenergy, and River Hydro Power Plants in Germany”, Eichhorn et al., 2019, *Data*, 4(1), Supplementary material. CC BY 4.0. <https://doi.org/10.3390/data4010029>

Закон о напајању електричном енергијом (нем. Stromeinspeisungsgesetz) из 1991. године, представља први облик подстицаја производње енергије из обновљивих извора. Од 1991. до 1995. године имплементиран је програм „Подстицај за 1.000 соларних кровова” путем којег су субвенционисани инвестициони трошкови за кровне фотонапонске системе, у распону од 25% до 50%. Захваљујући овом програму инсталирано је преко 2.000 фотонапонских система повезаних на електромережу, укупне снаге око 5 MW. Године 1999. Немачка влада наставила је

да подстиче инсталирање фотонапонских система, снаге 1 kW и више, дајући ниске каматне кредите у оквиру програма „100.000 соларних кровова”. До краја године инсталирано је око 4.000 система, укупне снаге 10 MW (Ђukanović, 2009). Подстицајне откупне цене за производњу електричне енергије из обновљивих извора уведене су први пут 2000. године, кроз Закон о обновљивим изворима енергије (нем. Erneuerbare-Energien-Gesetz [EEG]), који је измењен неколико пута (2004, 2009, 2012, 2014. и 2017. године).

У EEG (2017) су постављени циљеви, према којима би учешће обновљивих извора енергије у укупној потрошњи електричне енергије, до 2025. године, требало да износи 40–45%, односно 50% до 2030. године и 80% до 2050. године. Системи који производе електричну енергију из обновљивих извора више немају право на подстицајне откупне цене, већ цену одређује тржиште на јавној аукцији, коју организује и прати Савезна федерална агенција за мреже (нем. Bundesnetzagentur). Успешни пројекти добијају уговор у трајању од 20 година за продају произведене електричне енергије по цени коју су понудили на јавној аукцији.

Нови фотонапонски системи инсталисане снаге до 100 kW добијају фиксне подстицајне откупне цене, за разлику од оних са инсталисаном снагом од 100 kW до 750 kW који врше продају произведене електричне енергије путем директног маркетинга. Системи снаге преко 750 kW не могу да користе произведену електричну енергију за сопствене потребе, већ учествују на тендерима за продају електричне енергије (Fraunhofer ISE, 2019). Од 2017. године, у оквиру 3 тендерска позива биће доступно укупно 600 MW. У фебруару 2018. године, на тендеру је понуђена најмања средња подстицајна откупна цена до сада—4,33 евроцента по kWh (Слика 14). За мале и средње фотонапонске системе (до 750 kW) који се налазе на објектима или су интегрисани са њима, предвиђено је годишње повећање од 1.900 MW (Agora Energiewende, 2016). Уколико се фотонапонски системи налазе на објектима или су интегрисани са објектима (нпр. на крововима, фасадама, баријерама за заштиту од буке, и др. објектима), а у зависности од њихове инсталисане снаге, могу добити подстицајну откупну цену од 8,9 до 12,7 евроценти по kWh (§ 48 пар. 1 и 2 EEG, 2017) умањену за 0,4 евроценти по kWh (§ 53 бр. 2 EEG, 2017). Фотонапонске електране на земљи могу да користе подстицајне откупне цене од 8,91 евроценти по kWh, уколико су изграђене у складу са наменом земљишта према локалном развојном плану (§ 48 пар. 1 бр. 2-3 EEG, 2017). Уколико је план допуњен или донет након 1. септембра 2003. године, онда су квалификоване само фотонапонске електране на одређеним парцелама, као што су оне дуж аутопута или железничке пруге (на удаљености 110 m од спољне ивице пута), претходно изграђене и оне које су предвиђене за пренамену (§ 48 пар. 1 бр. 3 EEG, 2017).



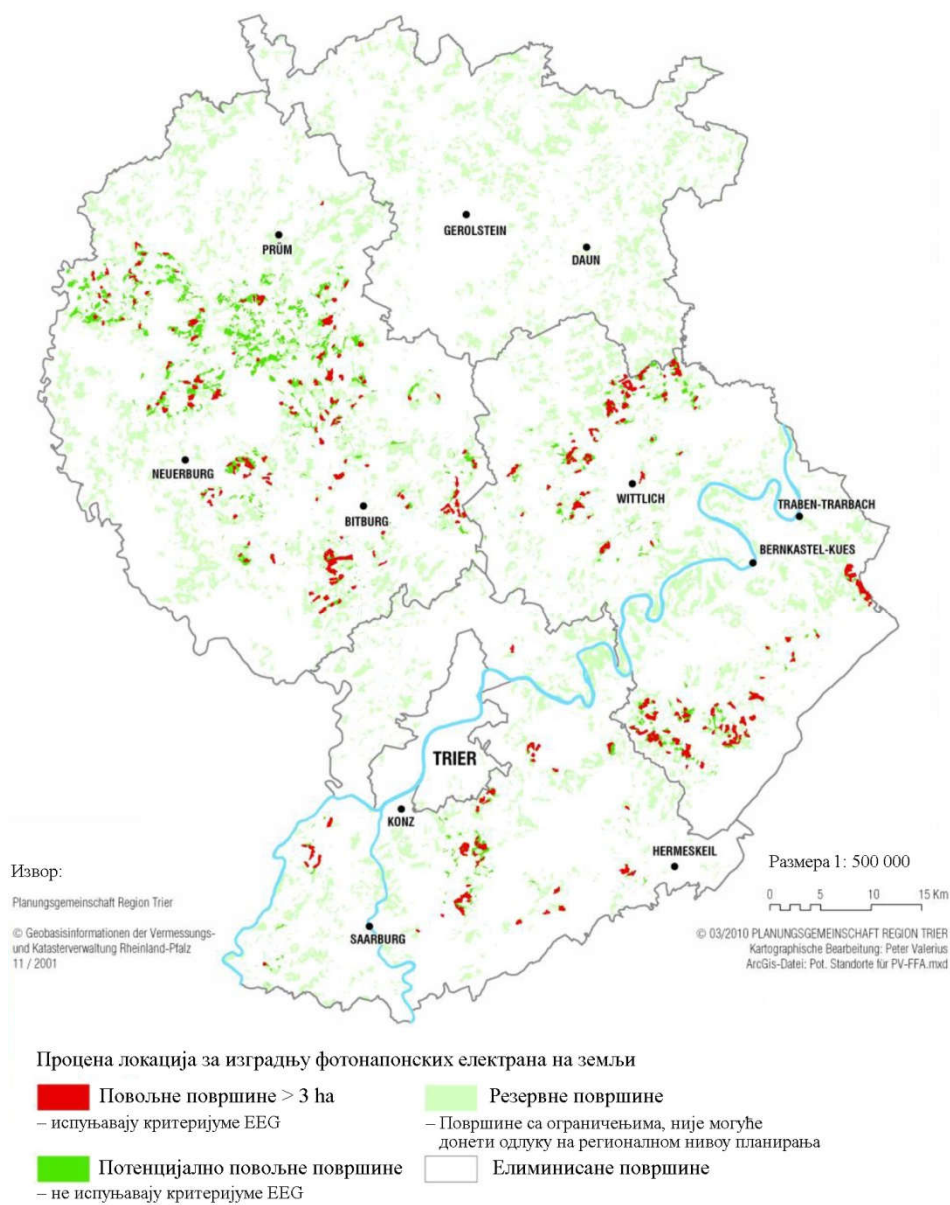
Слика 14. Подстицајне откупне цене за електричну енергију произведену из фотонапонских (ФН) система на дан пуштања у погон, просечна накнада на тендерима и цена електричне енергије. Модификовано према *Recent Facts about Photovoltaics in Germany* (стр. 10), Fraunhofer ISE, 2019. Преузето са <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf>

Основна стопа по којој ће се смањивати подстицајна откупна цена износи 0,5% сваког месеца, при чему ће нове електране добити ону подстицајну откупну цену која буде важила на дан пуштања у погон, а која ће се примењивати за цео подстицајни период од 20 година. Уколико стварни развој соларних система надмаши постављени циљ од 1.900 MW годишње, подстицајне откупне цене ће се смањивати по месечној стопи од 1% до 2,8% (§ 49 пар. 2 EEG, 2017). У случају да стварни развој соларних система не достигне постављен циљ подстицајне откупне цене ће се смањивати по месечној стопи од 0,25% до 0%, док ће услед дефицита већег од 800 MW расти по стопи за 1,5%, односно 3,5% уколико дефицит буде већи од 1200 MW (§ 49 пар. 3 EEG, 2017).

Регионални план управног округа Трир пружа добру основу за коришћење соларне енергије, имајући у виду да су планом предвиђене површине које су повољне за развој фотонапонских електрана на земљи. Ове површине нису у сукобу са другим наменама или просторним функцијама због чега су од приоритетног значаја за изградњу фотонапонских електрана и требало би им посветити више пажње на нижем нивоу планирања, тј. општинске планове и планове коришћења земљишта. Разматране су обрадиве, травнате и друге површине, минималног просторног обухвата 10 ha, лоциране у појасу који се простире 2 km са обе стране постојећих далековаода и 3 km од трафостаница. Приликом просторне анализе коришћени су следећи критеријуми за елиминацију (Planungsgemeinschaft Region Trier, 2014):

- *Заштита биљних и животињских врста, биотопа, пејзажних и рекреацијских карактеристика предела:* национална и регионална мрежа биотопа (језгра и коридори), међународна еколошка мрежа заштићених подручја на подручју Европске уније (NATURA 2000), ИВА, постојећи и планирани резервати природе, споменици природе, паркови природе и др. заштићена природна добра, као и културно-историјски предели, важна рекреативна и авантуристичка подручја, итд.;
- *Очување водних ресурса и заштита од вода:* текуће воде, плавне површине стајаће воде;
- *Планирање коришћења земљишта:* пољопривредне површине (веома квалитетно и висококвалитетно пољопривредно земљиште), површине за експлоатацију сировина; површине за коришћење енергије ветра; индустријске комерцијалне површине, шуме, насеља са заштитним појасом ширине 200 m, стамбене зоне са појасом ширине удаљености до 500 m, саобраћајне површине (путеви, аеродроми и сл.), посебна подручја (као што су кампови, викенд-насеља, итд.), споменици културе, итд.

Резултат просторне анализе је карта на којој су приказане четири категорије повољности површина за изградњу фотонапонских електрана: повољне (веће од 3 ha), потенцијално повољне, резервне и елиминисане површине (Слика 15). У погодне површине (веће од 3 ha) спадају оне које нису елиминисане према претходно наведеним критеријумима, а које су у складу са EEG, односно спадају у обрадиво земљиште квалификовано за подстицајне откупне цене. Травнате површине према EEG немају право на подстицајне откупне цене, због чега су категорисне као потенцијално повољне површине, јер у будућности могу постати повољне за изградњу фотонапонских електрана. Површине које се чувају као резерве су све остале површине које нису елиминисане претходним критеријумима. У последњу категорију спадају површине које су елиминисане због неке друге приоритетне намене или не задовољавају критеријуме просторног обухвата и локације (Institut für angewandtes Stoffstrommanagement, 2010).

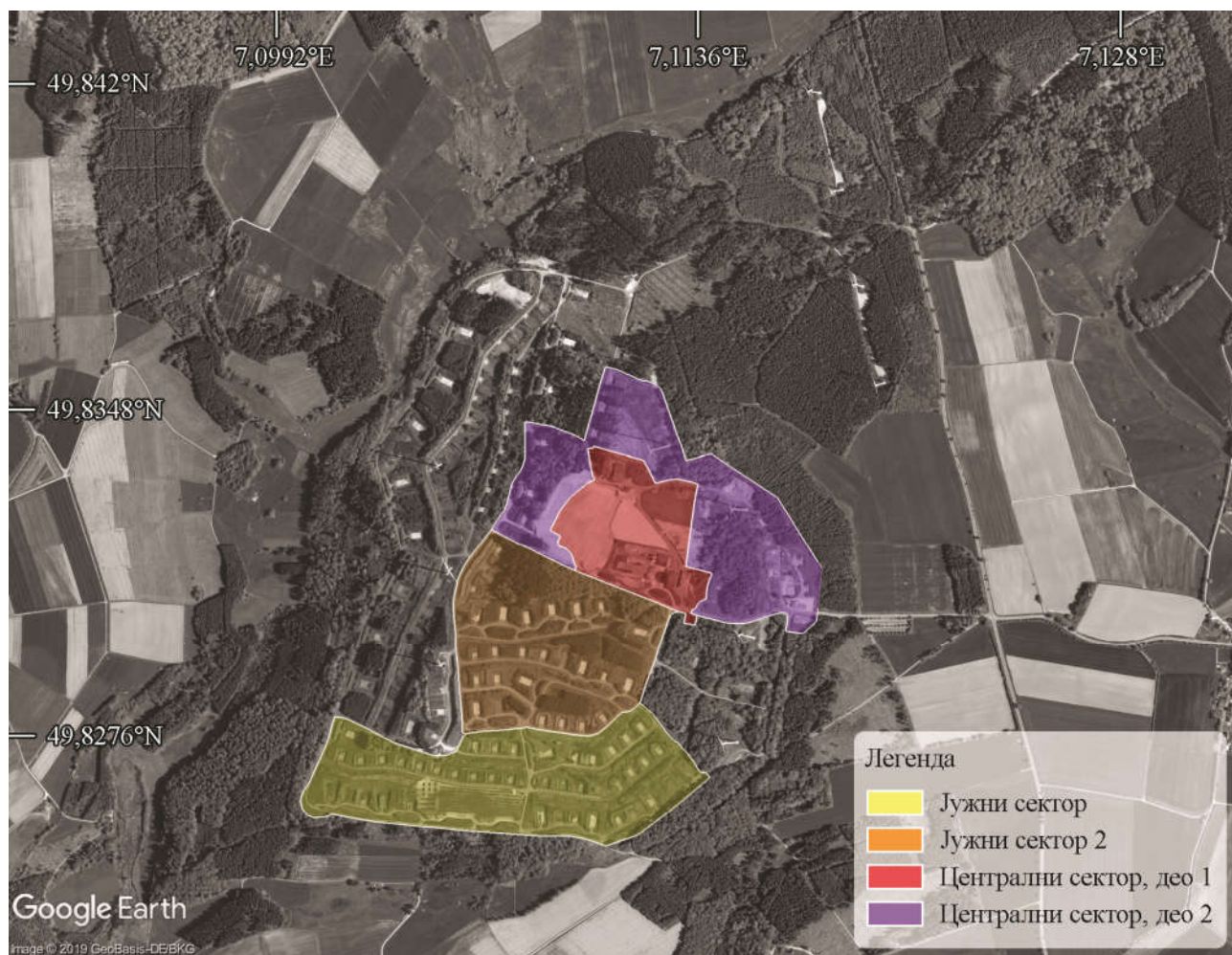


Слика 15. Потенцијалне локације за изградњу фотонапонских електрана на земљи, територија управног округа Трир (Немачка). Модификована према Erarbeitung von Handlungsempfehlungen zur strategischen Einbindung regenerativer Energien zur Fortschreibung des Energiekonzeptes für die Region Trier im Rahmen des Modellvorhabens der Raumordnung (MORO) - Abschlussbericht - (стр. 76), Institut für angewandtes Stoffstrommanagement, 2010. © 2001 Geobasisinformationen der Vermessungs- und Katasterverwaltung Rheinland-Pfalz; © 2010 Planungsgemeinschaft Region Trier. Преузето са <https://d-nb.info/1081251255/34>

Енергетски предео Морбах (нем. Energielandschaft Morbach), представља добар пример коришћења „браунфилд” (енг. brownfield) локације за потребе производње енергије из више различитих врста обновљивих извора и као нове туристичке атракције за љубитеље екотуризма. Браунфилд је термин који се користи за описивање земљишта „које је раније изграђено и коришћено, да би у међувремену, услед економско-финансијских или других разлога било напуштено” (Министарство животне средине, рударства и просторног планирања & РАПП, 2011). Управа општине Морбах је 2001. године дошла на идеју да формира енергетски парк на месту некадашњег складишта муниције. Пројекат је наишао на широку подршку локалног становништва и надлежних органа.

За потребе овог пројекта урађено је неколико обавезујућих планова коришћења земљишта (нем. Bebauungsplan [BNP]), од којих су за коришћење соларне енергије најзначајнији: „Енергетски предео Морбах—јужни сектор” (Immissionsschutz, Städtebau, Umweltplanung [ISU], 2005) и „Енергетски предео Морбах—јужни сектор, део 2” (ISU, 2006а), „Енергетски предео Морбах—централни сектор, део 1” (ISU, 2006б), „Енергетски

предео Морбах—централни сектор, део 2” (ISU, 2012) (Слика 16). У плановима је одређен: (1) тип и обим коришћења земљишта; (2) индекс заузетости (нем. Grundflächenzahl [GRZ]); (3) индекс изграђености (нем. Geschossflächenzahl [GRF]); (4) максимална дозвољена висина, (5) тип конструкције, (6) грађевинска линија, (7) саобраћајне површине, (8) површине и мере за заштиту, одржавање и развој земљишта, природе, предела; и др параметри.



Слика 16. BNP у Енергетском пределу Морбах, Немачка (49.829813°N, 7.109197°E). Google Earth Pro 7.3.2.5776 (12 децембар, 2010). GeoBasis-DE/BKG, 2019. Преузето са <https://www.google.com/earth/versions/#earth-pro>

Према Уредби о коришћењу земљишта (нем. Baunutzungsverordnung [BauNVO]) у остале површине посебне намене (нем. Sonstige Sondergebiete [SO]) убрајају се, између осталог, и површине за објекте намењене истраживању, развоју или коришћењу обновљивих извора енергије, попут енергије ветра и соларне енергије. Тако нпр. у BNP-у за „јужни сектор” се разликују две зоне SO (ISU, 2005):

- Зона SO1 има површину 4,23 ha, и намењена је за изградњу фотонапонских система на бетонираним површинама. На овим површинама дозвољена је изградња објеката, попут складишта за биомасу или држање животиња за испашу, које истовремено представљају носећу конструкцију за фотонапонске системе. У екстремним временским условима, односно периодима јаког сунчевог зрачења и обилних падавина, ови објекти могу служити и као привремена заштита за посетиоце. GRZ износи 100%, јер је земљиште већ прекривено бетоном и асфалтом.
- Зона SO2 обухвата 5 ha, отворених (небетонираних) површина, на којима је дозвољена само изградња слободно стојећих фотонапонских електрана и објеката који су неопходни за њихов рад, нпр. разводна постројења или трафостанице. За ову зону GRZ износи 35%.

Првобитним планом за „јужни сектор 2”, поред претходне две зоне, постојала је и зона SO3, намењена за тзв. ротирајуће соларне системе—хелиостате (ISU, 2006a), али је са последњим изменама плана она укинута. Са новим изменама плана, зона SO3 пренамењена је у зону SO2, при чему је GRZ у старој и новој зони SO2 смањен са 35% на 25% (ISU, 2019).

За сваку SO зону одређена је максимална висина конструкције од 9 m, с тим да је у плановима за централни сектор максимална висина 12 m. Зона SO1 у плановима за централни сектор има нешто мањи GRZ у односу на планове за јужни сектор, 70% (у делу 1) и 85% (у делу 2) (ISU, 2006b, 2012).

Процењен ниво буке за јужни сектор 2 је мањи него у северном делу Енергетског предела Морбах, јер је у овом сектору већи акценат стављен на коришћење соларне енергије, нарочито у зонама SO1 и SO2. Процена осетљивости на буку заснива се на сметњи постојећих и планираних ветротурбина у северном делу Енергетског предела и испитивањима нивоа оптерећености планираног насеља у том делу плана. Како би се омогућила компатибилност са другим наменама у околини, дефинисани су дозвољени нивои буке (нем. immissionswirksame flächenbezogene Schallleistungspegel [IFSP]) у границама планског подручја. У зонама SO1 и SO2 важе следећи нивои буке (ISU, 2006a, 2019): IFSP током дана (од 6 до 22 h) = 65 dB (A)/m²; и IFSP током ноћи (од 22 h до 6 h) = 60 dB (A)/m². Као мера предострожности за пословне просторе, салоне (гостињске собе), учионице и др. изводе се пасивне мере звучне изолације за заштиту од спољне буке.

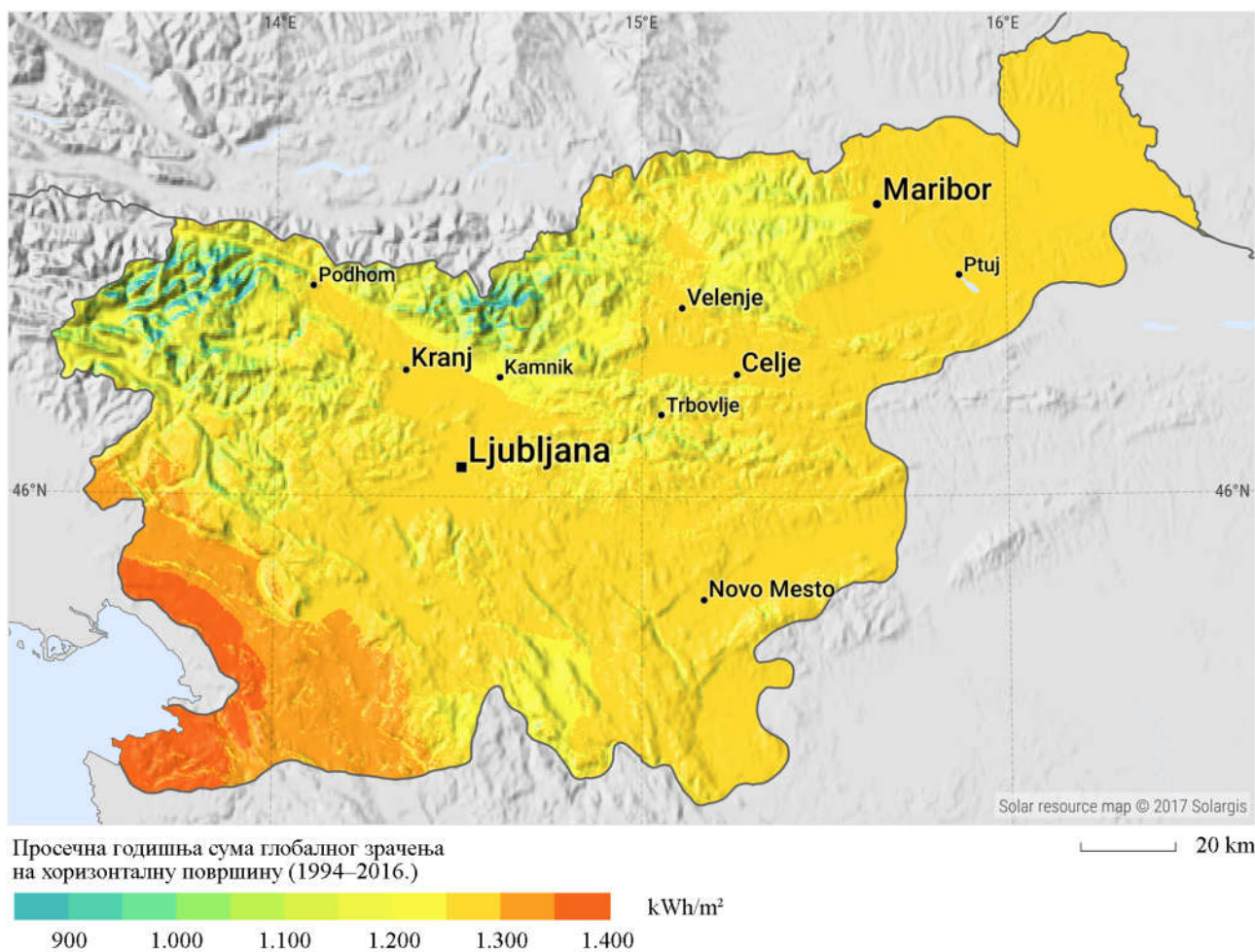
У оквиру енергетског парка налази се 14 ветротурбина (укупне снаге 28 MW), 40.000 m² фотонапонских панела (укупне снаге 4,2 MW), и електрана на биогас (електричног капацитета 500 kW и 700 kW топлотног капацитета). Сировине које се користе за производњу топлотне и електричне енергије у биоелектрани прикупљају се са 15 фарми у региону. Целокупна произведена електрична енергија, која на годишњем нивоу износи око 3,8 милиона kWh, испоручује се у електромрежу, док се око 5 милиона kWh топлотне енергије користи за фабрику пелета, која се налази у оквиру енергетског парка. Годишња производња ветротурбина креће се од 30 до 40 милиона kWh, што је довољно електричне енергије за око 12.000 домаћинстава. У фебруару 2018. године одобрена је замена седам ветротурбина, снажијим и већим турбинама марке Enercon E-141 EP4. Фотонапонски системи су се развијали поступно. Најпре је 2002. године компанија Juwi инсталирала 3.072 модула на земљи, укупне снаге 489.91 kW. Године 2008. инсталирано је нових 445 kW фотонапонских панела, јужно од постојећег фотонапонског поља, као и огледно фотонапонски систем са механизмом за праћење кретања Сунца, снаге 135 kW. Исте године на крову фабрике пелета инсталирани су фотонапонски панели од танкослојних ћелија, укупне снаге 30 kW. Наредно проширење догодило се 2011. године када је инсталирано више различитих типова панела (монокристални, поликристални, танкослојни и панели који користе нано технологију) укупне снаге око 1 MW. У 2015. години завршена је изградња система од поликристалних фотонапонских панела, укупне снаге 2,1 MW, док је крајем 2018. године планирано ново проширење (“EnergieLandschaft Morbach”, n.d.).

Енергетски предео Морбах, временом је постао права туристичка атракција за све оне који желе да искусе „одржив” начин живота, науче нешто ново у вези примене обновљивих извора енергије, и понесу практична знања. Захваљујући обиласцима у периоду од 2003. до 2017. године, Енергетски предео Морбах посетило је преко 50.000 туриста из 115 земаља (“EnergieLandschaft Morbach”, n.d.).

2.2.3. Словенија

Према просторној расподели годишњих вредности енергије глобалног сунчевог зрачења на хоризонталну површину (1994–2016. године) у Словенији, најниже вредности (< 900 kWh/m²) су заступљене у деловима Јулијских Алпа, а највише (1.400 kWh/m²) у приморском делу земље (Слика 17). Највеће годишње вредности инсолације (1981–2010) у Словенији имају приморски

делови (преко 2.350 часова), док поједини делови у унутрашњости територије остварују вредности испод 1.850 сати (Agencija Republike Slovenije za okolje, 2016).



Слика 17. Соларно зрачење у Словенији. Модификовано према „Solar resource map”, Solargis, 2017. Презето са <https://solargis.com>

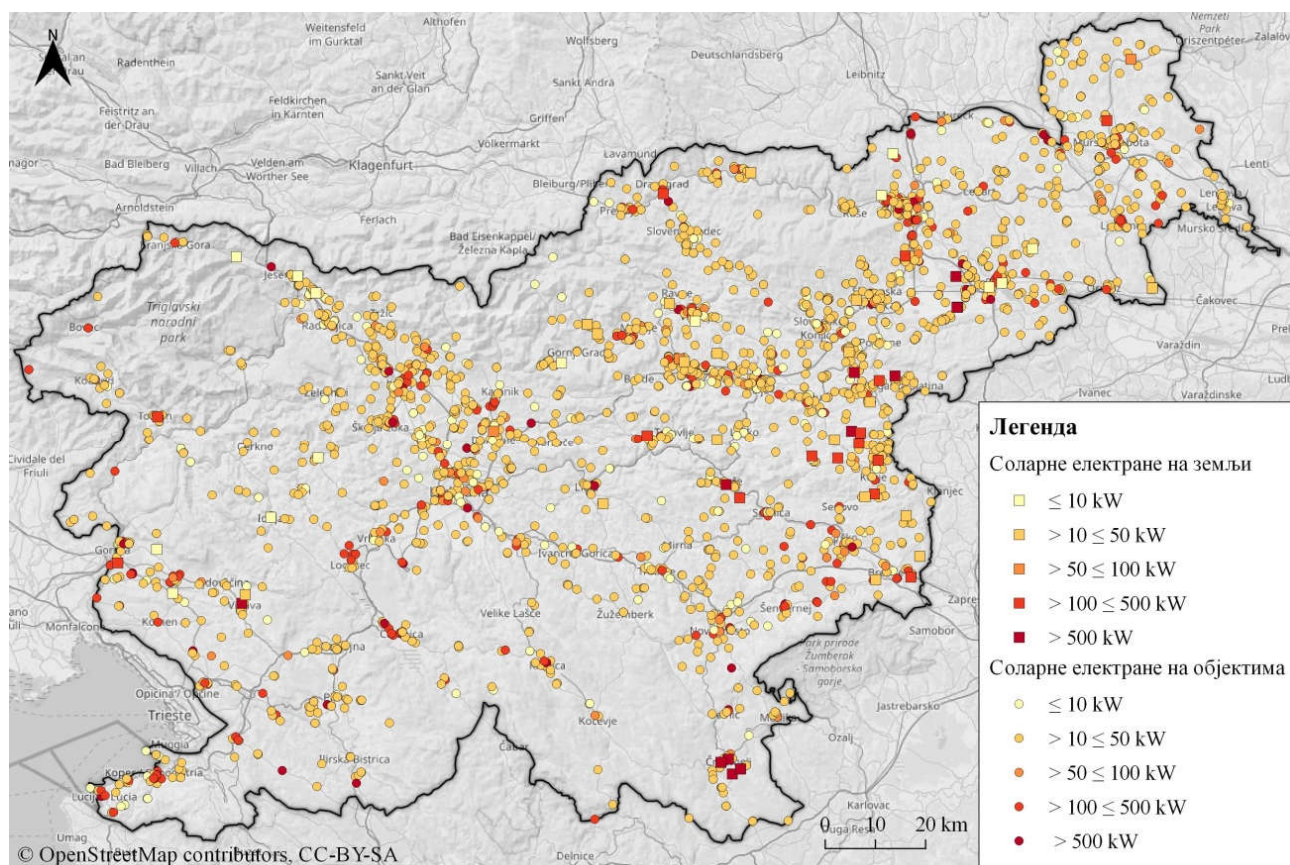
Словенија планира да повећа учешће обновљивих извора енергије у бруто финалној потрошњи енергије до 2020. године на ниво од 25%, односно 10,5% у сектору транспорта, 30,8% у сектору грејања и хлађења, и 39,3% у сектору електричне енергије (Ministrstvo za infrastrukturo, 2017). Према подацима из 2017. године учешће обновљивих извора енергије у бруто финалној потрошњи енергије износило је 21,55%, док је у сектору електричне енергије износило 32,43%, од чега 2% чини електрична енергија из соларних електрана (Statistični urad Republike Slovenije, n.d.).

У Словенији постоје две врсте подстицаја за производњу електричне енергије из обновљивих извора, које се међусобно искључују: (1) подстицајне откупне цене (слов. zagotovljen odkup) и (2) тзв. „подстицајне премије” (слов. obratovalna podpora). Произвођачи електричне енергије из обновљивих извора у систему подстицајних премија остварују приход од продаје произведене електричне енергије директно на тржишту, а уз то добијају додатан износ, односно премију. Агенција за енергетику Словенје (слов. Agencija za energijo) објавила је јавни позив за пријаву пројеката који се односе на постројења за производње електричне енергије из обновљивих извора инсталисане снаге до 10 MW, са изузетком за ветроелектране које могу да буду до 50 MW. Добитници на тендеру изградиће своја постројења у року од три године од дана пријема одлуке, а подстицајне премије добијаће у периоду од 15 година. Постројења која су прикључена на електро мрежу пре 22. септембра 2014. године имају могућност да одаберу један од понуђених начина подстицаја, док су подстицајне премије

намењене за добитнике тендера, односно постројења прикључена након 22. септембра 2014. године (Rajković, 2019).

Осим тендера у Словенији су доступни и други механизми за подстицање производње енергије из обновљивих извора, попут позајмица (кредита), субвенција, сертификата о пореклу и нето-размене електричне енергије за стамбене и индустријске фотонапонске системе. Фонд за животну средину „Еко склад“ путем тендера нуди повољне кредите (са ниском каматном стопом) и субвенције за пројекте у области енергетске ефикасности и обновљивих извора енергије. Министарство за инфраструктуру Републике Словеније путем тендера, који се расписује 2–3 пута месечно, додељује субвенције, државну помоћ (регионална помоћ, помоћ малим и средњим предузећима) и помоћ „de minimis“, како би покрили поједине трошкове који су везани за коришћење обновљивих извора енергије. Субвенције износе највише 50% инвестиционих трошкова, док државна помоћ и помоћ „de minimis“ до 30% (Rajković, 2019). Нето размена је механизам за подстицање који подразумева једнаку вредност куповне и продајне цене у оквиру електродистрибутивног система, чиме су створени услови да потрошачи/произвођачи плате само разлику између произведене и потрошене енергије.

Прва фотонапонска електрана у Словенији изграђена је 2001. године, на крову једне зграде у Љубљани, укупне инсталисане снаге 1,1 kW. На територији Словеније је почетком маја 2019. године, у систему за подстицај, регистровано 3.389 фотонапонских електрана, укупне инсталисане снаге 259,5 MW. Реч је о микро (< 50 kW) и малим фотонапонским електранама (< 1 MW), при чему је 98% њих изграђено на објектима (Слика 18). Највећи број фотонапонских електрана изграђен је 2012. године (1.477), када је додато око 122,4 MW (PVportal, 2019).



Слика 18. Соларне електране према месту изградње и њихове инсталисане снаге у Словенији.

Извор податка приказаних на карти представља ГИС апликација „Atlas trajnostne energije“, Borzen, n.d.

Преузето са <http://borzen.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=9a8d05accff4a908f66de6958c9a3bc>

Компанија Borzen (<https://www.borzen.si/en>) има задатак да промовише развој словеначког тржишта електричне енергије и механизма у складу са смерницама Европске

уније (ЕУ), доприносећи тако правилном функционисању електроенергетског система, усклађивању словеначког и европског законодавства, као и интеграцији словеначког тржишта електричне енергије у јединствено европско тржиште електричне енергије. С тим у вези, активности компанија су усмерене ка подстицању коришћења обновљивих извора и ефикаснијој употреби енергије. Компанија је задужена да води Регистар примаоца подстицаја (слов. Register prejemnikov podpore). Портал компаније Borzen (2019) „Одрживе енергије” (слов. Trajnostna energija) имплементиран је са циљем да се обједине све информације о енергетској ефикасности и о обновљивим изворима енергије у Словенији. У оквиру портала развијена је ГИС апликација Атлас одрживе енергије (слов. Atlas trajnostne energije) (n.d.) која омогућава складиштење и просторну визуелизацију података о постројењима за производњу електричне енергије из обновљивих извора. Сврха апликације је да помогне у процени укупног енергетског потенцијала и енергетике у Словенији. Пројекат ENGIS (слов. Geografski informacijski sistem za področje obnovljivih virov energije) (n.d.) представља још једну ГИС апликацију развијену за потребе прикупљања података и праћење развоја обновљивих извора енергије у Словенији.

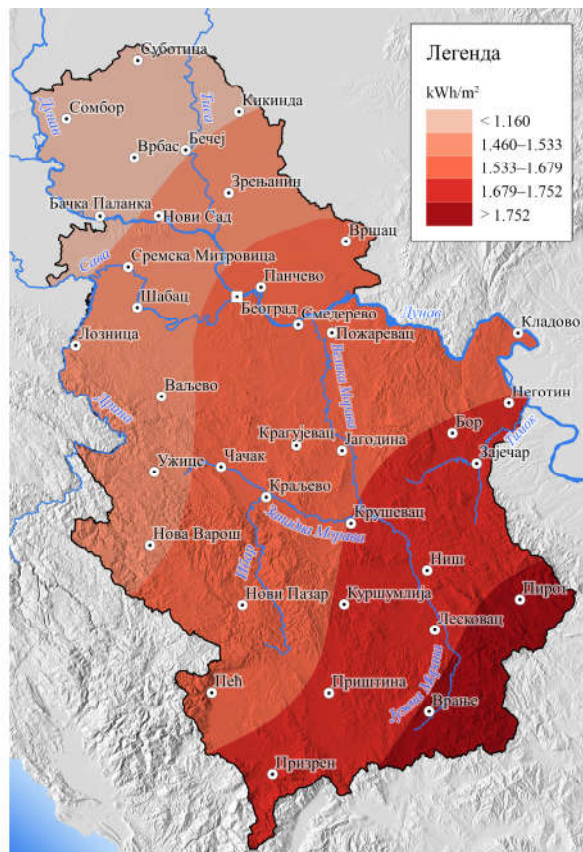
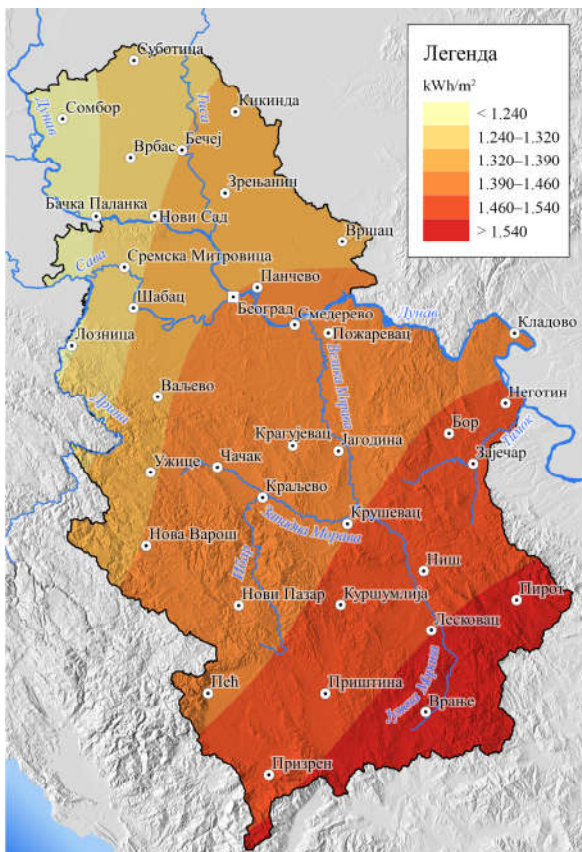
Општина Кидричево, у источном делу Словеније, има добар потенцијал за коришћење соларне енергије, јер се енергија глобалног сунчевог зрачења на хоризонталну површину креће у интервалу од 1.222 kWh/m² до 1.250 kWh/m², те спада у ред надпросечних општина према количини примљене соларне енергије (Lokalna energetska agentura & Občina Kidričevo, 2010). На месту напуштене депоније црвеног муља фабрике алуминијума Талум, у општини Кидричево, до сада је изграђено шест фотонапонских електрана, од којих свака има снагу око 1 MW. Прва фотонапонска електрана „Tasolar” на овој локацији изграђена је 2009. године, и састоји се од 4.545 поликристалних фотонапонских панела, снаге 220 W. Панели су постављени у 32 реда и нагнути су под углом од 32°, при чему се у сваком реду налазе по три микро инвертора немачког произвођача „SMA Solar Technology” који служе за претварање једносмерне у наизменичну струју. По четири реда панела спојена су на заједнички разделни ормарић, одакле два кабла воде до трансформаторске станице, напонског нивоа 20/0,4 kV, односно снаге 1.000 kVA. Укупна вредност инвестиције износила је 3,6 милиона евра, при чему ће загарантована откупна цена електричне енергије износити 0,28998 евра по киловат часу, за период од 15 година. Остварена производња електричне енергије током 2012. године износила је 1.050 MWh (EnergyRegion, 2014).

2.3. Стање и перспективе развоја фотонапонских система у Србији

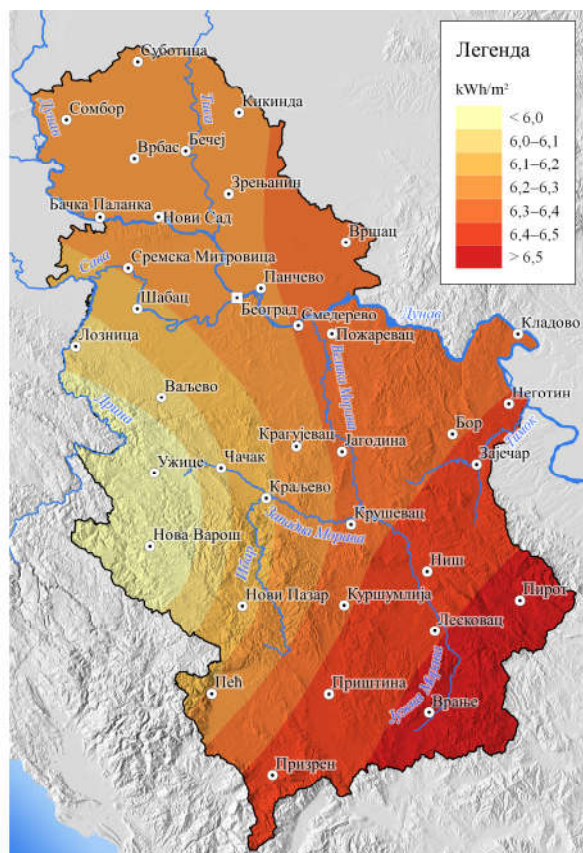
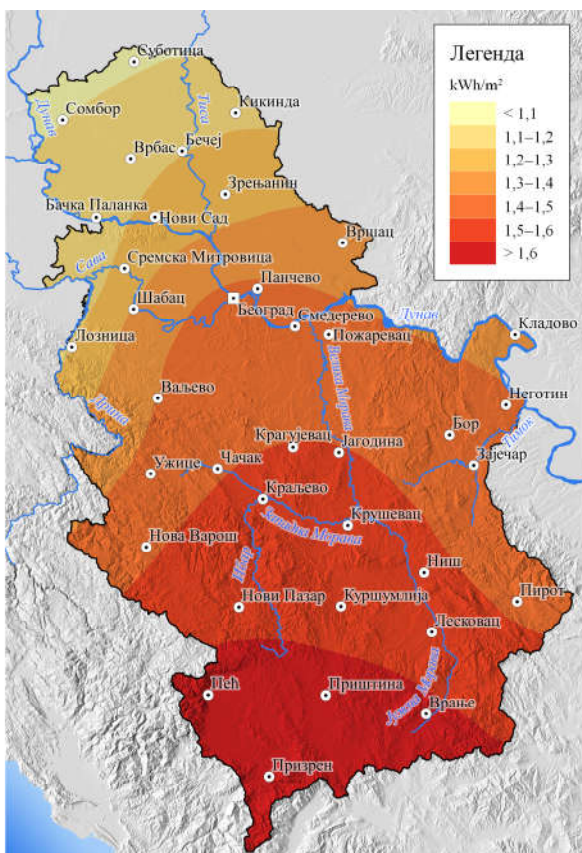
2.3.1. Потенцијал Сунчевог зрачења у Србији

Соларно зрачење у Србији је, за око 40%, веће од европског просека (Stamenić, 2009). Просечан 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, Радовановић, Станојевић, Пецељ, & Николић, 2017).

Према Студији коју је израдио IMSI (2004), у северозападном делу Србије процењене су најниже годишње вредности енергије глобалног зрачења на хоризонталну површину (мање 1.240 kWh/m²), док су највише (веће 1.540 kWh/m²) на југоистоку Србије, при чему просечна вредност за целу територију Србије износи 1.400 kWh/m² (Слика 19, десно). Оријентацијом фотонапонских панела ка југу и под углом нагиба од 30°, прилив енергије глобалног зрачења је већи и креће се у интервалу од < 1.460 kWh/m² до > 1.752 kWh/m² (Слика 19, лево).



Слика 19. Годишња енергија глобалног зрачења на хоризонталну површину (лево) и на површину оријентисану према југу, под углом нагиба од 30° (десно). Модификовано према *Студија енергетског потенцијала Србије за коришћење енергије сунчевог зрачења и ветра* (стр. 190–191), IMSI, 2008.



Слика 20. Просечне дневне вредности енергије глобалног зрачења на хоризонталну површину у јануару (лево) и јулу (десно). Модификовано према *Студија енергетског потенцијала Србије за коришћење енергије сунчевог зрачења и ветра* (стр. 185–186), IMSI, 2008.

Унутар годишње расподеле просечне дневне енергије глобалног зрачења на хоризонталну површину показује да су у периоду од априла до септембра вредности изнад просека, са максимумом у јулу. Током лета облачност је најизраженија над Динарским планинама, па су дневне вредности енергије глобалног зрачења у овом делу Србије мање од 6 kW/m^2 , док на југоистоку достижу преко $6,6 \text{ kW/m}^2$ (Слика 20, десно). У јануару, вредности просечне дневне енергије глобалног зрачења на хоризонталну површину крећу се од $< 1,1 \text{ kW/m}^2$ на северу Србије, до $> 1,6 \text{ kW/m}^2$ на крајњем југу Србије (Слика 20, лево).

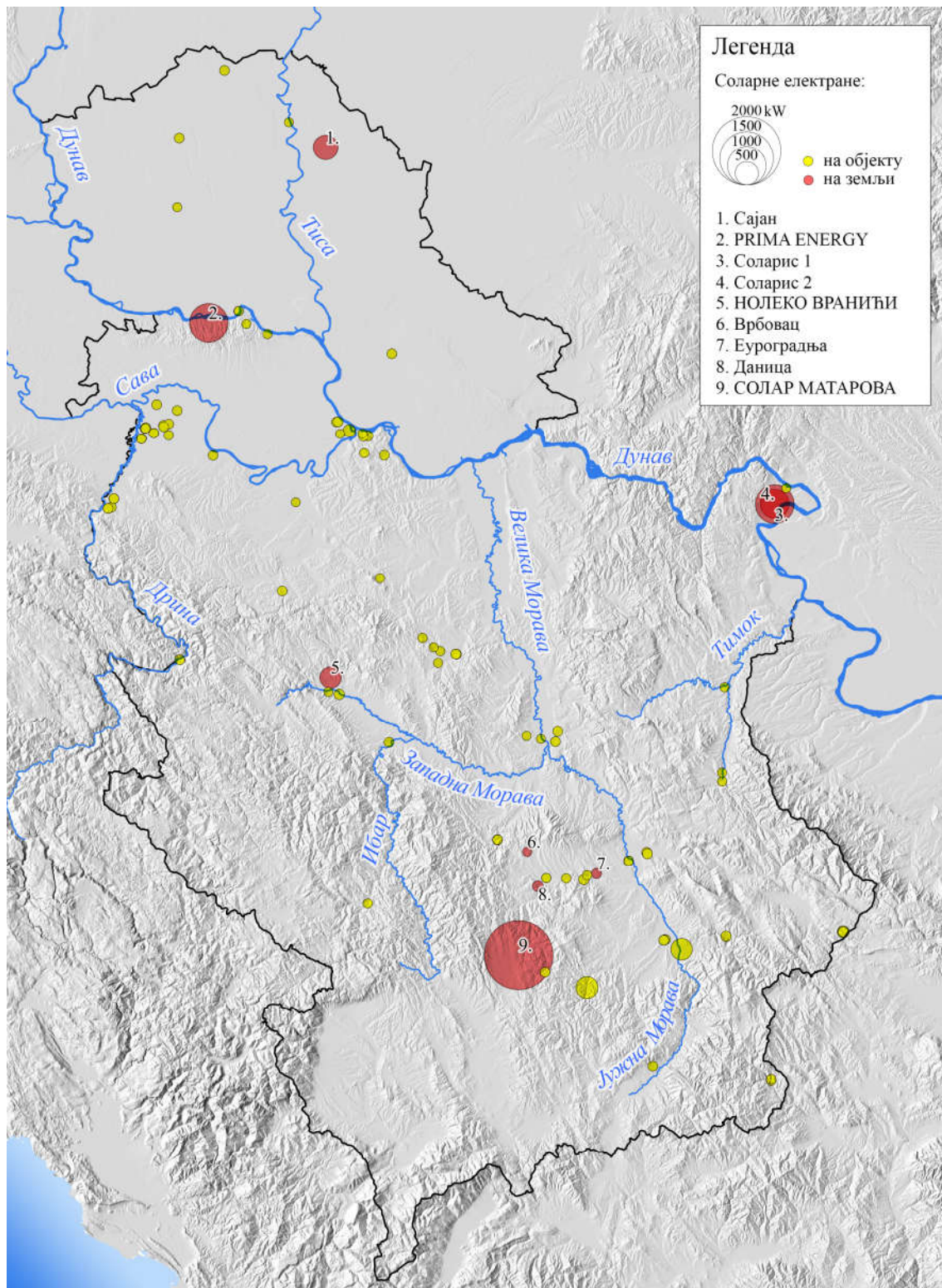
Према Стратегији развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године („Службени гласник РС“, број 101/2015), укупан технички расположив потенцијал обновљивих извора енергије у Србији је процењен на 5,65 Mtoe годишње, при чему енергија Сунца учествује са 4%. Коришћење енергије Сунца за производњу електричне енергије процењено је на основу постојећег капацитета електроенергетског система Републике Србије да прихвати енергију из соларних електрана, укупног капацитета 450 MW, односно укупну годишњу производњу од 540 GWh.

2.3.2. Анализа стања постојећих фотонапонских система у Србији

Србија се, ратификацијом Уговора о оснивању Енергетске заједнице, 2006. године, правно обавезала да ће примењивати директиве које се односе на обновљиве изворе енергије. Тако је, у складу са Директивом 2009/28/EЗ и Одлуком Министарског савета Енергетске заједнице, предвиђено да Србија повећа учешће обновљивих извора енергије у бруто финалној потрошњи електричне енергије са 21,2% у 2009. години, на 27% до 2020. године, при чему би учешће у сектору електричне енергије требало да износи 36,6%. За потребе остваривања овог циља Србија је донела НАПОИЕ, према којем је планирано отварање нових постројења за производњу електричне енергије из обновљивих извора енергије до 2020. године, укупне инсталисане снаге 1092 MW. Планиран капацитет за изградњу соларних електрана од 10 MW, требало би да обезбеди 0,4% електричне енергије из обновљивих извора (Министарство енергетике, развоја и заштите животне средине, 2013).

У Србији је до јуна 2019. године изграђено 106 соларних електрана укупне инсталисане снаге 8,81 MW које имају статус повлашћеног произвођача електричне енергије, као и једна соларна електрана, инсталисане снаге 425 kW, која има статус произвођача електричне енергије из обновљивих извора енергије. Најбројније су оне на објектима до 30 kW (87), затим следе соларне електране на објектима од 30 kW до 500 kW (11), док је девет соларних електрана изграђено на земљи (Слика 21). У Регистру које води Министарство рударства и енергетике (2019), статус привременог повлашћеног произвођача има једна соларна електрана на објекту (ФЛК Солар Топлица 1), док седам соларних електрана, од којих су две на земљи (БОЈНИК 1-ДОМИТ, БОЈНИК 2-ДОМИТ), на основу привременог статуса, није у року стекло статус повлашћеног произвођача електричне енергије (Министарство рударства и енергетике, 2019).

Укупна инсталисана снага соларних електрана на земљи које остварују право на подстицајне мере износи 5,34 MW, од могућих 6 MW који су прописани Уредбом о условима и поступку стицања статуса повлашћеног произвођача електричне енергије, привременог повлашћеног произвођача и произвођача електричне енергије из обновљивих извора енергије („Службени гласник РС“, бр. 56/2016, 60/2017, 44/2018, др. закон). Годишња производња електричне енергије из соларних електрана на земљи износи око 6,79 GWh (Електропривреда Србије [ЕПС], 2019), што је довољно да подмири потребе око 1.618 домаћинстава електричном енергијом, под претпоставком да просечна потрошња струје по домаћинству износи 350 kWh на месечном нивоу (Радио-телевизија Србије [РТС], 2018).



Слика 21. Соларне електране које су стекле статус повлашћеног произвођача електричне енергије или произвођача електричне енергије из обновљивих извора енергије. Извор података приказаних на карти представља „Регистар повлашћених произвођача електричне енергије, привремених повлашћених произвођача електричне енергије и произвођача из обновљивих извора енергије 06.06.2019.“, Министарство рударства и енергетике, 2019, http://www.mre.gov.rs/doc/registar-060619.html#Sec_Solar

Соларна електрана „Матарова“ је изграђена у децембру 2012. године у атару насеља Мердаре, у општини Куршумлија (Слика 22). Састоји се од 8.100 фотонапонских панела, укупне снаге 2 MW, који се простиру на површини од око 4 ha (Есо global, 2017). Анализом дигиталног модела висина (EU-DEM) утврђено је да је терен на коме се налази соларна електрана, нагнут под углом од 0,5° до 7°, са доминантном западном експозицијом и просечном надморском висином 617 m. Јужно од електране пролази државни пут IB реда бр.

35, који повезује Барлово–Куршумлија–Мердаре (тзв. „Топличка магистрала“). За прикључење соларне електране на дистрибутивни систем Електропривреде Србије било је неопходно реконструисати далековод од 10 kV (Косјаничка Рача–Мердаре), укупне дужине 13 km, односно извршити замену дрвених стубова бетонским, као и да се ужад од 50 mm² замени са 70 mm² (EPS magazin, 2013). Имајући у виду да је ово највећа соларна електрана у Србији, као и да вредност енергије глобалног сунчевог зрачења за Куршумлију износи 1.550,5 kWh/m² (Ламбић, 2015), очекује се и значајна производња електричне енергије, која је током 2018. године износила око 2,26 GWh (ЕПС, 2019).



Слика 22. Соларна електрана „Матарова“, Србија (42.954505°N, 21.256642°E). Google Earth Pro 7.3.2.5776 (29 април, 2013). DigitalGlobe 2019. Преузето са <https://www.google.com/earth/versions/#earth-pro>

Соларни парк „Соларис“, у општини Кладово, састоји се из две мање фотонапонске електране, инсталисане снаге по 999 kW, при чему је прва електрана („Соларис 1“) изграђена на парцели која припада катастарској општини Велесница, док се друга („Соларис 2“), налази на парцелама, у оквиру катастарске општине Милутиновац (Слика 23). Локација на којој се данас налазе фотонапонски панели у прошлости се користила за узгој винове лозе, јер су педолошке карактеристике и велики број сунчаних дана пружали повољне услове за велике приносе. Временом је ерозија спирала и односила плодне честице земљишта и претворила га у глиновито тло, неповољно за пољопривредну производњу (Solaris Energy, 2011). Према дигиталном моделу висина (EU-DEM) терен је благо нагнут, под углом 0,8°–2,7°, у правцу југоистока, на просечној надморској висини 121 m. Електрана је повезана земљаним путем на државни пут IB реда, бр. 35, који спаја Ђердап, Јужно Поморавље и АП Косово и Метохија.



Слика 23. Соларна електрана „Соларис 1” и „Соларис 2”, Србија (44.553609°N, 22.542285°E). Google Earth Pro 7.3.2.5776 (16 октобар, 2017). DigitalGlobe 2019. Преузето са <https://www.google.com/earth/versions/#earth-pro>

За потребе пројекта изградње соларног парка извршена је пренамена пољопривредног у грађевинско земљиште и урађен је план детаљне регулације. Укупна површина фотонапонске електране („Соларис 1” и „Соларис 2”) износи 4,5 ha (Energetski portal, 2016). У соларни парк инвестирано је три милиона евра. Приликом изградње првог блока, тј. фотонапонске електране „Соларис 1”, постављено је 4.232 фотонапонска панела од поликристалног силицијума, изграђена је нова трафостаница 35/04 kV, и реконструисан је део постојећег далековода Неготин–Кладово. Соларис 1 је прикључен на електроенергетску мрежу 27. децембра 2013. године (IstmediaSerbia, 2014). Изградња другог блока соларног парка, исте снаге (999 kW), почела је 1. августа 2014. године, а званично пуштање фотонапонске електране „Соларис 2” у погон, уследило је након три и по месеца. Фотонапонска електрана „Соларис 1” стекла је статус повлашћеног произвођача за целокупну инсталисану снагу, док је „Соларис 2” стекао за 675 kW (Министарство рударства и енергетике, 2019). Током 2018. године, ове две електране оствариле су производњу електричне енергије у износу од 2,22 GWh (ЕПС, 2019).

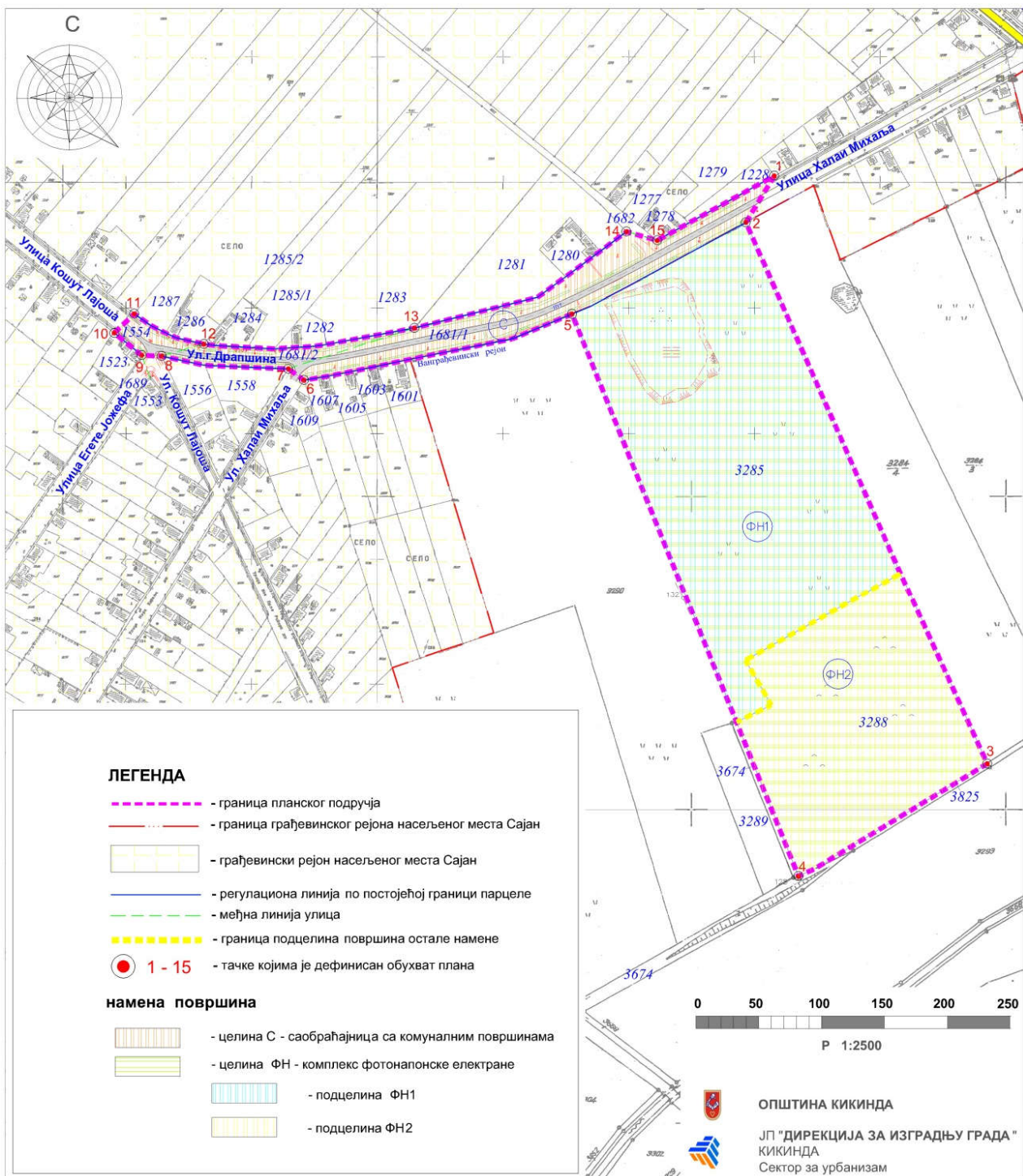
У септембру 2014. године у рад је пуштена прва соларна електрана на територији АП Војводине (Слика 24). Вредност инвестиције од 1,8 милиона евра, за реализацију овог пројекта, обезбедила је словачка компанија „Prima Energy”, а изградња електране трајала је око 3,5 месеца. Електрана има 4.500 фотонапонских панела, укупне снаге 1 MW, и простире се на површини од 2,5 ha (Танјуг, 2014). На основу дигиталног модела висина (EU-DEM) запажа се да је електрана изграђена на благом узвишењу (просечне надморске висине 178 m). Терен је доминантно оријентисан ка југоистоку, под нагибом од 0,5° до 9°. Приступ соларној електрани омогућен је преко општинског пута, који је на северу повезан на државни пут ПА реда бр. 119 (Нештин–Беочин–Сремска Каменица). Према извештају

ЕПС-а (2019), остварена производња електричне енергије у соларној електрани „Prima Energy”, у току 2018. године, износила је 1,39 GWh. Целокупна произведена електрична енергија испоручена је у високонапонску електро мрежу, тј. далековод од 110 kV (Maksimović & Majstorović, 2014).



Слика 24. Соларна електрана „Prima Energy”, Србија (45.202077°N, 19.700433°E). CNES/Airbus 2019. Google Earth Pro 7.3.2.5776 (28 март, 2019). Преузето са <https://www.google.com/earth/versions/#earth-pro>

У Кикиндском насељу Сајан завршена је прва фаза (535,96 kW) соларне електране, планиране снаге 1 MW. За потребе овог пројекта урађен је план детаљне регулације (ЈП „Дирекција за изградњу града” Кикинда, 2013), просторног обухвата 9,11 ha, који је подељен на две урбанистичке целине. Прва целина обухвата 14,5% планског простора, и чине је саобраћајнице са комуналним површинама, а другу комплекс фотонапонске електране подељен на две подцелине. Прва подцелина (ФН1) има површину 5 ha, и намењена је за изградњу фотонапонске електране максималне снаге до 1 MW, док је друга подцелина (ФН2) предвиђена за изградњу засебне електране или за проширење комплекса електране ФН1 (Слика 25). Према расположивој површини и одабраној технологији у плану је одређен максималан капацитет за планирану фотонапонску електрану од 3 MW, уз могућност изградње већег капацитета, уколико технологија буде напредовала, а ЕПС изда одобрење за прекључење. Поред обављања делатности производње електричне енергије, планом је дозвољено коришћење овог простора у туристичке сврхе, као и за потребе едукације. Правилима грађења дефинисано је обавезно ограђивање комплекса фотонапонске електране транспарентном оградом, максималне висине 2,2 m и формирање сигурносне зоне између грађевинске и регулационе линије (ограде) минималне ширине 10 m, у оквиру које су планиране сервисне саобраћајнице. Максималан дозвољен индекс изграђености износи 70%, без сервисних саобраћајница (ЈП „Дирекција за изградњу града” Кикинда, 2013).



Слика 25. Просторни обухват и подела на урбанистичке целине у Плану детаљне регулације за фотонапонску електрану у к.о. Сајан. Модификовано према „План намене земљишта са поделом на урбанистичке целине и подцелине”, ЈП „Дирекција за изградњу града” Кикинда, 2013. Преузето са http://www.kikinda.org.rs/Images/UserFiles/File/ogradu/urbanizam/planovidetaljneregulacije/grafika_fotonaponskaSajan.pdf

Приликом избора локације водило се рачуна да соларна електрана не буде у конфликту са неком другом наменом. Због тога је одабрано пољопривредно земљиште, које се због лошијег квалитета не обрађује и које се налази изван подручја планираног за заштиту—пашњаци јужно од насеља Сајан (ЈП „Дирекција за изградњу града” Кикинда, 2013). Анализом дигиталног модела висина (EU-DEM) утврђено је да се ради о равничарском терену (нагиба мањег од 2°), просечне надморске висине 76 m. Близина државног пута ИБ реда бр. 13 (Хоргош–Кањижа–Нови Кнежевац–Чока–Кикинда–Зрењанин–Чента–Београд), као и добра повезаност са општинским путевима утичу на атрактивност локације за изградњу соларне електране (Слика 26).



Слика 26. Соларна електрана „Сајан”, Србија (45.833441°N, 20.283857°E). Google Earth Pro 7.3.2.5776 (28 март, 2019). CNES/Airbus 2019. Преузето са <https://www.google.com/earth/versions/#earth-pro>

Радови на изградњи фотонапонске електране започети су 30. јуна 2014. године (ЕЈВ TV, 2015). Прво су изведени грубљи радови који су подразумевали нивелацију терена, ограђивање постројења и копање канала за постављање водова. Затим се прешло на постављање носеће конструкције од алуминијума, која има могућност ручног подешавања нагиба, од 25° до 30° у односу на поларну осу, чиме је омогућено ефикасније коришћење Сунчевог зрачења у односу на фиксне носеће конструкције фотонапонских панела. Укупно 2.364 фотонапонска панела, појединачне снаге 245 W_p постављено је на редно поређане носеће конструкције. Изграђене су две трафостанице, од којих се једна, намењена регулацији снаге произведене унутар фотонапонске електране, налази у оквиру комплекса, а друга се налази изван комплекса, и омогућава стабилизацију произведеног напона и прикључење на нисконапонску електромережу. Након изградње трафостаница постављени су ормар са инвенторима, контролорима пуњења и батеријама. На крају је извршено повезивање компоненти. Провлачењем одговарајућих проводника кроз ребраста црева (бужире), која су претходно положена у ископане канале, извршено је повезивање панела са опремом у ормарима, затим ормара са унутрашњом трафостаницом, и на крају две трафостанице (Буцало, Спаић, & Карић, 2015). На основу позитивног извештаја о обављеној техничкој контроли, електрана је 21. августа 2014. године, прикључена на електромережу (ЕЈВ TV, 2015).

С обзиром на то да Кикинда има највећи број сунчаних сати у години, очекивана годишња производња електричне енергије за соларну електрану „Сајан” требало би да износи 726,7 MWh (Министарство рударства и енергетике, 2019). Према извештају ЕПС-а (2019), електрана је током 2018. године остварила производњу од 745,8 MWh, и самим тим оправдала очекивања.

У насељу Вранићи, 10 km од града Чачка, налази се соларна електрана „НОЛЕКО ВРАНИЋИ”, инсталисане снаге 425 kW (Слика 27). На површини од 1 ha инсталирано је 2.000 фотонапонских панела од поликристалног силицијума. Анализом дигиталног модела висина (EU-DEM), утврђено је да се соларна електрана налази на падини оријентисаној ка југоистоку, под углом нагиба од 4,7° до 9,5°, на просечној надморској висини 351,6 m. Електрана је добро повезана са околним насељима преко мреже општинских путева, а јужно од ње налази се планирана траса аутопута, деоница Прељине–Пожега, на Коридору 11 (E-763).



Слика 27. Соларна електрана „НОЛЕКО ВРАНИЋИ”, Србија (43.942499°N, 20.331361°E). Google Earth Pro 7.3.2.5776 (27 септембар, 2018). DigitalGlobe 2019. Преузето са <https://www.google.com/earth/versions/#earth-pro>

Према подацима Министарства рударства и енергетике (2019) на територији Града Прокупља, регистровано је шест соларних електрана, од којих су две електране („Даница” и „Еуроградња”) изграђене на земљи. Соларна електрана „Даница”, укупне инсталисане снаге 73,6 kW, налази се у насељу Плочник, недалеко од државног пута IB реда, бр. 35 (Слика 28). На основу дигиталног модела висина (EU-DEM), терен на коме је инсталирана соларна електрана карактерише се благим нагибом (око 5°) и источном експозицијом. Електрана се налази у долини реке Топлице, на надморској висини око 362 m. У близини електране, на удаљености мањој од 1,5 km, пролазе далеководи високонапонске електромреже. Далековод напонског нивоа 110 kV налази се источно од соларне електране, док је далековод напонског нивоа 400 kV, западно од соларне електране (Југословенски институт за урбанизам и становање [ЈУГИНУС], 2010). Током 2018. године, соларна електрана „Даница” остварила је производњу електричне енергије у износу од 111,65 MWh (ЕПС, 2019).



Слика 28. Соларна електрана „Даница”, Србија (43.200556°N, 21.351819°E). Google Earth Pro 7.3.2.5776 (22 септембар, 2018). DigitalGlobe 2019. Преузето са <https://www.google.com/earth/versions/#earth-pro>

Соларна електрана „Еуроградња”, инсталисане снаге 50 kW, налази се у насељу Нова Божурна (Слика 29). Носећа конструкција са фотонапонским панелима је постављена на површину терена од 10 ари. Ради заштите од вандализма, крађе и других негативних утицаја из окружења, електрана је ограђена жичаном оградом, а уграђен је и видео надзор (Envidome, 2018). На основу дигиталног модела висина (EU-DEM), утврђено је да се ради о благо нагнутом терену (око 3°), са доминантном југоисточном експозицијом и просечном надморском висином 334,8 m. Локација је инфраструктурно добро опремљена. Северно од соларне електране пролази државни пут IB реда, бр. 35 (Ниш–Мерошина–Прокупље), као и електроенергетски вод напонског нивоа 10 kV. Електрана је изграђена у близини планиране привредне зоне у којој су пословање, производња мањег обима, складиштење и трговина доминантна намена (ЈП Завод за урбанизам Ниш, 2014). На овом потезу налази се и неколико трафостаница напонског нивоа 10/0,4 kV (ЈУГИНУС, 2010). Током 2018. године, соларна електрана „Еуроградња” остварила је производњу електричне енергије у износу од 61,54 MWh (ЕПС, 2019). Период повратка инвестиције процењен је на пет до седам година, у условима несметаног рада фотонапонске електране и у складу са подстицајним мерама за повлашћене произвођаче електричне енергије.



Слика 29. Соларна електрана „Еуроградња”, Србија (43.244482°, 21.638400°). Google Earth Pro 7.3.2.5776 (15 јун, 2019). DigitalGlobe 2019. Преузето са <https://www.google.com/earth/versions/#earth-pro>

Прва соларна електрана изграђена на земљи у Србији, налази се у атару насеља Врбовац, на територији општине Блаце (Слика 30). Реч је о малој соларној електрани, инсталисане снаге 10,44 kW. У овај пројекат приватни инвеститор је уложио 30.000 евра, а према уговору који је склопио са ЕПС-ом, подстицајна откупна цена произведене електричне енергије износи 20 евроценти по киловат сату. С обзиром на месечну добит од око 400 евра, очекивано време повратка инвестиције износи од шест до седам година (РТС, 2012). Према подацима ЕПС-а (2019), током 2018. године, остварена производња електричне енергије износила је 13,52 MWh.

Соларна електрана „Врбовац” завршена је за осам месеци, а најдуже се чекало на пренамену из пољопривредног у грађевинско земљиште. На основу дигиталног модела висина (EU-DEM) дошло се до сазнања да је терен, на којем су инсталирани панели, под благим нагибом (око 4°), са доминантном експозицијом према западу, на надморској висини 495 m. Анализом „Рефералне карте 2б” из Просторног плана општине Блаце (ЈУГИНУС, 2011), утврђено је да је најближа трафостаница удаљена ваздушном линијом око 1,2 km од соларне електране, док је приступни пут до саме електране лошег квалитета.



Слика 30. Соларна електрана „Врбовац“, Србија (43.324170°N, 21.299270°E). Google Earth Pro 7.3.2.5776 (21 април, 2016). CNES/Airbus 2019. Преузето са <https://www.google.com/earth/versions/#earth-pro>

У Србији постоје соларне електране изграђене на земљи, које нису стекле статус повлашћеног произвођача електричне енергије, привременог повлашћеног произвођача или произвођача електричне енергије из обновљивих извора енергије, као нпр. соларна електрана „RASOL“, инсталисане снаге 54 kW у насељу Коњевићи, на територији Града Чачка (Vasilic, 2014; Министарство рударства и енергетике, н.д.). Такође, постоје самостални фотонапонски системи инсталирани на земљи који производе енергију за сопствене потребе, нпр. фотонапонски систем компаније ENEL PS (10 kW) за пуњење електричних аутомобила, на Новом Београду.

2.3.3. Правна регулатива у области фотонапонске конверзије сунчевог зрачења

Постоје бројни прописи, у Србији, којима се регулише област планирања и изградње фотонапонских електрана, као и обављања делатности производње електричне енергије у њима. У најважније планове, стратешка документа, законе и подзаконске акте убрајају се:

- НАПОИЕ (Министарство енергетике, развоја и заштите животне средине, 2013);
- Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године (у даљем тексту: Стратегија развоја енергетике) („Службени гласник РС” бр. 101/2015);
- Закон о планирању и изградњи („Службени гласник РС”, бр.72/2009, 81/2009-исправка, 64/2010-УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013-УС, 50/2013-УС, 98/2013-УС, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019-др. закон);
- Закон о енергетици („Службени гласник РС”, бр. 145/2014, 95/2018-др закон);

- Закон о заштити животне средине („Службени гласник РС”, бр. 135/2004, 36/2009, 36/2009-др. закон, 72/2009-др. закон, 43/2011-УС, 14/2016, 76/2018, 95/2018-др. закон);
- Закон о процени утицаја на животну средину („Службени гласник РС”, бр. 135/2004, 36/2009);
- Уредба о режимима заштите („Службени гласник РС”, бр. 31/2012);
- Уредба о утврђивању Листе пројеката за које је обавезна процена утицаја и Листе пројеката за које се може захтевати процена утицаја на животну средину (у даљем тексту: Уредба о утврђивању Листе пројеката) („Службени гласник РС”, бр. 114/2008)
- Уредба о условима и поступку стицања статуса повлашћеног произвођача електричне енергије, привременог повлашћеног произвођача и произвођача електричне енергије из обновљивих извора енергије (у даљем тексту: Уредба о условима и поступку стицања статуса) („Службени гласник РС”, бр. 56/2016, 60/2017, 44/2018-др. закон);
- Уредба о подстицајним мерама за производњу електричне енергије из обновљивих извора и из високоефикасне комбиноване производње електричне и топлотне енергије (у даљем тексту: Уредба о подстицајним мерама) („Службени гласник РС”, бр. 56/2016, 60/2017, 91/2018)
- Уредба о накнади за подстицај повлашћених произвођача електричне енергије (у даљем тексту: Уредба о накнади) („Службени гласник“ број 8/2019);
- Уредба о висини посебне накнаде за подстицај у 2019. години („Службени гласник“ бр. 8/2019);
- Уредба о гаранцији порекла („Службени гласник РС“, бр. 82/2017);
- Правилник о лиценци за обављање енергетске делатности и сертификацији („Службени гласник РС“, бр. 7/2015, 44/2018-др. закон);
- Правилник о енергетској дозволи („Службени гласник РС“, бр. 15/2015, 44/2018); и др.

2.3.3.1. Поступак изградње фотонапонске електране

Након одабира локације за изградњу фотонапонске електране, инвеститор проверава да ли је на основу важећих планских докумената, на разматраној локацији, дозвољена изградња оваквог објекта. У надлежној служби за катастар непокретности потребно је извадити копију плана парцеле/парцела и лист власника парцеле, који се подносе уз захтев за добијање информација о локацији. На основу информације о локацији, инвеститор сагледава које све услове мора да испуни да би на разматраној локацији могао да гради фотонапонску електрану, у складу са важећим планским документом (Lepotic Kovacević & Lazarević, 2016).

Стицање права за изградњу и коришћење фотонапонске електране, као и за било који други објекат, остварује се кроз тзв. „обједињену процедуру”, утврђену Законом о планирању и изградњи (72/2009, 81/2009-исправка, 64/2010-УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013-УС, 50/2013-УС, 98/2013-УС, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019-др. закон). Обједињена процедура или одређене фазе обједињене процедуре започињу пријавом кроз Централни информациони систем и попуњавањем одговарајућег захтева, који мора бити потписан квалификованим електронским потписом.

Припрема за изградњу представља прву фазу у оквиру обједињене процедуре. У овој фази инвеститор подноси захтев за издавање локацијских услова, уз који, између осталог доставља и идејно решење за будућу фотонапонску електрану. Уколико плански документ не садржи могућности, ограничења и услове за изградњу и прикључење фотонапонске електране на инфраструктуру, имаоци јавних овлашћења дужни су да, по службеној дужности и у веома кратком року, доставе поменуто, надлежном органу за издавање аката по обједињеној процедури. Локацијски услови садрже урбанистичке, техничке и друге услове, који су неопходни за израду техничке документације (Lepotic Kovacević & Lazarević, 2016).

Важно је напоменути да надлежни орган за издавање аката по обједињеној процедури, прикупља све потребне услове за пројектовање и прикључење, осим оних који се тичу прикључења на енергетску инфраструктуру (Ministarstvo rudarstva i energetike [MRE] &

Program Ujedinjenih nacija za razvoj [UNDP], 2016). У зависности од инсталисане снаге планиране фотонапонске електране подноси се одговарајући захтев оператеру преносног, односно дистрибутивног система. Процедура за потребе прикључења на преносни систем започиње подношењем захтева за израду Студије прикључења објекта на преносни систем, оператеру истог. Када је део студије, који се израђује за све произвођаче електричне енергије, готов подноси се захтев за закључење Уговора о изради планске и техничке документације и прибављању потребних дозвола за изградњу прикључака. Том приликом се, произвођач опредељује да ли жели да сам управља пројектом изградње прикључка уз контролу оператера преносног система или жели да уступи изградњу оператеру, о свом трошку. Уколико се ради о прикључењу на дистрибутивни систем, захтев за издавање услова за прикључење се подноси оператеру дистрибутивног система. На основу техничког извештаја оператер дистрибутивног система утврђује да ли постоје електроенергетски и технички услови за прикључење на фотонапонске електране на дистрибутивну електромережу (Lepotic Kovacević & Lazarević, 2016).

Пре издавања локацијских услова, може се израдити пројекат препарцелације и парцелације, који се предаје надлежном органу за послове урбанизма јединице локалне самоуправе. Уколико је пројекат у складу са важећим планским документом, надлежни орган потврђује пројекат. Потврђен пројекат и решење о имовинско-правним односима прилажу се уз захтев за провођење препарцелације, односно парцелације надлежном органу за послове државног премера и катастра, тј. Републичком геодетском заводу (Закон о планирању и изградњи, 72/2009, 81/2009-исправка, 64/2010-УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013-УС, 50/2013-УС, 98/2013-УС, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019-др. закон).

Израда техничке документације за изградњу фотонапонске електране може да се одвија паралелно са прикупљањем локацијских услова, за шта је потребно ангажовати овлашћеног пројектанта, односно лиценцирану пројектантску компанију (MRE & UNDP, 2016). Техничку документацију чине: генерални пројекат, идејно решење, идејни пројекат, пројекат за грађевинску дозволу, пројекат за извођење, пројекат изведеног објекта. Пре почетка израде техничке документације обављају се претходни радови, тј. прикупљају се подаци, на основу којих се анализирају и разрађују сви услови који могу да утичу на градњу и коришћење објекта, а који су неопходни за израду претходне студије оправданости и студије оправданости. Претходна студија оправданости израђује се само за фотонапонске електране инсталисане снаге 10 MW и више, као и у случају где се на основу планског документа не могу издати локацијски услови. Претходном студијом оправданости утврђује се оправданост инвестиције за варијантна решења из генералног пројекта. Студија оправданости се ради по потреби, и има за циљ да покаже оправданост инвестиције за изабрано решење, разрађено идејним пројектом. Идејни пројекат израђује се за фотонапонске електране које се граде без грађевинске дозволе (инсталисане снаге до 50 kW), као и оне инсталисане снаге 10 MW и више, које се финансирају из буџета Републике Србије. Генерални пројекат, идејни пројекат, претходна студија оправданости и студија оправданости подлежу ревизији, тј. стручној контроли комисије коју образује министар који је надлежан за издавање грађевинске дозволе, односно орган аутономне покрајине. Пројекат за грађевинску дозволу подлеже техничкој контроли коју образује инвеститор (Закон о планирању и изградњи, 72/2009, 81/2009-исправка, 64/2010-УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013-УС, 50/2013-УС, 98/2013-УС, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019-др. закон).

Поред техничке документације, један од услова за прибављање грађевинске дозволе је и енергетска дозвола. Енергетска дозвола је потребна за фотонапонске електране снаге 1 MW и више. Процес добијања енергетске дозволе се може покренути након прибављања информације о локацији или локацијских услова, као и након прибављеног мишљења оператера електроенергетског система о условима и могућностима прикључења. Енергетска дозвола издаје се на три године, уз могућност продужења на још годину дана. Енергетска дозвола није потребна за фотонапонске електране мање од 1 MW или када је изградња

уређена законом о јавно-приватном партнерству и концесијама (Закон о енергетици, 145/2014, 95/2018-др. закон).

У поступку прибављања енергетске дозволе може се захтевати израда Студије о процени утицаја на животну средину, док је за фотонапонске електране преко 50 MW она неопходна (Уредба о утврђивању Листе пројеката, 114/2008). Студија о процени утицаја може се тражити приликом изградње фотонапонске електране у заштићеном природном добру, заштићеној околини непокретног културног добра, као и другим подручјима посебне намене (Lepotic Kovacević & Lazarević, 2016). Изградња фотонапонских електрана у заштићеним природним добрима регулисана је на основу Уредбе о режимима заштите (031/2012), при чему је изградња дозвољена само у режиму заштите другог и трећег степена, уз ограничење до укупно 50 kW у другом и 100 kW у трећем. Захтев за одлучивање о потреби процене утицаја на животну средину подноси се надлежном органу јединице локане самоуправе, осим ако електрана има преко 10 MW, када се подноси министарству надлежном за животну средину, односно надлежном органу аутономне покрајине. Надлежни орган је дужан да кроз читав поступак укључи заинтересовану јавност. У зависности од одлуке, носилац пројекта, подноси Захтев за одређивање обима и садржаја студије о процени утицаја. По пријему одлуке о обиму и садржају студије о процени утицаја, инвеститор започиње израду Студије и у року од годину дана подноси Захтев за давање сагласности на студију о процени утицаја. Техничка комисија, коју образује надлежни орган, има задатак да сачини извештај са оценом Студије о процени утицаја и достави га, заједно са предлогом одлуке, надлежном органу. О одлуци о давању сагласности или одбијању Захтева за давање сагласности на студију о процени утицаја, надлежни орган је дужан да обавести заинтересоване стране. Одлука престаје да важи уколико носилац пројекта, у року од две године, не започне изградњу фотонапонске електране (Закон о процени утицаја на животну средину, 135/2004, 36/2009).

На основу позитивног извештаја о извршеној техничкој контроли пројекта за грађевинску дозволу подноси се Захтев за издавање грађевинске дозволе. Уколико се ради о фотонапонској електрани инсталисане снаге 10 MW и више, захтев за издавање грађевинске дозволе се подноси министарству надлежном за послове грађевинарства, односно надлежном органу аутономне покрајине (за електране које се у целости налазе на територији аутономне покрајине), у супротном јединица локалне самоуправе има ингеренције за издавање грађевинске дозволе. Грађевинска дозвола издаје се у року од пет радних дана, а престаје да важи уколико се у року од три године, од дана правоснажног решења којим је издата грађевинска дозвола, не изврши пријава радова, односно ако се у року од пет година не изда употребна дозвола (осим за електране 10 MW и више). На захтев инвеститора, надлежни орган може продужити грађевинску дозволу за још две године, ако је објекат завршен у конструктивном смислу. На основу члана 144. и 145. Закона о планирању и изградњи (72/2009, 81/2009-исправка, 64/2010-УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013-УС, 50/2013-УС, 98/2013-УС, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019-др. закон) утврђени су посебни објекти и радови за које се не издаје грађевинска дозвола. Међу њима се налазе соларни колектори који се не прикључују на електродистрибутивну мрежу и електране које користе обновљиве изворе енергије инсталисане снаге до 50 kW.

Правоснажно решење о грађевинској дозволи представља услов за почетак друге фазе у оквиру „Обједињене процедуре”, која је везана за изградњу фотонапонске електране. Најкасније осам дана од почетка извођења радова, инвеститор је дужан да поднесе пријаву радова органу који је издао грађевинску дозволу, а касније и изјаву о завршетку темеља, као и изјаву о завршетку објекта у конструктивном смислу. У току извођења радова инвеститор обезбеђује стручан надзор, док надлежни орган по пристиглим изјавама обавештава грађевинску инспекцију да изврши инспекцијски надзор и о томе обавести надлежни орган (Закон о планирању и изградњи, 72/2009, 81/2009-исправка, 64/2010-УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013-УС, 50/2013-УС, 98/2013-УС, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019-др. закон).

Како би се обезбедиле мере које важе пре почетка изградње фотонапонске електране, инвеститор мора поднети Захтев за стицање статуса повлашћеног произвођача, министарству надлежном за послове енергетике. Правоснажно решење на основу којег се стиче статус привременог повлашћеног произвођача електричне енергије траје годину дана, са могућношћу продужења на још годину дана. Потписивање уговора са одложеним дејством није обавезно, оно само омогућава инвеститору да оствари права која су му загарантована привременим статусом повлашћеног произвођача електричне енергије, чиме је обухваћен и период пробног рада до стицања статуса повлашћеног произвођача електричне енергије. Када инвеститор изгради постројење и стекне статус повлашћеног произвођача електричне енергије почиње пуна примена одредби уговора са одложеним дејством (MRE & UNDP, 2016).

По добијању грађевинске дозволе подноси се и захтев за издавање одобрења за прикључење на преносни, односно дистрибутивни систем. Оператер преносног система (ЈП „Електро mreжа Србије”), дужан је да у року од 60 дана изда решење по поднетом захтеву, док је за оператера дистрибутивног система („ЕПС Дистрибуција” д.о.о. Београд), тај рок краћи и износи 45 дана. Уколико се фотонапонска електрана прикључује на преносни систем, у овој фази, произвођач тражи закључење Уговора о праћењу градње прикључка, чиме се покреће иницијатива за изградњу прикључка. Изградњу прикључка на дистрибутивни систем обезбеђује оператер дистрибутивног система или се, на захтев произвођача, издаје овлашћење на основу којег произвођач, о свом торшку, гради прикључак уместо оператера, при чему ће трошкови прикључења на систем бити умањени у складу са методологијом за одређивање трошкова, за прикључење (Lepotic Kovacević & Lazarević, 2016).

Након изградње фотонапонске електране, инвеститор подноси Захтев за извршење техничког прегледа надлежном органу који је издао грађевинску дозволу. Комисија, односно субјекат коме је инвеститор поверио вршење техничког прегледа, дужна је да у року од 30 дана састави извештај на основу којег се утврђује подобност фотонапонске електране за употребу. Уколико се, ради утврђивања подобности за употребу, морају обавити детаљнија испитивања, фотонапонска електрана може бити пуштена у пробни рад, најдуже на годину дана. За потребе прикључења на дистрибутивни систем, могуће је издати одобрење за привремено прикључење фотонапонске електране, док у случају преносног система, постоје три режима под којима се фотонапонска електрана пушта у погон (Електро mreжа Србије, 2016): (1) испитни погон—функционална испитивања са пуштањем под напон појединих делова, (2) пробни погон—пуштање под напон до добијања употребне дозволе, и (3) трајни погон—пуштање под напон у трајном експлоатационом режиму.

Пре добијања употребне дозволе, инвеститор мора да прибави водну дозволу, уколико обављање делатности (производња енергије) утиче на водни режим, односно ако је у водим условима то назначено. Водном дозволом се утврђује начин и услови за коришћење и испуштање вода. Издаје се за период од 15 година, а најкасније два месеца пре истека неопходно је поднети захтев за њено продужење (MRE & UNDP, 2016).

Прибављање употребне дозволе је последња фаза у оквиру „Обједињене процедуре”. Орган надлежан за издавање грађевинске дозволе издаје решење о употребној дозволи, у року од пет дана од дана подношења захтева и доставља га инвеститору или финансијеру, надлежној грађевинској инспекцији, имаоцима јавних овлашћења, и органу надлежном за послове државног премера и катастра. На основу употребне дозволе, елабората геодетских радова за објекте и елабората геодетских радова за подземне инсталације, орган надлежан за послове државног премера и катастра врши упис права својине на објекту. Поред употребне дозволе за фотонапонску електрану, неопходно је прибавити и употребну дозволу за прикључак на електроенергетску мрежу (Lepotic Kovacević & Lazarević, 2016).

Енергетски субјекат који обавља делатност производње електричне енергије у једној или више фотонапонских електрана, чија укупна инсталисана снага прелази 1 MW, а произведену електричну енергију испоручује у електро mreжу, мора да поседује Лиценцу за производњу електричне енергије. Агенција за енергетику издаје лиценцу у року од 30 дана,

од дана подношења захтева, уколико су испуњени услови прописани Законом о енергетици (145/2014, 95/2018-др. закон) и Правилником о лиценци за обављање енергетске делатности и сертификацији (87/2015, 44/2018-др. закон). Лиценца се издаје за период од 30 година, уз плаћање годишње накнаде за поседовање.

2.3.3.2. Подстицање производње електричне енергије из соларних електрана

Према Закону о енергетици (145/2014, 95/2018-др. закон) енергетски субјекат који поседује фотонапонску електрану може стећи: (1) Статус привремено повлашћеног произвођача електричне енергије, (2) Статус повлашћеног произвођача електричне енергије, и (3) Статус произвођача електричне енергије из обновљивих извора. Привремени повлашћени произвођач и повлашћени произвођач остварују право на подстицајне мере ступањем на снагу уговора о откупу електричне енергије са гарантованим снабдевачем, док произвођач из обновљивих извора има право на гаранцију порекла у складу са Законом о енергетици и прописима донетим на основу овог Закона.

Важан услов за стицање статуса повлашћеног произвођача, односно привремено повлашћеног произвођача је да инсталисана снага планиране соларне електране не прелази слободан капацитет који је одређен према врстама соларних електрана на следећи начин (Уредба о условима и поступку стицања статуса, 56/2016, 60/2017, 44/2018, др. закон):

- 2 MW за соларне електране на објекту појединачне снаге до 30 kW;
- 2 MW за соларне електране на објекту појединачне снаге веће од 30 kW до 500 kW; и
- 6 MW за соларне електране на земљи појединачне снаге до 500 kW.

У подстицајне мере за повлашћене произвођаче електричне енергије, које су прописане на основу Закона о енергетици (145/2014, 95/2018-др. закон) и Уредбе о подстицајним мерама (56/2016, 60/2017, 91/2018), спадају: (1) подстицајни период у трајању од 12 година, (2) подстицајна откупна цена, (3) преузимање балансне одговорности за места примопредаје електричне енергије повлашћеног произвођача електричне енергије и (4) трошкова балансирања повлашћеног произвођача електричне енергије током подстицајног периода од стране гарантованог снабдевача, као и (5) бесплатан приступ преносном, односно дистрибутивном систему електричне енергије. Подстицајне откупне цене разликују се према врсти соларних електрана, њиховој инсталисаној снази и максималном ефективном времену рада (Табела 2).

Табела 2. Висина подстицајне откупне цене и максимално ефективно време рада за различите врсте соларних електрана

Врста електране повлашћеног произвођача електричне енергије	Инсталисана снага P (MW)	Подстицајна откупна цена (с€/kWh)	Максимално ефективно време рада (h)
Соларна електрана на објекту	до 0,03	14,6–80* P	1400 у години подстицајног периода
	0,03–0,5	12,404–6,809* P	
Соларна електрана на земљи		9	

Напомена. Подаци у табели преузети су из Уредбе о подстицајним мерама за производњу електричне енергије из обновљивих извора и из високоефикасне комбиноване производње електричне и топлотне енергије, („Службени гласник РС”, бр. 56/2016, 60/2017, 91/2018).

Уколико повлашћен произвођач електричне енергије произведе већу количину енергије од оне за коју је уговорена подстицајна откупна цена, гарантовани снабдевач купује вишак произведене електричне енергије по цени која износи 35% подстицајне откупне цене. За реконструисане соларне електране подстицајна откупна цена износи до 70%, док за привремене повлашћене произвођаче од почетка подстицајног периода она износи 50% прописане вредности цене из Табеле 3. Због инфлације у евро зони врши се редовна годишња корекција подстицајних откупних цена. Осцилације подстицајних откупних цена утичу на тржиште електричне енергије, односно ниска цена ствара несигурност код инвеститора због малог профита, док висока цена оптерећује крајње потрошаче електричне енергије (Уредбе о подстицајним мерама, 56/2016, 60/2017, 91/2018).

Према Закону о енергетици (145/2014, 95/2018-др. закон) и Уредби о гаранцији порекла (82/2017) произвођач електричне енергије из обновљивих извора има право на гаранцију порекла и приоритет при предаји електричне енергије произведене из обновљивих извора енергије, преносном, односно дистрибутивном систему, осим у случају када је угрожена сигурност снабдевања или сигурност рада. Гаранцију о пореклу издаје оператер преносног система, само једном, за нето количину од 1 MWh произведене електричне енергије из обновљивих извора, измерену на месту предаје, у периоду од највише годину дана. То је заправо електронски документ на основу којег се крајњем купцу доказује да је одређена количина електричне енергије произведена из обновљивих извора енергије. На захтев власника гаранције порекла, оператер преносног система врши пренос гаранције на другог корисника. Гаранција порекла може се искористити само једном, пошто власник поднесе захтев оператеру преносног система, који је дужан да у року од 8 дана, изда изјаву о искоришћењу. Гаранцију порекла потребно је искористити у року од годину дана, од последњег дана периода производње електричне енергије за коју је издата, јер након тог периода престаје да важи. Оператер система води електронски регистар гаранције порекла у којем се евидентирају искоришћене, повучене и истекле гаранције о пореклу.

3. ПОДАЦИ И МЕТОДОЛОГИЈА

3.1. Преглед метода вишекритеријумске анализе

Просторни распоред фотонапонских система зависи од великог броја природних и друштвено-економских фактора који могу учинити да производња електричне енергије, на једној локацији, буде поузданија и исплатљивија у односу на друге. Због недостатка јасне методологије и ограничене доступности података није редак случај да се у планерској пракси одлуке о будућим локацијама за изградњу система за експлоатацију обновљивих извора енергије доносе интуитивно или под различитим притисцима из друштвених структура. Боља и функционалнија просторна понуда захтева да се субјективност доносиоца одлука, приликом процене потенцијалних локација, сведе на најмању могућу меру. Због тога се планери често служе неком од метода вишекритеријумског одлучивања (енг. Multi-Criteria Decision Making—MCDM), попут: *Методе једноставних адитивних тежина* (енг. Simple Additive Weighting—SAW), *Аналитичког хијерархијског процеса* (енг. Analytic Hierarchy Process—AHP), *ELECTRE методе* (фр. ELimination Et Choix Traduisant la Réalité), *PROMETHEE методе* (енг. Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation), *TOPSIS методе* (енг. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), *VIKTOR методе* (срп. VIšekriterijumska optimizacija i КОmpromisno Rešenje), итд.

3.2. Аналитички хијерархијски процес

Аналитички хијерархијски процес спада у групу поузданих и најчешће коришћених метода за доношење одлука о будућем коришћењу простора. Анализирајући научне студије на тему вишекритеријумске анализе у ГИС окружењу, Malczewski (2006) истиче да 9,4% радова, који су објављени у периоду од 1990. до 2004. године, користи аналитички хијерархијски процес у својим истраживањима. Области у којима се АHP метод примењује су: саобраћај (Abdi, Majnounian, Darvishsefat, Mashayekhi, & Sessions, 2009), животна средина (Ying et al., 2007), регионално и урбанистичко планирање (Dai, Lee, & Zhang, 2001), пољопривреда (Bathrellos, Gaki-Papanastassiou, Skilodimou, Skianis, & Chousianitis, 2013; García et al., 2014), туризам и рекреација (Bunruamkaew & Murayam, 2011), итд. У бројним радовима (Kontos, Komilis, & Halvadakis, 2005; Şener, Süzen, & Doyuran, 2006; Uyan, 2014; Wang, Qin, Li, & Chen, 2009) проблем избора адекватних локација за депонију је решен применом АHP методе. Резултати истраживања до којих су дошли Mardani, Jusoh, Zavadskas, Cavallaro, & Khalifah (2015) показују да је ова метода веома популарна у области одрживих и обновљивих енергетских система. Nigim, Munier, & Green (2004) користе АHP и SIMUS (енг. Sequential Interactive Model for Urban Sustainability) методе у циљу рангирања алтернативних пројекта (фотонапонских електрана, ветропаркова, геотермалних електрана, малих хидроелектрана, соларних термалних система) и како би показали њихову практичну примену кроз планове за развој обновљивих извора енергије. АHP метод је нашао своју примену у избору локација за ветропаркове (Al-Shabeeb, Al-Adamat, & Mashagbah, 2016; Hwang, Wei, Ching, & Lin, 2011; Lee, Chen, & Kang, 2009), хидроелектране (Supriyasilp, Pongput, & Boonyasirikul, 2009), соларне електране са концентраторима (Nixon, Dey, & Davies, 2010; Peterseim, White, Tadros, & Hellwig, 2013), као и код других система који користе обновљиве изворе енергије. Georgiou & Skarlatos (2016), такође, користе АHP како би одредили погодност простора за изградњу фотонапонских електрана. Они су, претходно, елиминисали све површинске воде, изграђене површине и површине под високом вегетацијом, као и оне просторе који су на основу девет ограничавајућих критеријума издвојени као неподобни за изградњу фотонапонских електрана. Други аутори (Carrión, Estrella, Dols, Toro, et al., 2008; Haghdadadi & Asaei, 2012; Potić et al., 2016; Tahri et al., 2015; Uyan, 2013; Xiao, Yao, Qu, & Sun, 2013) су успели да инкорпорирају АHP у сопствену методологију за избор најповољнијих локација за изградњу фотонапонских

електрана. Sánchez-Lozano, Teruel-Solano, Soto-Elvira, & García-Cascales (2013) окарактерисали су овај метод као јасан и флексибилан инструмент за решавање комплексних проблема у процесу доношења одлука.

3.2.1. Математичке основе АНР-а

Узимајући у обзир претходно изнете чињенице, за потребе одређивања повољности простора за изградњу фотонапонских електрана на територији Града Врања и општине Кладово, одабран је АНР метод (Saaty, 1980). Суштина овог метода састоји се у поређењу парова елемената у матрици $\mathbf{A} = [a_{ij}]$, при чему је број редова и колона у матрици дефинисан бројем елемената које је потребно квантификовати у складу са постављеним циљем. За одређивање тежинских коефицијената успостављена је матрица парова поређења за факторе који су одабрани за потребе вредновања. Поређење два елемента у матрици врши се помоћу скале коју је дао Saaty (1990). Интензитет значаја неког елемента, у односу на његов пар у матрици, представљен је нумеричким вредностима у распону од 1 до 9 или њиховим реципрочним вредностима (Табела 3).

Табела 3. Основна скала за утврђивање значаја између елемената у матрици поређења.

Интензитет значаја	Дефиниција	Објашњење
1	Исти значај	Два елемента су од истог значаја у односу на циљ.
3	Умерени значај	На основу искуства или мишљења један елемент има незнатну предност у односу на други.
5	Убедљив значај	На основу искуства или мишљења један елемент има предност у односу на други.
7	Веома убедљив или доказан значај	Елемент има веома изражену предност над другим елементом.
9	Екстреман значај	Доказ, као највећи могући степен афирмације, даје предност једном елементу у односу на други.
2, 4, 6, 8	Међувредности	Када је потребан компромис.
Реципрочна вредност	Ако елемент i има неку од горе наведених вредности, која је додељена приликом компарације са елементом j , онда елемент j има реципрочну вредност од елемента i	

Напомена. Модификовано према “How to make a decision: The analytic hierarchy process”, by T. L. Saaty, 1990, *European journal of operational research*, 48(1), p.15.

Након формирања матрице поређења следи поступак нормализације, односно формирања нове матрице $\mathbf{B} = [b_{ij}]$. Елементи у матрици \mathbf{B} израчунавају се према једначини (1), коју је дао Saaty (1980):

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

Да би се одредио вектор приоритета $w = [w_i]$, потребно је израчунати аритметичку средину редова из нормализоване матрице поређења. Компоненте овог вектора добијају се на основу једначине (2), коју је дао Saaty (1980):

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad (2)$$

Добијене вредности представљају тежинске коефицијенте (w) за сваки елемент у матрици поређења.

3.2.2. Провера коегзистентности

Валидност добијених резултата одређује се израчунавањем степена коегзистентности (CR). Претходно је потребно израчунати индекс коегзистентности (CI) на основу једначине (3), коју је дао Saaty (1980):

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

где је λ_{\max} максимална сопствена вредност матрице поређења, а n број елемената у тој матрици. Максимална сопствена вредност матрице поређења израчунава се према једначини (4), коју је дао Saaty (1980):

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{w_i} \quad (4)$$

Степен коегзистентности (CR) се израчунава на основу релације (5), према Saaty (1980):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

где је RI индекс случајне коегзистентности, чија вредност зависи од величине матрице ($n \times n$), а преузима се из Табеле 4.

Табела 4. Вредности индекса случајне коегзистенције

Величина матрице	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Напомена. Модификовано према The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making, by T. L. Saaty. In G. Salvatore (Ed.), *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys* (p. 390), 2005. New York, NY: Springer.

Ако је вредност CR мања или једнака 0,10 онда су добијени резултати валидни, и нема потребе за корекцијама у матрици поређења.

3.3. Опис критеријума и фактора

Сви релевантни критеријуми који утичу на избор локације за изградњу фотонапонских електрана подељени су у две основне групе: (1) критеријуми за елиминацију и (2) критеријуми за вредновање.

3.3.1. Критеријуми за елиминацију

У критеријуме за елиминацију спадају површине које имају неку важнију намену, које су заштићене посебним актима или, које због своје структуре, ни у ком случају, не могу бити предмет разматрања изградње фотонапонских електрана (Oikon, 2010). Ту се, пре свега, мисли на изграђене, пољопривредне, шумске и водене површине. Ове површине, издвојене коришћењем слојева високе резолуције (енг. High Resolution Layers) са специфичним карактеристикама земљишног покривача за 2015. годину, настали су на основу серије снимка добијених помоћу сателита Сентинел-1 и Сентинел-2.

У својој студији, Oikon (2010) оцењује највећом оценом, тј. као најпривлачније, површине под природним травњацима, склерофилном вегетацијом, оскудном вегетацијом и огољене површине. Неки аутори (Peschel, 2010; Scognamiglio, 2016; Wolfe, 2012) указују на могућност комплементарног коришћења простора на коме се налази фотонапонска електрана, при чему се испаша и косидба сматрају пожељним активностима. У конкретном

случају, као основни извор за елеминирају, коришћен је High Resolution Layer: Grassland (GRA) 2015 (European Environment Agency [EEA], 2018a). На тај начин, из поступка валоризације елиминисане су све површине које, према стању из 2015. године, не спадају у травнате. База податка о земљишном покривачу—Corine Land Cover (CLC) 2018, Version 20b2 (EEA, 2018b), коришћена је само као допуна за оне површине које су на основу GRA слоја елиминисане, а сматрају се повољним за изградњу фотонапонских електрана. У ову групу спадају пожаришта, голе стене, подручја са разређеном и склерофилном вегетацијом. На најдетаљнијем нивоу CLC садржи 44 класе земљишног покривача, али и поред тога она је прилично генерализована за просторне анализе на локалном нивоу, будући да минимална јединица картирања износи 25 ha, а минимална ширина линеарних елемената 100 m (Протић, 2013). GRA слој, просторне резолуције 20 m × 20 m, је адекватнији за ову врсту просторних анализа. Минимална јединица картирања која је употребљена за добијање GRA слоја износи 1 ha, а минимална ширина линеарних елемената 20 m (Langanke, 2018).

Изграђене површине, без обзира на степен изграђености, елиминисане су на основу High Resolution Layer: Imperviousness Density (IMD) 2015 (EEA, 2018c). Око изграђених површина формиран је појас ширине 200 m (види Табелу 3), резервисан због потенцијалног ширења, који је, такође, елиминисан из поступка вредновања.

Праг за елиминацију веома стрмих падина одређен је према класификацији коју је дао Vognar (1990). Он је све падине преко 32° оценио као неподесне за градњу. European Digital Elevation Model (EU-DEM), version 1.1 (EEA, 2016a), коришћен је како би се извели подаци о нагибу терена.

У намери да пројекти на потенцијалним локацијама буду одрживи, елиминисана су природна добра заштићена националним и међународним законодавством. Hernandez et al. (2014) указују на ризик од губитка биодиверзитета и фрагментације станишта који се јавља као последица припреме локације за изградњу фотонапонске електране и формирања препрека у виду оgrade, приступних путева и коридора за енергетску инфраструктуру. У Србији, Законом о процени утицаја на животну средину („Сл. гласник РС”, бр. 135/2004, 36/2009) може се тражити Студија о процени утицаја на животну средину, уколико се соларна електрана гради у заштићеном природном добру или заштићеној околини непокретних културних добара, што може повећати пројектне трошкове. Zavod za zaštitu prirode Srbije [ZZPS] (n.d.), тј. апликација GIS ZZPS, послужила је као извор информација о свим заштићеним природним добрима, укључујући и она која се налазе у поступку заштите. Од природних добара који имају међународни статус заштите, на истраживаном простору су издвојена подручја значајна за птице (енг. Important Bird Area—IBA), подручја значајна за биљке (енг. Important Plant Area—IPA), одабрана подручја за дневне лептире (енг. Prime Butterfly Areas—PBA), као и подручја од посебног интереса за заштиту природе у оквиру EMERALD мреже. Непокретна културна добра су, такође, елиминисана из поступка валоризације. Примарни извор података је База непокретних културних добара (Републички завод за заштиту споменика културе – Београд, n.d.), а секундарни Електронски каталог непокретних споменика културе у Србији (Nacionalni centar za digitalizaciju [NCD], n.d.). Важно је напоменути да су због непостојања тачних координата за велики број заштићених културних добара, у обзир узета само она добра која се налазе у категорији од изузетног и великог значаја. Разматрајући визуелне утицаје соларних електрана у природном и културном окружењу на које указују Gunerhan, Hepbasli, & Giresunlu (2008) одбачена је зона ширине 200 m (Georgiou & Skarlatos, 2016) око свих претходно поменутих заштићених подручја.

Препоруке из праксе и законски услови утицали су на формирање заштитног појаса око путева, електровода, трафостаница, водотока, водених површина, изграђених површина (Табела 5). Ови објекти су заједно, са припадајућим заштитним појасевима, елиминисани из поступка валоризације.

Табела 5. Преглед критеријума за елиминацију површина за изградњу фотонапонских електрана

Критеријуми за елиминацију	Категорија	Извор података	Просторна резолуција	Референтна година	Ширина заштитног појаса [m]
Нагиб терена	Веома стрме падине (> 32°)	European Digital Elevation Model (EU-DEM), version 1.1 ^a	25 m	2011	
Травнате површине	Нетравнате површине	High Resolution Layer: Grassland (GRA) 2015 ^b	20 m	2015	
Изграђене површине	од 1% до 100%	High Resolution Layer: Imperviousness Density (IMD) 2015 ^b	20 m	2015	200 ^f
Заштићена природна добра	Национални паркови; Паркови природе; Предела изузетних одлика; Општи и специјални резервати природе; Споменици природе; Заштићена станишта; ИВА; ПА; РВА; EMERALD	GIS ZZPS ^d			200 ^f
Заштићена култура добра	Изузетног значаја, Великог значаја	База непокретних културних добара ^b ; Електронски каталог непокретних споменика културе у Србији ^c			200 ^f
Површинске воде	Водотоци, водене површине	Топографске карте ^ж	1:25000		100 ^{3,н}
Путна и железничка инфраструктура	Државни путеви I реда—аутопутеви Остали државни путеви I реда Државни путеви II реда Општински путеви Железничке пруге	Сателитски снимци ^ј	40 cm	2015–2016	40 ^к 20 ^к 10 ^к 5 ^к 25 ^л
Енергетска инфраструктура	Далеководи 400 kV Далеководи 220 kV Далеководи 110 kV Електроводи 35 kV Електроводи 10 kV Трафостанице 400/x kV Трафостанице 220/x kV Трафостанице 110/x kV Трафостанице 35/x kV Трафостанице 10/x kV	Топографске карте ^ж ; ПП Града Врање—Реферална карта 2.3: Енергетска телекомуникациона и гасоводна инфраструктура ^б ; ГУП Врање—Карте 8.2: Електроенергетска и телекомуникациона инфраструктура ^м ; ПП општине Кладово— Реферална карта 2: Мрежа насеља и инфраструктурни системи ^н	1:25000; 1:50000	1972; 2011; 2010; 2012	30 ^б ; 40 ^{б,о} 30 ^{б,о} 25 ^{б,о} 15 ^{б,п} 5 ^{б,п} 40 30 25 15 10 ^п

Напомена. *важи само за општину Кладово. ^aЕЕА (2016). ^bЕЕА (2018а). ^cЕЕА (2018с). ^dGeorgiou & Skarlatos (2016). ^eZavod za zaštitu prirode Srbije. ^fРепублички завод за заштиту споменика културе – Београд (n.d). ^gNCD (n.d). ^жVojnogeografski institut (1972). ^зOikon (2010). ^иRaji (2017). ^јГеосрбија (n.d.). ^кЗакон о путевима („Службени гласник РС”, бр. 41/2018, 95/2018-др. закон). ^лЗакон о железници („Службени гласник РС”, бр. 41/2018). ^мЈП Завод за урбанизам Врања (2011а). ^нЈП Завод за урбанизам Врања (2010); ^пЦентар за планирање урбаног развоја [ЦЕП] (2012а). ^оЈП Завод за урбанизам Врање (2011б). ^рЦЕП (2012б). ^сБига и др. (2017)

Сви критеријуми из прве групе претворени су у бинаран слој, тако што је вредност 0 додељена оним површинама на којима је одбачена могућност изградње соларних електрана, док су остале површине добиле вредност 1 (Прилог А, Слика А3 и Слика А4).

3.3.2. Критеријуми за вредновање

Критеријума за вредновање користе се за потребе процене повољности простора за изградњу фотонапонских електрана. У оквиру ове групе спадају три критеријума (клима, животна

средина и локација) и њима припадајућих 10 фактора (ирадијација, температура ваздуха, нагиб терена, експозиција, педолошки састав, удаљеност од површинских вода, близина путева, близина електроенергетских водова, близина трансформаторских станица, близина места потрошње) (Табела 6).

Табела 6. Преглед критеријума за вредновање простора за изградњу фотонапонских електрана

Критеријуми и фактори	Извори података	Просторна резолуција	Референтна година
Климатске карактеристике			
Ирадијација	EU-DEM, version 1.1 ^a ; Метеоролошки годишњаци ^b	25 m	2011; 1961–2010
Температура ваздуха			
Животна средина			
Нагиб терена	EU-DEM, version 1.1 ^a	25 m	2011
Експозиција терена			
Педолошки састав	Основне педолошке карте ^{b,г,д,ђ}	1:50,000	1970; 2011
Локација			
Удаљеност од површинских вода	Топографске карте ^е	1:25,000	1972
Близина путева	Сателитски снимци ^ж	40 cm	2015–2016
Близина електроенергетских водова	Топографске карте ^е ;	1:25,000;	1972; 2011;
Близина трансформаторских станица	ПП Града Врања—Реферална карта 2.3: Енергетска телекомуникациона и гасоводна инфраструктура ^з ; ГУП Врање—Карте 8.2: Електроенергетска и телекомуникациона инфраструктура ^и ; ПП општине Кладово—Реферална карта 2: Мрежа насеља и инфраструктурни системи ^ј	1:50,000	2010; 2012
Близина места потрошње	IMD 2015 ^к	20 m	2015

Напомена. ^aЕЕА (2016); ^bРепублички хидрометеоролошки завод Србије (1961–2010); ^вAleksić (1970); ^гAntonović (1970); ^дNikolski & Antonović (2011); ^ђTanasijević (1970); ^еVojnogeografski institut (1972); ^жГеосрбија (n.d.); ^зЈП Завод за урбанизам Врања (2011a). ^иЈП Завод за урбанизам Врања (2010); ^јЦентар за планирање урбаног развоја [ЦЕП] (2012a); ^кЕЕА (2018c)

3.3.2.1. Климатске карактеристике

Примарни критеријум за одређивање повољности неког простора за развој фотонапонских електрана су климатске карактеристике. Климатске особености неког простора изражене су просечним вредностима климатских елемената (ирадијација, температура ваздуха, трајње сунчевог сјаја, ваздушни притисак, правац и брзина ветра, влажност ваздуха, облачност, падавине, итд.). Један или више елемената, на било којем простору, може доминирати над осталим. Тако нпр. у пустињама, услед учесталог ветра који подиже прашину у ваздух, онемогућен је продор сунчевих зрака, а тиме и ефикасна производња енергије помоћу фотонапонских система (Koenig et al., 1979). Слични исход имају и фотонапонски системи који су инсталирани на локацијама са честом појавом магле, великим бројем облачних дана или тамо где је ваздух засићен воденом паром.

На основу прегледане литературе, у оквиру климатског критеријума, одабрана су два фактора, која у великој мери детерминишу повољност простора за изградњу фотонапонских електрана: ирадијација (енергија сунчевог зрачења) и температура ваздуха.

Имајући у виду чињеницу да безбедно и контролисано мењање климе у тренутном стадијуму техничко-технолошког развоја није изводљиво, фактори из ове групе добили су највећи значај у поступку валоризације (Табела 10).

Избор потенцијалних локација за развој фотонапонских електрана у великој мери зависи од количине Сунчеве енергије. Што су вредности енергије глобалног зрачења Сунца веће, већа је и производња електричне енергије по инсталисаном kWp. Из тога произилази оправданост додељивања највећег тежинског коефицијента у поступку валоризације (Табела 10).

Подаци о Сунчевом зрачењу могу се добити на основу мерења приземних станица или сателитским мерењима. Приземне станице су нејаднако распоређене на Земљи, а између временских серија постоји дисконтинуитет, будући да су се мерења енергије Сунца интензивирала тек у другој половини 20. века. Недовољна покривеност простора приземним станицама утиче и на просторни дисконтинуитет података о Сунчевом зрачењу, што се може ублажити коришћењем сателитских мерења. Подаци изведени на основу сателитских мерења имају широку географску покривеност и могућност ретроспективног креирања података за временски период који није обухваћен мерењима на приземним станицама (International Finance Corporation [IFC], 2015). Прецизност сателитских мерења је мања у односу на приземна осматрања али њихова вредност састоји се у томе што добро одражавају релативан однос међу локалитетима, па је могуће извршити асимилацију података прикупљених приземним мерењима (IMSI, 2004).

Израда прецизних карата расподеле Сунчевог зрачења у простору захтева густу мрежу приземних мерења, што није изводљиво због високих трошкова (Fu & Rich, 1999). Развој ГИС-а и његових алата омогућило је великом броју корисника да се баве анализом и моделовањем просторне расподеле Сунчевог зрачења. Тако је коришћењем *r.sun* модела у оквиру GRASS GIS софтвера, настала Европска база података о соларном зрачењу. Главни улазни параметри у овом моделу били су подаци о соларном зрачењу и уделу дифузног зрачења прикупљених са 556 метеоролошких станица, као и подаци о замућености атмосфере и надморској висини (Šúri et al., 2007). База података садржи мапе на којима су приказане просечне месечне и годишње вредности глобалног зрачења, као и други климатски параметри за период од 1981. до 1990. године, просторне резолуције 1 km × 1 km. Ове мапе представљају основу за функционисање Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) апликације намењене за процену производње електричне енергије из фотонапонских система, креиране од стране Заједничког истраживачког центра (енг. Joint Research Centre), формираног од стране Европске комисије. Године 2010. база податка је проширена на простор Африке, а од 2014. обухвата и Азију. Том приликом коришћени су подаци добијени на основу CM-SAF сателитских снимака, за временски период од 1998. до 2012. године (Huld, Müller, & Gambardella, 2012). Нова побољшања уследила су 2017. године, када је у рад пуштена пробна верзија PVGIS 5 апликације. Додата је могућност коришћења нових података о соларном зрачењу на простору Европе, Африке, па и дела Јужне Америке, који су базирани на снимању CM SAF SARAH сателита, за временски период од 2005. до 2016. године. Интергисањем Националне базе података о соларном зрачењу (енг. National Solar Radiation Database) PVGIS, сада, омогућава процену потенцијала за Северну и Централну Америку. Од свих побољшања, важно је истаћи да су прорачуни у PVGIS-у засновани на сатним вредностима о соларном зрачењу.

Примена *r.sun* модела за процену соларног потенцијала демонстрирана је неколико пута од стране различитих аутора (Hofierka, Kaňuk, & Gallay, 2014; Huld, Suri, Dunlop, Albuisson, & Wald, 2005; Kryza, Szymanowski, Migala, & Pietras, 2010; Nguyen & Pearce, 2010; Šúri et al., 2007). Аутори користе и друге моделе који су већ имплементирани у ГИС окружење, као што су SRAD (Mckenney, 1999; Wilson & Gallant, 2000), SOLEI-32 (Mészáros, Miklánek, & Parajka, 2002), SolarFlux (Dubayah & Rich, 1995), Solar Analyst (Fu & Rich, 1999), Area Solar Radiation (Brito, Gomes, Santos, & Tenedório, 2012; Charabi & Gastli, 2011; Clifton & Boruff, 2010; Doljak & Stanojević, 2017; Gastli & Charabi 2010; Massimo, Dell'Isola, Frattolillo, & Ficco, 2014; Santos et al, 2014; Sun et al., 2013; Watson & Hudson, 2015; Wiginton, Nguyen, & Pearce, 2010).

По узору на слично истраживање, које су извели Luković et al. (2015) за моделовање података о ирадијацији, на територији Града Врања и општине Кладово, коришћен је компјутерски програм, отвореног кода, System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA), верзија 4.0.1 (Conrad et al., 2015), односно његов модул Potential Incoming Solar Radiation. Главни улазни податак за овај модул представља дигитални модел висина EU-DEM, верзија 1.1 (EEA, 2016a). Геофизички параметар, који представља део неба видљив из одређене тачке (енг. Sky View Factor), изведен је на основу дигиталног модела висина. Подешавања Sky View Factor модула, у оквиру SAGA GIS програма, обухватила су промену броја сектора у којима ће компјутерски алгоритам вршити прорачуне вертикалног угла елевације хоризонта. Zakšek, Oštir, & Kokalj (2011) наводе да се употребом већег броја сектора (више од 32), не постижу значајнија побољшања добијених резултата, па је за прорачун узета предложена вредност. У оквиру Potential Incoming Solar Radiation модула подешено је да временски распон прорачуна износи један дан, како би програм аутоматски израчунавао време изласка и заласка Сунца на одређеној локацији. Временски корак у којем се током дана врше прорачуни подешен је на 0,05 hr (3 min), док је за податке о географској ширини одабрана опција израчунавања из кординатног мрежног система. Важно је напоменути да је за израчунавање потенцијалне ирадијације коришћен метод Lumped Atmospheric Transmittance, а да су улазни подаци за прозачност атмосфере добијени на основу једначине (6) која је, према Martinez-Lozano, Tena, Onrubia, & De La Rubia (1984), настала модификацијом једначина које су дали Angstrom (1924) и Prescott (1940):

$$K_T = \frac{H}{H_0} = a + b \frac{s}{S_0} \quad (6)$$

где представља K_T индекс ведрине, тј. коефицијент прозачности атмосфере, H екстратерестрично зрачење, H_0 глобално Сунчево зрачење, s трајање сијања Сунца (инсолација), S_0 астрономско трајање сијања Сунца (дужина дана), a и b су параметри у моделу познатији као Angström-гови коефицијенти, при чему a означава проценат глобалног зрачења који доспева до земљине површине где је небо потпуно прекривено облацима, а b означава проценат глобалног зрачења апсорбован од облака при потпуно прекривеном небу облацима. Коефицијенти a и b зависе од климатских одлика и локалних услова. Пошто измерени подаци о сунчевом зрачењу нису били доступни, приступило се израчунавању Angström-гових коефицијената применом једначина (7) и (8), које је дао Rietveld (1978):

$$a = 0,10 + 0,24 \frac{s}{S_0} \quad (7)$$

$$b = 0,38 + 0,08 \frac{S_0}{s} \quad (8)$$

У прорачуну су коришћени измерени подаци о инсолацији, на месечном нивоу, прикупљени су са 32 метеоролошке станице у Србији, за период 1961–2010. године. Добијене вредности за коефицијент прозачности атмосфере су, најпре, интерполиране у програму QGIS 2.18 (2017), методом Inverse Distance Weighting (IDW), а затим је за сваки месец израчуната просечна вредност, за територију Града Врања и општине Кладово. Коефицијент прозачности атмосфере представља однос глобалног зрачења на површини Земље и екстратерестричког зрачења на горњој граници атмосфере. Веће вредности овог коефицијента указују да је атмосфера чистија и обрнуто. Подешавања у оквиру Potential Incoming Solar Radiation модула, захтевала су да се прозачност атмосфере изрази у процентима, због чега су коначне вредности коефицијента помножене са 100 (Табела 7).

Табела 7. Просечне вредности за прозачност атмосфера на територији истраживаних административних јединица.

Месец	Просечна вредност прозачности атмосфере (%)	
	Град Врање	Општина Кладово
Јануар	34	34
Фебруар	39	38
Март	43	42
Април	45	45
Мај	49	49
Јун	53	53
Јул	59	57
Август	60	58
Септембар	54	52
Октобар	48	46
Новембар	38	37
Децембар	31	32

Излазни подаци представљени су у виду растерске подлоге, на којој је приказана просторна расподела ирадијације на хоризонталну површину изражена у kWh/m².

Температура ваздуха

Перформансе фотонапонских панела зависе од њихове температуре, односно од температуре соларних ћелија. Када панели раде у условима повишене температуре, њихова ефикасност је мања, а тиме и производња електричне енергије. Blazev (2012) истиче да се са повећањем температуре соларне ћелије за 1 °C, изнад температуре у стандардним условима тестирања (25 °C), умањује производња електричне енергије за 0,5%. Температура соларне ћелије зависи од интензитета сунчевог зрачења, температуре ваздуха и брзине ветра (Huld & Gracia Amillo, 2015).

Carrión, Estrella, Dols, & Ridao (2008) сматрају да су идеалне локације за изградњу фотонапонских електрана оне на којима је интензитет сунчевог зрачења већи, а просечна температура ваздуха умерена или мања. Температура ваздуха значајно утиче на производњу струје у фотонапонским системима, због чега повољност простора расте опадањем температуре ваздуха (Табела 8). Прегледом доступне литературе (Azizkhani, Vakili, Noorollahi, & Naseri, 2016; Carrión, Estrella, Dols, & Ridao, 2008; Noorollahi, et al. 2016; Potić et al., 2016; Sánchez-Lozano et al., 2013; Tahri et al., 2015; Xiao et al., 2013), закључено је да температура ваздуха представља значајан фактор у оптимизацији просторног размештаја фотонапонских електрана.

Карта просторне расподеле температуре ваздуха добијена је на основу интерполације података прикупљених са 62 метеоролошке станице у Србији, за период 1961–2010. године (Републички хидрометеоролошки завод Србије [РХМЗ], 1961–2010), методом регресионог кригинга у SAGA GIS 4.0.1 софтверу (Congrad et al., 2015) (Слика А1). За моделовање просторне расподеле температуре ваздуха коришћено је неколико предиктора (независних варијабли): географска ширина, географска дужина и надморска висина (дигитални модел висина—EU-DEM). Експоненцијални тренд је коришћен у вариограмској анализи. За проверу модела интерполације, коришћена је варијанса кригинга.

Регресиони Кригинг представља геостатистички метод за интерполацију разноврсних геопросторних податка, у којем се просторни модел састоји од детерминистичког и стохастичког дела (Hengl, 2009). Детерминистички део је базиран на регресионим коефицијентима (процењени методом генерализованих најмањих квадрата) и представља индикатор просторног односа између предвиђених варијабила и предиктора, док се стохастички део састоји од тежинских коефицијената добијених интерполационом методом кригинга.

Регресиони кригинг решава модел наношења коефицијената методом регресије, док се добијени резидуали интерполирају и додају коначним резултатима. Регресиони кригинг може да пређе у обични уколико предиктори и предвиђања нису значајно корелирани, док у супротном прелази у регресију.

Интерполација температуре ваздуха и других климатских елемената методом регресионог кригинга је све чешће присутна у научно-стручној литератури (Bajat et al., 2013; Dolinar, 2006; Kilibarda et al., 2014; Van den Besselaar, Haylock, Van der Schrier, & Klein Tank, 2011). Разлог је тај, што се помоћни подаци (независне променљиве) прикупљају у краћим временским интервалима, нпр. сателитски снимци који су сада доступни и који се могу користити за израду просторно-временског модела методом регресионог кригинга. Поред надморске висине користе се и други предиктори: географска ширина, географска дужина, удаљеност од водених површина, део вегетацијског покривача, урбана острва топлоте, облачност, соларно зрачење, релативна влажност, итд. У појединим случајевима предиктори описују преко 90% варијабилности измерених станичних вредности температуре ваздуха. Овако висок коефицијент детерминације дозвољава екстраполацију много даље од места узорковања, што је крајње непогодно за методу обичног кригинга (Hengl, 2009).

Ustrnul & Czekierda (2005) су дошли до закључка да је регресиони кригинг адекватнији метод за просторну интерполацију температуре ваздуха него обични, универзални и кокригинг метод. Неколико учесника је на Конференцији о просторној интерполацији у климатологији и метеорологији, такође, говорило о погодностима предвиђања просторног „понашања” објашњавајућих варијабила и регресионог кригинга (Szalai, Bihari, Szentimrey, & Lakatos, 2007).

3.3.2.2. Критеријум животна средина

Иако фотонапонски системи имају мањи утицај на животну средину од конвенционалних система за производњу електричне енергије, постоје аспекти који још увек нису довољно истражени, с обзиром да се ради о новој технологији. Импликације везане за фотонапонске електране односе се на смањење површина за производњу хране, промене биотопа и биоценозе, повећање водене и еолске ерозије, итд. Фотонапонске електране од силицијумских панела су мале ефикасности, у просеку између 14% и 17% (Desa et al., 2016), па могу заузимати велике површине земљишта. Потребне површине варирају у зависности од географског положаја и врсте панела, односно њихове ефикасности. Фотонапонске електране које користе модуле ниже ефикасност (CdTe thin-film) могу захтевати 40%–50% више земљишта од оних које су конструисане од поликристалних модула (IFC, 2015). Нивелација терена (равнање површина и затрпавање депресија), сабијање земљишта и одстрањивање површинског слоја тла, могу проузроковати промене у структури и карактеру предела, као и одређених услуга екосистема, поготово ако се ради о пројектима већих размера. Barron-Gafford et al. (2016) наводе да фотонапонске електране великих размера доводе до појаве тзв. „острва топлоте” услед промена површинске рефлексије, вегетације и структуре тла.

Имајући у виду да неке утицаје фотонапонских електрана није могуће предупредити, као и да се последице тешко могу санирати, фактори у оквиру критеријума животна средина имају већи значај у односу на оне који су везани за локацијски критеријум (Табела 10). Вредновањем су обухваћени следећи фактори: нагиб, експозиција и педолошки састав.

Нагиб и експозиција терена

Рељеф значајано утиче на климатске одлике одређеног простора (климатски модификатор другог реда). Истовремено, морфометријске карактеристике рељефа (надморска висина, нагиб и експозиција терена), као и морфолошки процеси који га обликују имају утицај на размештај људских активности у простору. Вредновање рељефа са инжењерског аспекта

обезбеђује мање трошкове изградње фотонапонских електрана, оптималан просторни распоред панела и ефикаснију производњу електричне енергије.

Најповољнији терени за монтажу фотонапонске електране су равни терени или терени благо нагнути према југу (Tahri et al., 2015). Избор адекватног нагиба и експозиције терена омогућава већу производњу енергије по јединици површине, а тиме и мање трошкове закупа земљишта и/или адаптацију терена. Јужне падине на северној Земљиној хемисфери су за разлику од северних падина осунчане током целе године, а услед већег упадног угла који сунчеви зраци заклапају са тереном могуће је планирати мањи размак између редова фотонапонских панела, без негативног ефекта сенчења (Wolfe, 2012). Одступањем од стриктно јужне оријентације смањује се повољност простора за изградњу фотонапонских система (види поглавље 3.6).

Имајући у виду да равни терени умањују негативан ефекат сенчења, као и да су технички услови за изградњу на таквим локацијама лакши и јефтинији, при одређивању повољности је коришћен принцип где мањи нагиб има већу вредност за изградњу. Узимајући у обзир категоризацију падина коју је за потребе изградње дао Vognar (1990), пошло се од тога да су равнице (нагиб до 2°) најповољније, а да након тога повољност опада повећањем нагиба, с тим да су стрме падине (> 32°) елиминисане из поступка вредновања.

Растрски слојеви су припремљени у програму QGIS 2.18 (2017) на основу података EU-DEM дигиталног модела висина, просторне резолуције 25 m × 25 m (EEA, 2016a).

Педолошки састав

Изградња фотонапонских електрана на пољопривредном земљишту је спорна због визуелног утицаја и ризика од губитка његове плодности. Поред воде и ваздуха, земљиште представља основну компоненту животне средине. Имајући у виду његову улогу у производњи биомасе, приликом разматрања најповољнијих локација за изградњу фотонапонске електране пошло се од става да је потребно сачувати земљишта високе еколошко-производне вредности, односно усмерити изградњу ка мање продуктивним типовима земљишта.

Услед честе појаве скелета и каменитости могућност коришћења смеђег земљишта на кречњаку или доломиту (калкокамбисол) је мала, па су као таква најпогоднија за изградњу фотонапонских електрана. Иако „планинска црница” (калкомеланосол) спада у плодно земљиште, услед сурове планинске климе, на њему успевају само траве, а ређе жбунаста вегетација (Родић & Павловић, 1994). Углавном се користи за испашу стоке у летњем периоду године, што пружа могућност комплементарног коришћења у енергетске сврхе. Еколошко производна вредност ранкера варира. Ранкери се на мањим надморским висинама и блажим нагибима могу користити за гајење њивских култура, док се на већим надморским висинама користе за испашу стоке или као сенокоси (Miljković, 1996). С обзиром да се ради о веома распрострањеном планинском земљишту, претежно формирано на стрмом нагибу (по чему је и добило име) и силикатним стенама, ранкери су најчешће прекривени травнатом и шумском вегетацијом. Рендзина такође спада у повољније типове земљишта за смештај фотонапонских електрана, будући да се ради о земљишту мале плодности на коме се углавном налазе пашњаци или ливаде. На територији општине Кладово, односно на простору Дунавског кључа постоје локалитети на којима се појављују неразвијени типови земљишта—ареносоли и регосоли. Гајење појединих култура, на овим типовима земљишта, зависи од квалитета песка и дубине подземних вода, па су због тога адекватније за неку другу намену (Miljković, 1996).

Супротно претходно поменути типова земљишта, на истраживаном простору присутни су и типови земљишта који обезбеђују високе приносе најважнијих пољопривредних култура, попут чернозема. Гајњаче (еутерични камбисол) се већ дуго користе као пољопривредна земљишта, и врло су погодне за ратарство, воћарство и виноградарство, али и за шумарство. Примена агротехничких мера може повећати производну вредност овог типа земљишта. Уз гајњаче се, обично, јављају и смонице (вертисол). Реч је о земљишту високе

потенцијалне плодности које захтева одређене мере мелиорације у циљу побољшања неповољних водно-физичких особина. У условима контролисаног наводњавања и рационалне фертилизације на смоницама врло добро успевају памук, сунцокрет, шећерна репа, ричинус и друге индустријске биљке (Miljković, 1996). Ови типови земљишта имају нижу вредност у поступку валоризације, како би производња хране на таквом земљишту имала приоритет. Такође, нижа оцена је додељена за алувијално земљиште (флувисол), флувијално ливадско земљиште (хумофлувисол) и колувијално (делувијално) земљиште (колувијум). Уколико се изузму крајње шљунковити и песковити облици са једне стране, и глиновити облици са друге стране, онда флувисол иловастог састава представља најплодније земљиште на коме је могуће гајење свих пољопривредних култура. Производна вредност хумофлувисола највише би одговарала ливадама и крмном биљу, али се на њему улавном гаје окопавине и поврће, ређе стрна жита. Колувијалне творевине су посебно распрострањене у Врањској котлини. Дубоки и мање скелетни колувијуми, са превагом ситног земљишног материјала, користе се у пољопривреди за интензивну производњу винове лозе, дувана и разног поврћа (Miljković, 1996).

Ритска црница, псеудоглеј и лувисол спадају у потенцијално плодна земљишта јер захтевају додатне мере за побољшање производне способности. Због претежно глиновитог састава ритске црнице се одликују лошим ваздушним односима, па је неопходно дубинско растресање и одводњавање у влажном периоду године. Лувисоли на нижим теренима и блажим нагибима се углавном користе за гајење винове лозе, воћа и кромпира или као оранице. Дубинским растресањем, калцизацијом и фертилизацијом повећава се производна способност лувисола. Због недостатка кисеоника и слабе приступачности воде у мокрој фази, псеудоглеје имају ниску производну способност. Применом истих мера за лувисол, уз додатно растресање збијеног хоризонта, кртичну дренажу и одводњавање, могуће је побољшати производну вредност псеудоглеја (Mrvić, Stevanović, Sikirić, Čakmak, & Nikoloski, 2011).

Подаци о типовима земљишта преузети су са листова Основне педолошке карте (Aleksić, 1970; Antonović, 1970; Nikolski & Antonović, 2011; Tanasijević 1970), размене 1:50.000, које је за потребе израде доктората уступио Институт за земљиште. Земљиште је груписано према класификацији коју су дали Mrvić et al. (2013). Номиналне вредности изражене су квантитативно на скали од 0 до 1, при чему вредност један означава најповољнији педолошки тип за изградњу, док нула представља најнеповољнији (Табела 9).

3.3.2.3. Критеријум локација

Код одређивања повољности простора за изградњу фотонапонских електрана важну ставку чини врста и степен опремљености земљишта. Показатељи опремљености земљишта сачињени су у складу са планираном активношћу. С обзиром да се планирана активност односи на производњу електричне енергије, за процену су коришћени следећи фактори: удаљеност од површинских вода, саобраћајна доступност, близина и опремљеност електроенергетском инфраструктуром (електроводима и трафостаницама), и удаљеност од места потрошње (изграђених површина).

Улагања у изградњу нове или доградњу постојеће инфраструктуре представљају тзв. „прагове развоја” у опремању простора за развој фотонапонских електрана. Stojkov (1999, стр. 144) наводи да „комуникације представљају рационално средство оптимизације, уређења и развоја у простору”, па самим тим близина инфраструктурних система и потрошача има утицај на оптималну организацију фотонапонских система у простору. Супротно томе, из безбедносних разлога просторна повољност расте са удаљеношћу од површинских вода. Просторне, структурне, и/или мере природног задржавања воде омогућавају контролу и смањење ризика од плавлеења.

Иако многи фактори из ове групе представљају материјалну основу за постојање и развој основних човекових активности у простору, чињеница да се овде ради о створеним системима које је могуће мењати (изградња нових, ревитализација, обнова, замена и реконструкција постојећих), њихов значај у валоризацији простора је мањи од претходних

фактора. Међутим, не треба заборавити да се овде ради о системима који траже велика улагања која се не амортизују брзо, због чега њихов значај некада превазилази остале критеријуме. Добро планирани, пројектовани и одржавани, системи створене структуре у простору обезбеђују његов општи привредни развој, као и квалитетнији живот локалног становништва.

Удаљеност од површинских вода

Због бујичног карактера појединих водотока и ризика од плавлјења, пожељно је да будућа локација за изградњу фотонапонске електране буде што удаљенија од водотока и водених површина.

Потрошња воде код фотонапонских система је мала и износи око 15 l/MWh (Fthenakis & Kim 2010). Вода се користи за прање панела и сузбијање прашине, углавном на оним местима где таложјење прашине представља проблем (Hernandez et al., 2014). Потребна количина воде зависи од учесталости прљања модула и њиховог природног чишћења посредством кишнице. Pavan, Mellit, & De Pieri (2011) су на основу резултата истраживања две фотонапонске електране на југу Италије, капацитета 1 MWp, дошли до закључка да губици енергије, настали услед запрљаности фотонапонских модула, зависе од врсте тла и технике чишћења фотонапонских модула. Radonjić et al. (2017) су експерименталним истраживањем показали да је ефикасност фотонапонских модула у просеку мања у односу на чисте модуле, услед запрљаности честицама угљеника (за 37,6%), калцијум-карбоната (за 6,7%) и честицама тла (за 6,8%).

Трошкови водоснабдевања, било да се ради о каналсању или транспорту помоћу цистерни, су неупоредиво мањи од трошкова санације од поплава. Из тог разлога, повољност простора за изградњу фотонапонске електране се повећава удаљавањем од водотока и водених површина, тј. од заштитног појаса (200 m), да би након удаљености од 800 m задобила константну повољност (Табела 8). Подлога на којој су приказане водене површине, стални и повремени водотоци, настала је дигитализацијом стандардних топографских карата у размери 1:25.000 (Vojnogeografski institut, 1972). Сви водотоци и водене површине, укључујући и сигурносни појас од 100 m (Oikon, 2010; Raji, 2017) искључени су из валоризације.

Sahu, Yadav, & Sudhakar (2016) истичу низ предности плутајућих фотонапонских електрана у погледу очувања земљишта, ефикасније производње електричне енергије, и повећања расположиве воде за пиће и наводњавање. Међутим, негативан утицај на акватични живи свет, отежани услови за одвијање појединих активности (нпр. саобраћај и рибарство), високи почетни трошкови и трошкови одржавања, као и бројни изазови у погледу техничких решења плутајућих панела, утицали су на то да ови системи не буду предмет даљег разматрања.

Близина путева

Близина приступног пута до потенцијалне локације смањиваће додатне трошкове везане за изградњу фотонапонске електране и спречити даљу деградацију животне средине (Tahri et al., 2015). Просечни трошкови изградње локалног пута, према подацима 29 чланица ЕУ, износе око 38 хиљада €/km (Doll & van Essen, 2008). Ипак, ти трошкови значајно варирају међу државама, што у великој мери зависи од локалне топографије и климатских услова. Због чешће изградње мостова и тунела у планинским крајевима трошкови изградње приступног пута, обично, су већи него на равничарском терену. Грађевинско-техничка решења приступног пута, а тиме и укупни трошкови, у великој мери зависе од броја дана са температуром ваздуха испод 0 °C. Приступачност локације, односно саобраћајна повезаност, омогућава приступ грађевинским машинама, камионима за превоз конструкцијског материјала, као и возилима службе за хитне интервенције и одржавање постројења.

Путеви на истраживаном подручју добијени су дигитализацијом орторектификованих сателитских снимака (2015–2016. године), просторне резолуције 40 cm, који су доступни у оквиру Дигиталне платформе за Националну инфраструктуру георосторних података (Геосрбија, n.d.).

У складу са Законом о путевима („Службени гласник РС”, бр. 41/2018, 95/2018-др. закон) у заштитном појасу поред јавног пута ван насеља забрањена је изградња објеката, као и грађење и постављање постројења, уређаја и инсталација који не служе за потребе јавног пута и за саобраћај на јавном путу. Ширина заштитног појаса варира у зависности од ранга пута. Узимајући у обзир одредбе Закона о путевима установљен је заштитни појас са сваке стране пута, у зависности од његовог ранга. Површине на којима је изграђен пут, заједно са њиховим заштитним појасом, елиминисане су из поступка валоризације. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана опада удаљавањем од сигурносног појаса за одређени ранг пута (Табела 8).

Близина електроенергетске инфраструктуре

Повезивање на електромережу омогућава испоруку произведене електричне енергије, али и бржи период отплате уложених средстава. Државе широм света примењују најразличитије мере за подстицање производње енергије из обновљивих извора, при чему подстицајне откупне цене (енг. feed-in tariffs) и премије (енг. feed-in premiums) представљају најшири прихваћен облик подршке, који је до 2017. године прихватило 83 државе (IRENA, IEA & REN21, 2018). У Србији се, такође, примењује систем подстицајних откупних цена. Уредба о подстицајним мерама (56/2016, 60/2017, 91/2018) гарантује повлашћеним произвођачима откупну цену од 9 с€/kWh за произведену електричну енергију у соларним електранама на земљи.

Уредба о условима и поступку стицања статуса (56/2016, 60/2017, 44/2018-др. закон) садржи ограничење од 6 MW укупне инсталисане снаге за соларне електране на земљи. Истом Уредбом омогућена је изградња соларних електрана мањих снага (до 500 kW), па је у том случају предвиђено њихово прикључење на електромережу средњег напона (од 10 kV до 35 kV). С обзиром да је број и капацитет фотонапонских електрана у свету све већи, неопходно је планирати могућност прикључења великих фотонапонских система (50 MW и више) на мрежу високог напона.

Подаци о положају електроенергетских водова (10 kV, 35 kV, 110 kV и 400 kV) и одговарајућих трафостаница (10/4 kV, 35/10 kV, 110/35 kV и 400/110 kV), на територији Града Врања и општине Кладово, преузети су са рефералних карти (ЈП Завод за урбанизам Врање, 2011a; ЦЕП, 2006a), које представљају саставни део просторних планова. Топографске карте (Vojnogeografski institut, 1972) коришћене су као секундаран извор информација, док је у случају Града Врања енергетска инфраструктура допуњена на основу Карте 8.2: Електроенергетска и телекомуникациона инфраструктура, која представља саставни део Генералног урбанистичког плана Врања (ЈП Завод за урбанизам Врање, 2011a)

Ако је преносна или дистрибутивна мрежа далеко или је недовољног капацитета, потребно је извршити додатне радове за прикључење на електро мрежу, што може знатно увећати трошкове и учинити пројекат неодрживим (Wolfe, 2012). Према подацима OECD/IEA (2014), у Србији, губици при преносу и дистрибуцији електричне енергије износе око 15% од укупне производње, док су у земљама ЕУ ти губици око 6%. У зависности од напона и растојања, губици у преносним електроенергетским водовима износе од 2% до 5% (National Association of Clean Air Agencies [NACAA], n.d.). Трошкови изградње једног струјног кола надземног електроенергетског вода, мреже високог напона (110 kV и 220 kV) и врло високог напона (400 kV), износе од 220 000 US\$/km до 550 000 US\$/km (Sustainable Energy Handbook – Module 5.5 Grid Loss Reduction, 2016). Трошкови надземних електроенергетских водова (мреже средњег напона) износе од 10 000 US\$/km до 20 000 US\$/km (StonePower AB, 2004).

Близина постојеће мреже електровода је један од критеријума по којем су вредноване потенцијалне локације, тако да повољност простора опада удаљавањем од електроенергетске инфраструктуре. Имајући у виду финансијски аспект повезивања фотонапонске електране на електромеру, сходно препорукама које су дали Georgiou & Skarlatos (2016), локације које су удаљене преко 2 km добиле су вредност нула (Табела 5). Међутим, то не значи да су ове површине елиминисане из поступка валоризације. По истом принципу вредноване су потенцијалне локације у односу на близину трансформаторских станица (Табела 8). Међутим, овај критеријум има већи значај од близине електровода, јер омогућава директно повезивање на мрежу, а тиме и мањи трошак за инвеститора (Oikon, 2010). Зато је овај критеријум добио већи тежински коефицијент у односу на близину постојеће мреже далековода (Табела 10). Као и код других елемената створене структуре, тако је и код електроенергетске инфраструктуре (електровода и трафорстаница) установљен заштитни појас, са циљем да се смањи ризик по живот и здравље људи, као и оштећења инсталација. Површине у оквиру заштитног појаса, чија ширина варира у зависности од напона електроенергетске мреже (Табела 5), елиминисане су из поступка валоризације.

Близина места потрошње

Када је у питању близина урбаних зона, у научној литератури, поједини аутори (Janke, 2010; Uyan, 2103; Watson & Hudson, 2015; Yushchenko, de Bono, Chatenoux, Patel, & Ray, 2018) наводе да је фотонапонске електране потребно поставити што даље од урбаних зона, како би се избегли негативни утицаји на животну средину, док други аутори (Carrión, Estrella, Dols, & Ridao, 2008; Carrión, Estrella, Dols, Toro, et al., 2008; Noorollahi et al., 2016; Tahri et al., 2015) сматрају да близина урбаних зона има низ економских предности. Wolfe (2012) наводи да, соларни паркови, који се налазе у близини индустријских поседа, фарми и других потрошача електричне енергије, често показују боље резултате повраћаја уложних средстава, од оних, који на велико, испоручују енергију у електромеру. На нивоу Европе уочава се тенденција усмеравања подстицајних мера у велике фотонапонске системе и системе за сопствену потрошњу у стамбеном, комерцијалном и индустријском сектору (REN21, 2016).

Несумњиво је да близина потрошача има кључан значај у разматрању потенцијалних локација за изградњу соларних електрана. У Србији домаћинства и индустрија спадају у значајне потрошаче електричне енергије, са учешћем од око 78% у финалној потрошњи електричне енергије (Републички завод за статистику [РЗС], 2018). Мањи губици при преносу електричне енергије због краћег растојања места производње и потрошње, уз минимална улагања за изградњу неопходне инфраструктуре, одразиће се на мање трошкове снабдевања потрошача електричном енергијом. Овај фактор није од пресудног значаја при одабиру локације за изградњу фотонапонске електране, јер постојање преносне и дистрибутивне електроенергетске инфраструктуре може надоместити тај недостатак.

Било каква изградња у простору индукује концентрацију активности у њему, па су такви простори карактеристични по високој потрошњи електричне енергије. За идентификацију места потрошње коришћен је IMD слој (ЕЕА, 2018с), са категоријама изграђености од 1% до 100%. Просторна повољност за изградњу фотонапонских електрана, опада, удаљавањем од сигурносног појаса, ширине 200 m (Georgiou & Skarlatos, 2016), који је успостављен како изграђене структуре не би ометале продор сунчевих зрака, као и за потребе евентуалног ширења изграђених површина (Табела 8).

3.4. Примена расплнутих скупова на факторске варијабле

Неки од фактора који се користе у поступку вредновања имају различите скале променљивих, због чега је потребно извршити њихову нормализацију. Метод нормализације факторских варијабила, који је примењен у овом истраживању, заснива се на теорији

расплинутих скупова (енг. fuzzy sets). Суштина овог метода састоји се у степену припадања неког објекта (пиксела) одређеном скупу или степену задовољавања извесних услова („Расплинути скупови,” 1994). Степен припадности се квантитативно изражава бројем, на скали од 0 до 1, помоћу тзв. расплинутих функција припадности (енг. Fuzzy membership function). Облик функције припадности зависи од конкретног случаја, односно од утицаја улазних податка (фактора) на циљ вредновања, а њен избор је најчешће субјективне природе.

Поступак нормализације изведен је помоћу Fuzzify модула у оквиру SAGA GIS 4.1.0 рачунарског програма (Conrad et al., 2015). Подешавања у оквиру модула омогућавају одабир једне од три типа функције припадности: (1) linear, (2) sigmoidal и (3) j-shaped; као и један од три начина промене: (1) пораст, (2) опадање и (3) пораст и опадање. Уколико се ради само о порасту или опадању код одабране функције дефинишу се само две тачке промене, док се у случају пораста и опадања (симетричне криве) дефинишу четири тачке промене.

Одабир облика, тенденције и контролних тачака за функције припадности заснован је на претходним истраживањима и сазнањима аутора (Eastman, 2016; Nasehi, Birak Olia, Karimi, & Heydari, 2017; Suuronen et al., 2017; Zoghi, Ehsani, Sadat, javad Amiri, & Karimi, 2017) о утицају појединих фактора на коначан циљ (Табела 8).

Табела 8. Параметри за дефинисање функције припадности коришћене у поступку нормализације факторских варијабила

Фактор	Територија	Функција припадности		Тачке промене (m)			
		Тип	Тенденција	a	b	c	d
Сунчево зрачење	Врање	Sigmoidal	Пораст	1.406,65	1.656,93	/	/
	Кладово			1.330,67	1.472,11	/	/
Температура ваздуха	Врање	Linear	Опадање	/	/	3,43	10,82
	Кладово			/	/	8,6	11,68
Нагиб	Врање	Sigmoidal	Опадање	0	0	2	32
	Кладово			0	0	2	32
Експозиција	Врање	Sigmoidal	Пораст и опадање	0	157,5	202,5	360
	Кладово			0	157,5	202,5	360
Удаљеност од површинских вода	Врање	Sigmoidal	Пораст	100	800	1.150	1.150
	Кладово			100	800	2.631,54	2.631,54
Удаљеност од путева	Врање	J-Shaped	Опадање	/	/	ширина заштитног појаса	2.500
	Кладово			/	/	ширина заштитног појаса	2.500
Удаљеност од електровода	Врање	J-Shaped	Опадање	/	/	ширина заштитног појаса	2.000
	Кладово			/	/	ширина заштитног појаса	2.000
Удаљеност од трафостаница	Врање	J-Shaped	Опадање	/	/	ширина заштитног појаса	2.000
	Кладово			/	/	ширина заштитног појаса	2.000
Удаљеност од места потрошње	Врање	Linear	Опадање	/	/	200	3.959,32
	Кладово			/	/	200	4.905,61

Стандардна логистичка функција (сигмоид функција) са тенденцијом пораста је коришћена како би се нормализовале вредности соларног зрачења, док је за нагиб коришћена иста функција, само са тенденцијом опадања. Повећањем удаљености од површинских вода расте повољност простора за изградњу фотонапонских електрана, па је због тога, у овом случају, одабрана сигмоид функција са тенденцијом пораста. Симетрична сигмоид функција, у облику трапеза, одабрана је у складу са знањем, да се са одступањем од јужног правца умањује повољност простора за изградњу фотонапонских електрана. Линеарна функција, са тенденцијом опадања, коришћена је да би се изразиле промене повољности простора са температуром ваздуха, као и у случају удаљености од места потрошње. Подаци о удаљености путне и железничке инфраструктуре, као и електроенергетских водова и трансформаторских станица, нормализовани су помоћу J-shaped функције, са тенденцијом опадања. Важно је напоменути да се J-shaped функција приближава вредности нуле, али да је никада не достиже. Тачке промене (a, d) код J-shaped функција достижу вредност 0,5.

Утицај педолошког састава на повољност простора за изградњу фотонапонских електрана одређен је на основу субјективног расуђивања евалуатора, уважавајући еколошко-производну вредност одређених типова земљишта (Табела 9). Нормализоване вредности изражене су на скали од 0 до 1, при чему се вредност 1 интерпретира као изразито повољан педолошки састав за изградњу фотонапонске електране, док вредност нула указује на изразито неповољан педолошки састав.

Табела 9. Класе и вредности дефинисане за потребе вредновања простора за изградњу фотонапонских електрана

Категорије земљишта	Вредност
Солончак и солонец; Ранкер, сирозем, литосол на андезиту, дациту, туфу; Калкомеланосол, сирозем, литосол на крецњаку; Ранкер, сирозем, литосол на песчару, флишу и рожнацима; Калкокамбисол и калкомеланосол; Ранкер, сирозем, литосол на граниту, гранодиориту, кварцлатиту	1
Дистрични камбисол и местимично ранкер; Ранкер, сирозем, литосол на шкриљцима и гнајсу; Рендзина, сирозем и литосол на карбонатним супстратима	0,8
Ареносол и сирозем на песку; Псеудоглеј; Ранкер, сирозем, литосол на серпентину и базичним стенама	0,6
Хумоглеј и еуглеј; Лувисол и земљишта у лесивирању	0,4
Хумофлувисол; Флувисол; Колувијум	0,2
Чернозем; Вертисол; Еутрични камбисол	0

Растрски слојеви припремљени на овај начин коришћени су за одређивање индекса просторне повољности за изградњу фотонапонских електрана. Карте нормализованих вредности за сваки фактор и обе истраживане јединице локалне самоуправе дати су у прилогу А (Слика А5–Слика А24).

3.5. Индекс просторне повољности

Поступак вредновања обављен је у програму QGIS 2.18 (2017). Да би се извршило преклапање слојева (растера), различите вредности ћелија улазних растера су претходно нормализоване на заједничкој скали, у распону од 0 до 1. Овако нормализовани подаци омогућују поређење и процесуирање вредности различитих фактора у јединствен индекс просторне повољности.

Тежински коефицијенти за критеријуме и факторе, добијени АНР методом (Табела 10), коришћени су као множитељи у једначини (9) за израчунавање индекса просторне повољности (I):

$$I = \sum_{i=1}^{10} w_i x_i \prod_{j=1}^8 c_j \quad (9)$$

где је w_1 тежински коефицијент за ирадијацију; x_1 је нормализована вредност пиксела ирадијације (енергије глобалног зрачења); w_2 је тежински коефицијент за температуру

ваздуха; x_2 је нормализована вредност пиксела температуре ваздуха; w_3 је тежински коефицијент за нагиб терена; x_3 је нормализована вредност пиксела нагиба терена; w_4 је тежински коефицијент за експозицију терена; x_4 је нормализована вредност пиксела експозиције терена; w_5 је тежински коефицијент за педолошки састав; x_5 је нормализована вредност пиксела педолошког састава; w_6 је тежински коефицијент за удаљеност од површинских вода; x_6 је нормализована вредност пиксела удаљености од површинских вода; w_7 је тежински коефицијент за удаљеност од путне инфраструктуре; x_7 је нормализована вредност пиксела удаљености од путне инфраструктуре; w_8 је тежински коефицијент за удаљеност од електровода; x_8 је нормализована вредност пиксела удаљености од електровода; w_9 је тежински коефицијент за удаљеност од трафостаница; x_9 је нормализована вредност пиксела удаљености од трафостаница; w_{10} је тежински коефицијент за удаљеност од трафостаница; x_{10} је нормализована вредност пиксела удаљености од трафостаница; c_1 фактор елиминације за нагиб терена; c_2 фактор елиминације за травнате површине; c_3 фактор елиминације за изграђене површине; c_4 фактор елиминације за заштићена природна добра; c_5 фактор елиминације за заштићена културна добра; c_6 фактор елиминације за површинске воде; c_7 фактор елиминације за путну и железничку инфраструктуру; c_8 фактор елиминације за енергетску инфраструктуру.

Табела 10. Вредности тежинских коефицијената за факторе

Критеријуми/фактори	Тежински коефицијенти	Нормализована вредност пиксела за растерске подлоге	
		Ознака	Скала
Физичко-географски критеријум			
Ирадијација (w_1)	0,24	x_1	min = 0; max = 1
Температура ваздуха (w_2)	0,18	x_2	min = 0; max = 1
Критеријум животна средина			
Нагиб терена (w_3)	0,14	x_3	min = 0; max = 1
Експозиција терена (w_4)	0,12	x_4	min = 0; max = 1
Педолошки састав (w_5)	0,10	x_5	min = 0; max = 1
Критеријум локација			
Удаљеност од површинских вода (w_6)	0,02	x_6	min = 0; max = 1
Близина путева (w_7)	0,04	x_7	min = 0; max = 1
Близина електроенергетских водова (w_8)	0,06	x_8	min = 0; max = 1
Близина трансформаторских станица (w_9)	0,07	x_9	min = 0; max = 1
Близина места потрошње (w_{10})	0,03	x_{10}	min = 0; max = 1

Коначан производ вредновања је карта просторне повољности за изградњу фотонапонских електрана на којој су приказане четири категорије повољности (*мање повољно, умерено повољно, повољно и веома повољно*).

3.6. Процена производње електричне енергије

Након спроведеног вредновања на истраживаном простору одабране су парцеле, које према првом сценарију (Поглавље 4.1.2), имају највећу вредност индекса просторне повољности, односно оне површине које спадају у категорију најповољнијих за развој фотонапонских електрана. Дигитализација експерименталних парцела изведена је у програму QGIS 2.18.4, користећи геореференциране слике, које су преузете са дигиталне платформе под називом Национална инфраструктура геопросторних података—НИГП (Геосрбија, n.d.).

Постоје различите методе за процену производње електричне енергије код фотонапонских система. Већина ових метода даје веома сличне резултате, бар када се ради о

модулима од кристалног силицијума (Friesen, et al. 2007). Huld, Gottschalg, Beyer, & Topić, (2010) су модификовали метод који су првобитно предложили King, Boyson, & Kratochvill (2004), а према коме је производња електричне енергије код фотонапонског модула у директној вези са његовом температуром и интензитетом зрачења (ирадијансом).

Процена производње електричне енергије на одабраним парцелама извршена је према једначини (10), на основу просечне вредности ирадијансе на нагнуту површину (H_T), укупне површине предвиђене за инсталацију фотонапонске електране (A) и фактора (f_i) који ограничавају производњу електричне енергије (de Castro, Mediavilla, Miguel, & Frechoso, 2013).

$$P = H_T \cdot A \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \quad (10)$$

У једначини (10) фактор f_1 представља ефикасност конверзије фотонапонског модула, f_2 однос перформанси фотонапонског система (енг. *performance ratio*) током експлоатационог периода, док се f_3 односи на степен заузетости земљишта фотонапонским панелима.

3.6.1. Улазни подаци

Имајући у виду постојеће разлике између скупова података, као и неправилности у оквиру јединственог скупа, при одабиру најприхватљивијих улазних података у моделу за процену производње електричне енергије, на одабраним локацијама, разматрано је неколико критеријума. Доступност, квалитет и поузданост података били су основни критеријуми који су одредили извор података и метод њихове обраде.

У моделу су коришћене месечне вредности ирадијанса на нагнуту површину, за 2015 годину, просторне резолуције $25 \text{ m} \times 25 \text{ m}$. Подаци су добијени израчунавањем дневних вредности ирадијансе за препоручен просечан дан у месецу, на основу једначине (11), коју су дали Liu & Jordan (1961):

$$R = \frac{H_T}{H} = \left(1 - \frac{H_D}{H}\right) R_B + \frac{H_D}{H} \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right] + \rho_G \left[\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right] \quad (11)$$

где R представља однос дневне ирадијансе на нагнуту и хоризонталну површину, H_T дневну ирадијансу на нагнуту површину, H ирадијансу на хоризонталну површину, H_D дифузну ирадијансу, R_B фактор за директну ирадијансу, β угао нагиба модула, а ρ_G рефлексивност тла (алbedo). Типична вредност албеда за травнате површине износи 0,2.

Фактор за директну ирадијансу (R_B) представља сложену функцију прозирности атмосфере (осим у периоду равнодневнице) која зависи од облачности, водене паре и концентрације честица у ваздуху (Klein, 1977). Liu & Jordan (1961) су дали једначину (12) на основу које се може проценити R_B :

$$R_B = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos(\delta) \sin(\omega'_s) + (\pi/180) \omega'_s \sin(\varphi - \beta) \sin(\delta)}{\cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) + (\pi/180) \omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta)} \quad (12)$$

где је φ географска ширина локације, δ угао деклинације Сунца, β угао нагиба модула, ω_s сатни угао заласка Сунца, а ω'_s сатни угао заласка Сунца на нагнуту површину.

Сатни угао заласка Сунца се рачуна према једначини (13), док се за сатни угао заласка Сунца на нагнуту површину користи једначина (14) (Kalogirou, 2014):

$$\cos(\omega_s) = -\tan(\varphi) \tan(\delta), \quad (13)$$

$$\omega'_s = \min\{\omega_s, \cos^{-1}[-\tan(\varphi - \beta) \tan(\delta)]\}. \quad (14)$$

Важно је напоменути да се за јужну хемисферу израз $(\varphi - \beta)$ у једначинама (12) и (14) мења у $(\varphi + \beta)$.

Количина енергије која доспе на пријемну површину зависи од њеног нагиба и оријентације у односу на Сунчеве зраке. У зимском периоду, од октобра до фебруара, највеће месечне приходе остварују површине које су оријентисане према југу, под нагибом од 60° (IMSI, 2004). Највеће месечне приходе током маја, јуна и јула остварују површине оријентисане према југу, под нагибом од 10° , док је за март, април, август и септембар најповољнији нагиб од 30° (IMSI, 2004). Оптимизација непокретних (фиксних) панела фотонапонских електрана на земљи подразумева максимално коришћење соларне енергије уз минималне трошкове. Како би се избегли скупи сензори за праћење кретања Сунца и потребна механизација, у моделу за процену производње електричне енергије узети су у обзир само статични панели, постављени под нагибом који одговара максималној производњи енергије на годишњем нивоу.

У пракси је уобичајено да се фотонапонски модули нагињу под углом који је сличан географској ширини локације, како би се током године смањило просечан годишњи упадни угао Сунчевих зрака (енг. incidence angle). Мањи угао нагиба користан је, јер се на тај начин смањује сенчење суседних модула и оптерећења која проузрокује ветар, као и боље коришћење соларног флуksа и висине Сунца током летњих месеци. У моделу је за израчунавање нагиба фиксираних модула коришћена једначина (15), која обезбеђује максималну производњу енергије на годишњем нивоу (Chang, 2009):

$$\beta = 0,764\varphi + 2,14^\circ \quad (15)$$

где је φ географска ширина локације. Једначина (15) важи само када је $\varphi \leq 65$, у другом случају користи се $\beta = 0,224\varphi + 33,65^\circ$.

Деклинација Сунца је угао између линије која спаја центар Земље и центар Сунца, и равни у којој лежи Екватор. Вредност овог угла је позитивна када је Сунце северно од Екватора, а негативна када је јужно. Деклинација Сунца је одређена једначином (16) (Kalogirou, 2014):

$$\delta = 23,45 \sin \left[\frac{360}{365} (284 + N) \right] \quad (16)$$

где N означава редни број дана у години по Јулијанском календару (Табела 11).

Табела 11. Просечан дан за сваки месец и деклинација Сунца за тај дан.

Месец	Просечан дан у месецу		
	Дан у месецу ^a	Дан у години	Деклинација (δ)
Јануар	17	17	-20,92
Фебруар	16	47	-12,95
Март	16	75	-2,42
Април	15	105	9,41
Мај	15	135	18,79
Јун	11	162	23,09
Јул	17	198	21,18
Август	16	228	13,45
Септембар	15	258	2,22
Октобар	15	288	-9,60
Новембар	14	318	-18,91
Децембар	10	344	-23,05

Напомене. ^aKlein (1977)

Подаци о брзини ветра су преузети из скупа података под називом Wind Atlas Balkan (Sander + Partner, 2016). Средње месечне и средње годишње вредности на висини од 50 m, за

тридесетдвогодишњи период, од 1981. до 2012. године, представљене су у виду растерских мапа, просторне резолуције $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$. Мапе су прерађене у финију резолуцију ($100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$) коришћењем дводимензионалне сплајн интерполације. На основу тога су и све остале подлоге (улазни подаци) прерађени у исту резолуцију, како би били компатибилни. С обзиром да поменути скуп података није садржао податке о температури ваздуха на висини 2 m изнад тла, извршено је моделовање температуре ваздуха на основу вредности које су прикупљене са 62 метеоролошке станице у Србији, за исти временски период (Слика А2). Важно је напоменути да су подаци о температури ваздуха непотпуни, нарочито за оне станице које се налазе на територији АП Косово и Метохија. Тај недостатак је решен интерполацијом, користећи комплетну серију података са најближе метеоролошке станице.

3.6.2. Ефикасност фотонапонског модула (f_1)

Ефикасност фотонапонског модула (изражена у %) квантификује његову могућност да конвертује сунчево зрачење у електричну енергију. Фотонапонски панели који су данас доступни на комерцијалном тржишту имају ефикасност која достиже 22,5%, при чему већину чине они који имају ефикасност опсега од 15% до 17% (Aggarwal, 2018). На тржишту су углавном заступљени фотонапонски модули од кристалног силицијума, преко 90%, док остатак чине модули изграђени од других ћелија.

Фотонапонски панели на бази ћелија од монокристалног силицијума одликују се највећом ефикасношћу, која обично износи од 15% до 24% (Voxwell, 2015). Због тога су монокристални панели штедљивији у погледу заузимања земљишта. Међутим, сложен производни процес има за резултат скупље панеле, па су монокристални панели погоднији за системе на крововима комерцијалних или стамбених објеката.

За разлику од монокристалних, фотонапонски панели на бази поликристалних ћелија су јефтинији и једноставнији за производњу. Међутим, ефикасност поликристалних панела износи од 13% до 18% (Voxwell, 2015). Такође, поликристални панели имају нешто нижу толеранцију на топлоту него монокристални панели. Због приступачне цене и релативно добре ефикасности поликристални панели имају широку примену, било да се ради о инсталацијама на објектима или онима на земљи.

У једначини (10) коришћена је уобичајена ефикасност за поликристалне фотонапонске модуле од 15% (Labudović et al., 2011), тј. $f_1 = 0,15$.

3.6.3. Однос перформанси фотонапонског система (f_2)

У области фотонапонске технологије, термин „однос перформанси” представља укупне губитке у фотонапонском систему који настају претварањем једносмерне струје (DC) у наизменичну струју (AC). Он показује који део једносмерне струје се заправо може користити.

Типични губици у фотонапонском систему обухватају губитке настале због деградације, температуре и запрљаности модула, као и оне у проводницима, инвенторима, трансформаторима и приликом предаје електричне енергије у електродистрибутивну мрежу.

За потребе процене производње електричне енергије на одабраним парцелама, однос перформанси (f_2) се може изразити кроз једначину (17) (Martín-Chivelet, 2016):

$$f_2 = \prod_{i=1}^8 (1 - L_i) \quad (17)$$

где је L_1 губитак услед промене температуре модула, L_2 је губитак услед промене упадног угла (енг. *angle of incident*), L_3 је губитак услед сенчења модула, L_4 је губитак услед деградације модула, L_5 је губитак настао у интерној мрежи фотонапонског система, L_6 је

губитка од инвентора, L_7 је губитак од трансформатора, L_8 је губитак услед расположивости система и прикључка на електромережу.

Губици настали услед промене температуре ваздуха и упадног угла зрачења израчунати су на основу једначине (18) и (22). Губитак услед сенчења модула преузет је из студије Martín-Chivelet (2016), док су остали губици, везани за израчунавање односа перформанси, преузети су из практичног примера једне фотонапонске електране прикључене на електроенергетску мрежу, који су дали Kymakis, Kalykakis, & Papazoglou, 2009.

3.6.3.1. Одређивање губитка услед промене температуре модула

Када фотонапонски модули раде у условима повишене температуре ваздуха, њихова ефикасност је редукована. Губици који настају услед промене температуре (L_1) ваздуха могу се израчунати једначином (18), изведеном на основу израза који је дао Lopez Ramirez (2017):

$$L_1 = (T_m - T_a)\beta_{\text{ref}} \quad (18)$$

где је T_m температура модула, T_a температура амбијента, β_{ref} температурни коефицијент за корекцију ефикасности.

Температура модула (може се одредити према једначини (19), коју су дали Skoplaki, Boudouvis, & Palyvos (2008):

$$T_m = \frac{T_a + \left(\frac{H_T}{H_{\text{NOCT}}}\right) \frac{h_{w,\text{NOCT}}}{h_w} (T_{\text{NOCT}} - T_{a,\text{NOCT}}) \left[1 - \frac{\eta_{\text{ref}}}{(\tau\alpha)} (1 + \beta_{\text{ref}} T_{\text{ref}})\right]}{1 - \frac{\beta_{\text{ref}} \eta_{\text{ref}}}{(\tau\alpha)} \left(\frac{H_T}{H_{\text{NOCT}}}\right) \left(\frac{h_{w,\text{NOCT}}}{h_w}\right) (T_{\text{NOCT}} - T_{a,\text{NOCT}})} \quad (19)$$

Где је T_a температура ваздуха (амбијентална температура), H_T ирадијанса на оптимално нагнуту површину, H_{NOCT} ирадијанса у условима нормалне радне температуре ћелије ($H_{\text{NOCT}} = 800 \text{ W/m}^2$), h_w коефицијент преноса топлоте услед конвекције ветра ($\text{W/m}^2 \text{ K}$), $h_{w,\text{NOCT}}$ коефицијент преноса топлоте услед конвекције ветра у условима нормалне радне температуре ћелије (при брзини ветра 1 m/s), T_{NOCT} нормална радна температура ћелије, $T_{a,\text{NOCT}}$ температура ваздуха у условима нормалне радне температуре ћелије ($T_{a,\text{NOCT}} = 20^\circ\text{C}$), η_{ref} електрична ефикасност ћелије у референтним условима, $\tau\alpha$ преносно-апсорциони производ, β_{ref} температурни коефицијент за корекцију ефикасности, T_{ref} температура модула у референтним условима.

За израчунавање температуре модула коришћене су типичне вредности које произвођачи поликристалних модула наводе у спецификацији: $T_{\text{NOCT}} = 47^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, $\eta_{\text{ref}} \approx 0,12$, $\beta_{\text{ref}} = 0,004^\circ\text{C}$ за $T_{\text{ref}} = 25^\circ\text{C}$ (Skoplaki & Palyvos, 2008). За преносно-апсорциони производ ($\tau\alpha$) узета је вредност $0,9$ која се према Duffie & Beckman (2013) може користити без озбиљних грешака.

За одређивање коефицијента преноса топлоте услед конвекције ветра (h_w) коришћена је једначина (20), коју су дали Loveday & Taki (1996):

$$h_w = 8,91 + 2V_r \quad (20)$$

где V_r представља брзину ветра на висини анемографа (10 m од изнад тла).

Велики утицај трења у приземном слоју ваздуха захтева да се при израчунавању брзине ветра на одређеној висини у обзир узме храпавост терена на којем се врши мерење (Плазинић, 1985). С обзиром да су оригинални подаци, о брзини ветра, дати на висини 50 m

изнад тла, коришћена је једначина (21) (Kalogirou, 2014) како би се израчунала брзина ветра на висини анемографа (10 m изнад тла):

$$\frac{V_z}{V_r} = \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)} \quad (21)$$

где је V_r брзина ветра на висини анемографа, V_z брзина ветра на одређеној висини z , која у овом случају износи 50 m изнад тла. Параметри хрпавости земљишта z_0 , за сваки тип земљишног покривача (CLC класу), преузети су из Табеле 12.

Табела 12. Параметри хрпавости земљишта додељене за CLC класе

Тип земљишног покривача (CLC код)	z_0 [m] ^a
Континуирано урбано подручје (111); Неконтинуирано урбано подручје (112); Индустријске или комерцијалне јединице (121); Зелене градске површине (141)	1
Листопадне шуме (311); Четинарске шуме (312); Мешовите шуме (313)	0,8
Путна или железничка мрежа са припадајућим земљиштем (122); Лучке површине (123); Рудници (131); Депоније (132); Градилишта (133); Спортско рекреациони објекти (142)	0,5
Склерофилна вегетација (323); Прелазни шумовито-жбунасти предео (324)	0,2
Виногради (221); Воћњаци (222); Маслињаци (223)	0,1
Ненаводњавано обрадиво земљиште (211); Трајно наводњавано земљиште (212); Пиринчана поља (213); Подручја са проређеном вегетацијом (333)	0,05
Сложени обрасци обраде (242); Претежно пољопривредно земљиште са значајним површинама природне вегетације (243); Пољопривредно шумске површине (244)	0,03
Пашњаци (231); Једногодишњи усеви везани за сталне усеве (241); Природни травњаци (321)	0,008
Путопољине и вршине (322); Голе стене (332); Опожарене површине (334)	0,005
Ледници и површине под вечитим снегом (335)	0,001
Плаже, дине и песак (331)	0,0003
Копнене мочваре (411); Тресаве (412); Слане мочваре (421); Солане (422); Обале под утицајем плиме (423); Водотоци (511); Водене површине (512); Обалске лагуне (521); Естуари (522); Мора и океани (523)	0,0001

Напомена. ^aKastanas, Georgiou, Zavros, & Akylas (2014)

Растрски слојеви, који садрже податке о просечној температури ваздуха на месечном и годишњем нивоу, добијени су применом Регресионог кригинга који је, онедавно, постао саставни део SAGA GIS модула. Помоћни растрски слојеви са подацима о надморској висини, географској дужини и географској ширини коришћени су како би се побољшала предиктивна способност модела за интерполацију. Коришћењем дигиталног модела висина (EU-DEM v1.1), као предиктора, објашњено је више од 70% варијација температуре ваздуха, која је измерена на 62 станице у Србији. Овако висок коефицијент детерминације (R^2) омогућава „екстраполацију” вредности много даље од места мерења, што би било потпуно неприкладно коришћењем методе ординарног кригинга (Hengl, 2009).

Регресиони кригинг почиње вишеструком линеарном регресијом температуре ваздуха према надморској висини, географској дужини и географској ширини, како би се добили коефицијенти и извели резидуали на свим мерним местима. Следи моделовање коваријансе од резидуала у виду вариограма. У вариограмској анализи коришћен је квадратни математички модел јер показује најбољу повезаност са експерименталним вариограмом. На основу моделованог вариограма, резидуали се интерполирају методом ординарног кригинга, а затим се додају процењеном тренду. Резултати предикције су представљени у форми растера (Слика А2), просторне резолуције 25 m × 25 m, као и дигитални модел висина који је коришћен као објашњавајућа варијабли.

3.6.3.2. Одређивање губитка услед промене упадног угла

Када сунчеви зраци падају под углом који је нормалан на површину модула, рефлективност модула је тада већа. Рефлектовани сунчеви зраци не утичу на производњу струје у фотонапонском модулу, а претпоставља се, да у овом случају, не утичу ни на загревање модула (Huld & Gracia Amillo, 2015).

За одређивање губитка који настају услед промене упадног угла ($L_2(\theta)$), коришћена је једначина (22) коју су дали Martin & Ruiz (2001):

$$L_2(\theta) = 1 - \left[\frac{1 - \exp(-\cos(\theta)/a_r)}{1 - \exp(-1/a_r)} \right] \quad (22)$$

где је θ упадни угао (угао између сунчевих зрака и нормале нагнуте површине), а a_r коефицијент угаоних губитака. У овом моделу одабран је типичан коефицијент угаоних губитака за чисте поликристалне модуле ($a_{r, \text{clean}} = 0,159$), који су емпиријски одредили Martin & Ruiz (2001). Применом једначине (23), коефицијент угаоних губитака је модификован тако да обухвати и ефекат запрљаности модула (Martin, Ruiz, & Bione, 2010):

$$a_r = a_{r, \text{clean}} + b_s \cdot \Delta T_{\%} \quad (23)$$

где $a_{r, \text{clean}}$ представља вредност коефицијента угаоних губитака за потпуно чисте модуле, b_s коефицијент запрљаности (типична вредност b_s износи 0,0126) и $\Delta T_{\%}$ је проценат смањења проласка сунчевих зрака, при нормалном упадном углу, услед запрљаности, у односу на чисте модуле. Martin et al. (2010) су експериментално утврдили да су модули чисти када је $\Delta T = 0\%$, средње запрљани када је $\Delta T = 2\%$ и јако запрљани када је $\Delta T = 8\%$. У моделу су за прорачун коефицијента угаоних губитака узети услови средње запрљаности модула.

Просечни месечни губици који настају услед промене упадног угла израчунати су постављањем у однос вредности просечне ирадијансе са урачунатим губицима и укупне вредности без губитака. Прорачуни овог типа захтевали су моделовање сатних вредности ирадијансе у периоду највеће производње електричне енергије ± 2 сата од локалног поднева за сваки препоручен просечан дан у месецу (Табела 11), као и за израчунавање средњих месечних и средње годишњих вредности ирадијансе, и у овом случају је коришћен програм SAGA, тј. модул Potential Incoming Solar Radiation, с тиме да је за временски период израчунавања одабрана опција тренутак (енг. moment). На основу добијених сатних вредности за посматрани период израчуната је ирадијанса на нагнуту површину, применом једначине (11).

За хоризонталне површине ($\beta = 0^\circ$) упадни угао Сунчевих зрака једнак је зенитном углу Сунца ($\theta = \Phi$). У другим случајевима, општа једначина (24) за одређивање упадног угла Сунчевог зрачења на произвољно нагнуту површину, има облик израза (Kreith & Kreider, 1978; Duffie & Beckman, 2013):

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \sin(\varphi) \sin(\delta) \cos(\beta) - \cos(\varphi) \sin(\delta) \sin(\beta) \cos(\gamma) \\ & + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \cos(\beta) \\ & + \sin(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \sin(\beta) \cos(\gamma) \\ & + \cos(\delta) \sin(\omega) \sin(\beta) \sin(\gamma) \end{aligned} \quad (24)$$

где је φ географска ширина, δ деклинација Сунца, β нагиб пријемне површине, γ азимут пријемне површине, и ω сатни угао Сунца. У моделу је претпостављено да су фотонапонски панели оријентисани према југу ($\gamma = 0^\circ$), што редукује једначину (24) у једначину (25):

$$\cos(\theta) = \sin(\varphi - \beta) \sin(\delta) + \cos(\varphi - \beta) \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (25)$$

Препоручљиво је да се при одређивању било каквог геометријског односа Земље и Сунца, соларно време конвертује у угаону форму, помоћу тзв. сатног угла Сунца. Сатни угао Сунца неке тачке на Земљиној површини је угао пројектован на екваторијалну раван линије која спаја средиште Земље и Сунца са линијом која спаја средиште Земље и посматрану тачку (Labudović et al., 2011). Време када Сунце достигне највиши положај на небу се дефинише као соларно подне за посматрану локацију. У соларно подне ($t_{sol} = 12 \text{ hr}$) сатни угао Сунца једнак је нули ($\omega = 0^\circ$), а са сваким померањем $\pm 15^\circ$ географске ширине помера се и соларно време $\pm 1 \text{ hr}$. Пре подне је његова вредност мања од нуле, а после подне већа од нуле. Сатни угао Сунца (ω) одређен је једначином (26) (Kalogirou, 2014):

$$\omega = (t_{sol} - 12)15 \quad (26)$$

где је t_{sol} соларно време (изражено 24).

Сатни угао Сунца могуће је одредити и на основу локалног времена, односно времена које показује часовник. Обично се соларно време не поклапа са локалним временом, па је потребно извршити одговарајућу корекцију применом једначине (27) (Kalogirou, 2014):

$$t_{sol} = LST + ET \pm 4(\lambda_{std} - \lambda_{loc}) - DS \quad (27)$$

где је LST локално време, ET једначина времена, λ_{std} стандардна географска дужина, λ_{loc} локална географска дужина, DS летње рачунање времена (може да има вредност 0 или 60 min). За локације које су источно од Гринича у једначини (26) се користи знак минус (-), док се за локације западно од Гринича користи знак плус (+). Ако се на локацији примењује летње рачунање времена (обично од краја марта до краја октобра) онда се вредност умањује за 60 минута, уколико се не примењује овај члан се изоставља.

Према Duffie & Beckman (2013), ET се може приближно одредити (у минутима) на основу једначине (28):

$$ET = 299,2(0,000075 + 0,001868 \cos(B) - 0,032077 \sin(B) - 0,014615 \cos(2B) - 0,04089 \sin(2B)) \quad (28)$$

под претпоставком да година почиње у поноћ Нове године и да ће тригонометријски делови једначине узимати аргумент B у степенима, који се добија на основу једначине (29):

$$B = (N - 1) \frac{360}{365} \quad (29)$$

где N означава редни број дана у години по Јулијанском календару.

3.6.4. Одређивање степена заузетости земљишта фотонапонским панелима (f_3)

Степен заузетости земљишта фотонапонским панелима зависи како од односа површине фотонапонског генератора (површина коју непосредно заузимају фотонапонски панели и простор између њих) и укупне површине погодне за изградњу фотонапонске електране (енг. Generator-to-system area ratio, GSR), тако и од фактора сабијања (енг. Packing factor, PF), којим се редукује нежељени ефекат сенчења панела током дана. Коефицијент заузетости земљишта фотонапонским панелима се може изразити кроз једначину (30):

$$f_3 = GSR \cdot PF \quad (30)$$

Martín-Chivelet (2016), наводи да GSR зависи од облика и величине терена, али да је на основу испитивања репрезентативних фотонапонских електрана, номиналне снаге веће од 1 MW, утврђено да се типична вредност за GSR креће у интервалу од 0,70 до 0,85. Прегледом фотонапонских електрана у Србији, помоћу сателитских снимача, утврђена је средња вредност за GSR, која износи $\sim 0,75$. Ова вредност коришћена је у једначини (30) како би се утврдио степен заузетости земљишта фотонапонским панелима.

Фактор сабијања је веома значајан фактор за процену производње електричне енергије на одређеној локацији. Вредност овог фактора, у великој мери, зависи како од димензија модула, нагиба пријемне површине, морфометријских карактеристика терена (експозиције и нагиба), угла елевације и азимута Сунца, тако и од одабраног критеријума сенчења.

Негативан ефекат сенчења панела није могуће избећи у потпуности због ограниченог простора за постављање панела. Са једне стране земљиште представља највреднији ресурс, па га је потребно је рационално користити, док са друге стране треба обезбедити услове за максимално коришћење соларне енергије. Највеће вредности ирадијације на дан летњег солстиција су у периоду од 9 до 15 часова, а на дан зимског солстиција, у периоду од 10 до 14 часова (Boz, Calvert, & Brownson, 2015).

Фактор сабијања је одређен помоћу једначине (31), коју је дала Martín-Chivelet (2016):

$$PF = \frac{l}{d} = \left(\cos \beta + \frac{\sin \beta}{\tan \alpha_s} \cos \gamma_s \right)^{-1} \quad (31)$$

где је l дужина модула, d је најмањи потребни размак између редова модула, β је нагиб пријемне површине (модула), α_s је висина Сунца, γ_s је азимута Сунца. Иако је фактор сабијања већи код терена са јужним нагибом, једноставност инсталације, нижи трошкови и мањи ризик од ерозије, утицали су на формирање претпоставке да су терени на разматраним локацијама равни. На основу једначине (30) одређен је фактор сабијања, на дан зимског солстиција, ± 2 hr од поднева, како би се избегло сенчење панела у периоду када се у фотонапонским системима произведе највише електричне енергије. Критеријум сенчења одабран је према препоруци Martín-Chivelet (2016) за фотонапонске системе који су инсталирани на географским ширинама мањим од 50° .

Висина (елевација) Сунца, је угао између средишта Сунца и хоризонталне површине на Земљи. Висина Сунца (α_s) може се изразити на основу једначине (32) (Kalogirou, 2014):

$$\cos(\alpha_s) = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (32)$$

где је δ деклинација Сунца, а ω је сатни угао Сунца.

Азимут Сунца (γ_s) је угао између пројекције Сунчевих зрака на хоризонталну површину и правца север-југ на хоризонталној површини. На северној хемисфери азимут Сунца се рачуна од југа, на основу једначине (33) (Kalogirou, 2014):

$$\sin(\gamma_s) = \frac{\cos(\delta) \sin(\omega)}{\cos(\alpha_s)} \quad (33)$$

Азимут Сунца има позитивне вредности када је Сунце на западу (послеподне), а негативне када је на истоку (преподне).

3.7. Анкетно истраживање

У циљу истраживања ставова и перцепције друштва о обновљивим изворима енергије, са нагласком на системе за експлоатацију соларне енергије и њихов утицај на животну средину, спроведено је анкетно истраживање у периоду од 12. априла до 02. јула 2018. године.

Истраживање је обављено путем електронског (Google) упитника који је намењен, како професионалцима у домену обновљивих извора енергије, тако и осталима. Упитник је подељен путем електронске поште и преко друштвених мрежа. Међу испитаницима нашли су се професори, сарадници и студенти различитих факултета у оквиру пет универзитета у Србији. У истраживању су, такође, учествовали и запослени у државним институцијама, као и чланови професионалних удружења.

Упитник је организован тако да обухвата три тематске области. На основу питања у оквиру прве тематске области прикупљени су подаци о социо-демографским карактеристикама испитаника. Постављена питања имала су унапред понуђене одговоре (затворен тип питања), осим у случају прикупљања података о месту становања и појединих информација о испитаницима који припадају категорији студената. У оквиру друге тематске области од испитаника је затражено да дају одговоре на питања везана за обновљиве изворе енергије. У зависности од постављеног питања, испитаници су имали могућност да изабере један или више могућих одговора или да на основу скале за оцењивање изразе свој став. На крају друге области постављено је питање које има улогу да из даљег тока анкете искључи испитанике којима фотонапонски системи нису познати. Питања из треће тематске области су стручнија, и односе се на фотонапонске системе и њихов утицај на животну средину (Прилог В).

На овај начин прикупљени су одговори од укупно 566 испитаника, од чега је 58% испитаника одговорило на сва питања из упитника.

3.7.1. Обрада и анализа података

Одговори прикупљени путем упитника претворени су у нумеричке кодове и као такви унети у програм IBM SPSS 20.1 (*Statistical Package for the Social Sciences*). За описивање и анализу добијених одговора коришћене су методе дескриптивне и инференцијалне статистике.

Методе дескриптивне статистике се користе за сређивање, приказивање и одређивање параметара скупова података, како би се на јасан и свеобухватан начин описала група испитаника или истраживана појава. За потребе анкетног истраживања коришћене су следеће методе дескриптивне статистике: фреквенцијски приказ, процентуални приказ, различите мере централне тенденције и мере дисперзије података.

Методе инференцијалне статистике служе за анализу узорака и проналажење правилности или разлика унутар или међу њима. Постављене хипотезе подвргнуте су различитим статистичким тестовима, на основу чијих су резултата, са одређеним степеном значајности ($p < 0,05$ и $p < 0,01$), потврђене или оповргнуте.

3.7.2. Коришћени статистички тестови

За тестирање значајних разлика између група користе се параметарски и непараметарски тестови. Параметарски тестови подразумевају више претпоставки у погледу популације из које је извучен узорак (нпр. нормалност расподеле, хомогеност варијансе, независност опсервације, и сл.), као и да су подаци добијени мерењем на интервалним скалама. Непараметарски тестови користе се као алтернатива за параметарске тестове у ситуацијама када нису задовољене претпоставке неопходне за примену неког од стандардних параметарских тестова или када су подаци добијени мерењем на номиналним и ординалним скалама. Флексибилност у погледу природе података и претпоставки потребних за примену непараметарских тестова носи са собом већи ризик од појаве грешака при утврђивању разлика или веза у групама (Pallant, 2011).

За тестирање постављених хипотеза, у оквиру анкетног истраживања, коришћени су следећи непараметарски тестови: Хи-квадрат тест независности, Ман-Витнијев U тест, Крускал-Волисов тест, Вилкоксонов тест, Фридманов тест, Спирманов коефицијент ранга корелације.

3.7.2.1. Хи-квадрат тест независности

Хи-квадрат тест независности (енг. Chi-square test for independence) пореди вредности учесталости или пропорције случајева опажаних у свакој од категорија, са вредностима које би биле очекиване да између две посматране променљиве нема никакве везе. Поређење се заснива на унакрсној табели, тј. матрици у којој су категорије једне променљиве укрштене са категоријама друге променљиве (Pallant, 2011). Вредност у свакој ћелији матрице указује на учесталост или број појединаца у конкретној комбинацији категорија посматраних променљивих. Вредност Хи-квадрат (χ^2) може се израчунати према једначини (34) (Gravetter & Wallnau, 2013):

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e} \quad (34)$$

где f_o представља опажену/осмотрену (емпиријску) учесталост, док f_e представља очекивану теоријску учесталост.

Иако се очекивана учесталост изводи из нулте хипотезе и карактеристика узорка, није неопходно проћи обимне прорачуне да би се дошло до њене вредности. Gravetter & Wallnau, 2013 наводе једначину (35) за израчунавање очекиване фреквенције за било коју ћелију у матрици расподеле учесталости:

$$f_e = \frac{f_c f_r}{n} \quad (35)$$

где је f_c укупна учесталост за колону (укупна сума за колону), f_r је укупна учесталост за ред (укупна сума за ред), а n је број појединаца у целом узорку.

Као што се може видети из једначине (34) χ^2 указује на одступање података осмотрених и очекиваних вредности. Велико одступање даје велику вредност χ^2 и указује на то да нулту хипотезу треба одбацити. Пре тога потребно је сазнати да ли је вредност χ^2 статистички значајна, што се може утврдити израчунавањем броја степена слободe (df) и читавањем граничне вредности df за одговарајући ниво значајности (више о овоме у Gravetter & Wallnau, 2013). Број степена слободe (df) за Хи-квадрат тест независности израчунава се на основу једначине (36) (Gravetter & Wallnau, 2013):

$$df = (R - 1)(C - 1) \quad (36)$$

где R представља број редова, а C број колона у матрици расподеле учесталости.

Пошто значајност дејства не значи нужно и велико дејство, препоручљиво је да се у интерпретацији добијених резултата укаже и на величину утицаја (тј. јачине везе између променљивих). Величина утицаја добија се израчунавањем Пси коефицијента (ϕ) према једначини (37) (Gravetter & Wallnau, 2013):

$$\phi = \sqrt{\frac{\chi^2}{df}} \quad (37)$$

За интерпретацију добијених вредности ϕ користе се исти стандарди као и код корелације: 0,10 је мали утицај, 0,30 је средњи утицај, а 0,50 је велики утицај.

Када је матрица већа од 2×2 , за одређивање величине утицаја користи се Крамеров показатељ V (енг. Cramer's V), који се може одредити на основу једначине (38) (Gravetter & Wallnau, 2013):

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{n(df^*)}} \quad (38)$$

где број степена слободe (df^*) није исти као и за Хи-квадрат тест. У овом случају вредност df^* се утврђује тако што се најпре број категорија за обе варијабиле смањи за један ($R - 1$ и $C - 1$), а потом, од две добијене вредности, задржи она мања.

За итерпретацију добијених вредности V користе се стандарди које је предложио Cohen (1988) у зависности од броја степена слободe (Табела 13).

Табела 13. Стандарди за тумачење Крамеровог показатеља V за величину утицаја

	Мали утицај	Средњи утицај	Велики утицај
$df^* = 1$	0,10	0,30	0,50
$df^* = 2$	0,07	0,21	0,35
$df^* = 3$	0,06	0,17	0,29
$df^* = 4$	0,05	0,15	0,25
$df^* = 5$	0,05	0,13	0,22

Напомена. Модификовано према *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2 ed., p. 222), J. Cohen, 1988, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

3.7.2.2. Ман-Витнијев U тест

Ман-Витнијев U тест (енг. The Mann-Whitney U-test) се употребљава за испитивање разлика између две независне групе испитаника чији одговори потичу са интервалне или, бар, ординалне скале (Pallant, 2011; Турјаџанин & Ђекрлија, 2006). За разлику од t -теста (параметарски тест) који пореди средње вредности две групе, Ман-Витнијев U тест пореди њихове медијане. За израчунавање U вредности, неопходно је резултате за обе групе претворити у рангове, а потом применити за скуп A једначину (39) (Gravetter & Wallnau, 2013):

$$U_A = n_A n_B + \frac{n_A(n_A + 1)}{2} - \sum R_A \quad (39)$$

и за скуп B једначину (40) (Gravetter & Wallnau, 2013):

$$U_B = n_A n_B + \frac{n_B(n_B + 1)}{2} - \sum R_B \quad (40)$$

где n_A представља број резултата у скупу A , n_B представља број резултата у скупу B , а $\sum R$ сума рангова у одговарајућем скупу.

Ман-Витнијев U тест узима мању вредност од две претходно израчунате (једначина 39 и 40). Нулта хипотеза је оповргнута када је вредност за Ман-Витнијев U тест мања или једнака критичној вредности из табеле коју су дали Gravetter & Wallnau (2013) за одговарајуће нивое значајности ($\alpha = 0,05$ и $\alpha = 0,01$).

Када је узорак у две групе већи или једнак броју 20, нулту хипотезу је могуће проверити помоћу *z-score* статистике и јединице нормалне дистрибуције. За израчунавање вредности *z-score* користи се једначина (41) (Gravetter & Wallnau, 2013):

$$z = \frac{X - \mu}{\sigma} = \frac{U - \frac{n_A n_B}{2}}{\sqrt{\frac{n_A n_B (n_A + n_B + 1)}{12}}} \quad (41)$$

где је $X = U$, μ је аритметичка средина (средња вредност), а σ је стандардна девијација. Уколико постоје једнаки рангови, потребно је кориговати стандардну девијацију, користећи једначину (42) (Nachar, 2008):

$$\sigma_{corr} = \sqrt{\left(\frac{n_A n_B}{n(n-1)}\right) \left(\frac{n^3 - n}{12} - \sum_{j=1}^g \frac{t_j^3 - t_j}{12}\right)} \quad (42)$$

где је $n = n_A + n_B$, g број једнаких рангова, а t_j број једнаких рангова у скупу B .

Добијену вредност за *z-score* поредимо са критичном вредношћу за одређени ниво значајности, како би донели одлуку да ли би требало одбацити или прихватити нулту хипотезу. Такође, на основу вредности за *z-score* могуће је одредити приближну вредност за величину утицаја (r), користећи једначину (43) (Pallant, 2011):

$$r = \frac{z}{\sqrt{N}} \quad (43)$$

где N представља укупан број испитаника.

За интерпретацију величине утицаја могу послужити критеријуми које је дао Cohen (1988): 0,1 је мали утицај, 0,3 је средњи утицај, а 0,5 је велики утицај.

3.7.2.3. Крускал-Волисов тест

Крускал-Волисов тест (енг. Kruskal-Wallis test) представља непараметарску алтернативу једнофакторској анализи варијансе (енг. Analysis of variance—ANOVA) различитих друштвених група. За разлику од једнофакторске анализе варијансе, која користи оригиналне податке са интервалне скале, Крускал-Волисов тест претвара резултате непрекидне променљиве у рангове. Разликује се од Ман-Витнијевог U теста, по томе што омогућава поређење више од две различите групе испитаника. Када се одреде редни бројеви (рангови) за постигнуте резултате, потребно је изврши сумирање рангова за сваку групу испитаника појединачно. Сумиране вредности рангова (T) користе се за израчунавање вредности показатеља за Крускал-Волисов тест (H), на основу једначине (44) (Gravetter & Wallnau, 2013):

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \left(\sum \frac{T^2}{n} \right) - 3(N+1) \quad (44)$$

где n представља број чланова у скупу рангованих вредности за сваку групу појединачно, а N укупан број испитаника.

Показатељ H показује приближно сличну расподелу као χ^2 са бројем степени слободe који се добија одузимањем броја један од број различитих група испитаника.

Тумачење резултата Крускал-Волисовог теста заснива се на вредности показатеља χ^2 , броја степени слободе (df) и нивоа значајности (α). Ако је добијена вредност показатеља χ^2 већа од критичне вредности на одређеном нивоу значајности, нулту хипотезу не треба одбацити. У том случају подаци не пружају довољно доказа како би се закључило да постоје значајне разлике између различитих група испитаника.

Према Gravetter & Wallnau (2013) постоји једна претпоставка за Крускал-Волисов тест која је неопходна да би се оправдало коришћење расподеле χ^2 показатеља за идентификацију критичних вредности за показатељ H . Конкретно, број чланова у скупу ранжираних вредности за сваку групу појединачно мора износити најмање пет, односно за мерење променљиве користи се скала са пет или више чланова (подеока).

3.7.2.4. Вилкоксон тест

Вилкоксон тест (енг. Wilcoxon test) се користи када је потребно проценити разлике између два поновљена мерења на само једном узорку. Резултат разлике два мерења за сваког испитаника рангира се од мањег ка већем, у смислу њихове апсолутне, без обзира на знак и правац. Код Вилкоксонског теста постоје две врсте једнаких рангова:

- 1) Када испитаник у оба мерења добије исту оцену, па је разлика између два мерења једнака нула.
- 2) Када два или више испитаника имају идентичне резултате разлике (игнориши знак разлике).

У првом случају, даља обрада резултата налаже две могућности: избацити из анализе испитанике са резултатом нула или подједнако расподелити нуле између позитивних и негативних вредности. У другом случају, када разлике у оценама дају више једнаких резултата, потребно их је заменити њиховом средњом вредношћу.

Након формирања редоследа између добијених резултата, рангови се класификују у групу позитивних (порасти) и негативних (опадање) резултата. Затим се рачуна сума рангова за сваку групу, а мања вредност суме рангова за ове две групе узима се као параметар T у Вилкоксонском тесту. Ако је вредност T мања или једнака критичној вредности за T , за одређени ниво статистичке значајности ($\alpha = 0,05$ и $\alpha = 0,01$), онда се одбацује нулта хипотеза.

Када је узорак релативно велики, вредности за T имају тенденцију да формирају нормалну расподелу. Због тога се за узорке преко 50 испитаника, Вилкоксон тест може извести преко z -score статистике, користећи T у једначини (45) (Gravetter & Wallnau, 2013):

$$z = \frac{X - \mu}{\sigma} = \frac{T - \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}} \quad (45)$$

Табела нормалне расподеле коју су дали Gravetter & Wallnau (2013), користи се да би се утврдила критична област z -score статистике. На пример критична област z -score статистике, са нивоом значајности 0,05, износи $\pm 1,96$. Уколико је добијена вредност z мања или једнака критичној области треба прихватити нулту хипотезу.

3.7.2.5. Фридманов тест

Фридманов тест (енг. Friedman test) се користи када је потребно проценити да ли постоје разлике између три и више примера или услова истраживања, на основу истог узорка и мерне скале. Могуће је користити податке са номиналне и ординалне скале, за разлику од једнофакторске анализе варијансе поновљених мерења, која је ограничена само на податке са номиналне скале.

Између примера или услова истраживања врши се утврђивање редоследа и то за сваког испитаника појединачно. Након тога, врши се сумирање рангова (R) за сваки од примера или услова истраживања појединачно. Да би се, на крају, применом једначине (46) процениле разлике између њих (Gravetter & Wallnau, 2013).

$$\chi_r^2 = \frac{12}{nk(k+1)} \sum R^2 - 3n(k+1) \quad (46)$$

У једначини (46) χ_r^2 одговара хи-квадрат статистици рангова. Број испитаника у узорку означен је са n , а број примера или услова истраживања са k . Број степени слободe (df), код хи-квадрат статистике рангова, одређује се када се вредност k умањи за један. На основу чега је могуће проценити степен статистичке вероватноће добијених резултата, у зависности од вредности df .

3.7.2.6. Спирманов коефицијент ранга корелације

Спирманов коефицијент ранга корелације (ρ), је непараметарски тест који показује јачину и смер монотоне везе две варијабле. Монотона веза није стриктно претпоставка за Спирманов коефицијент ранга корелације. Визуелним прегледом податка није увек могуће сагледати какав је однос између две варијабле, па се на основу Спирмановог коефицијента ранга корелације може проверити да ли постоји монотона веза. Такође, Спирманов коефицијент не поставља никакве захтеве у погледу дистрибуције, једино што је поребно за његово израчунавање, јесте да подаци потичу са ординалне скале. Најпре се подаци измерени на ординалним скалама, за сваку варијаблу, рангирају по редоследу, а затим се одређује разлика између њихових рангова (d_i). За израчунавање ρ коефицијента користи се скраћена једначина (47) (Cleff, 2014):

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (47)$$

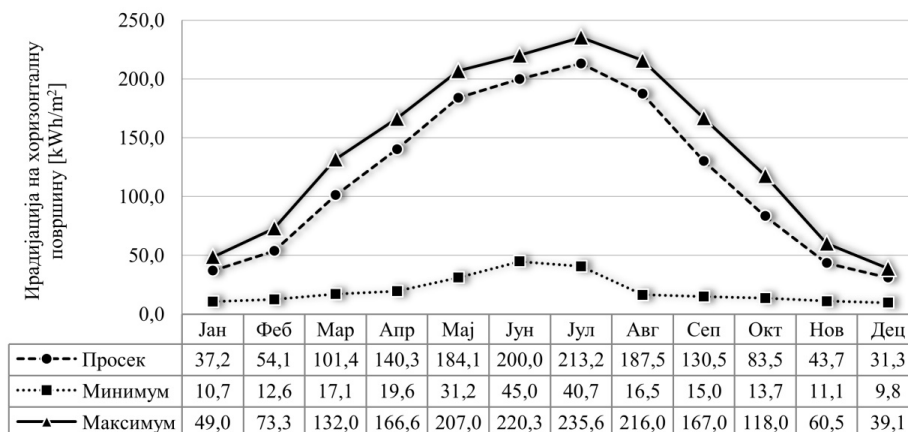
где $d_i = (R(x_i) - R(y_i))$, а n представља величина узорка (број подударних парова).

4. РЕЗУЛТАТИ

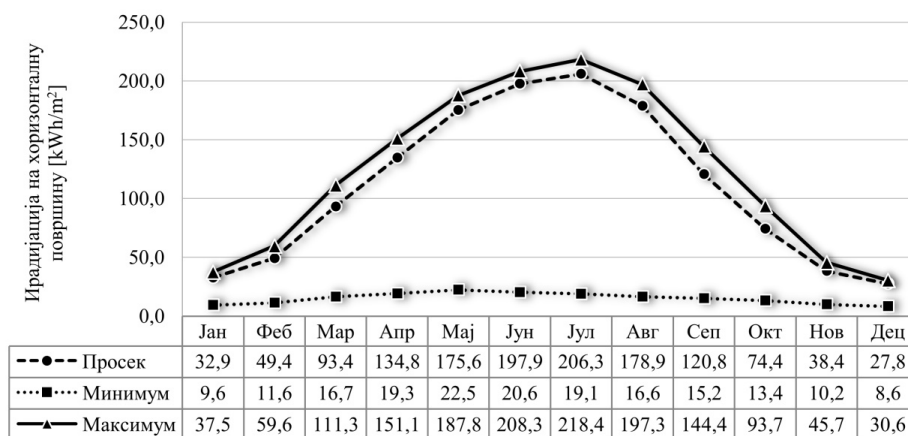
4.1. Резултати вредновања простора и процена производње електричне енергије

4.1.1. Потенцијал глобалног Сунчевог зрачења (ирадијација)

На основу доступних улазних података и применом претходно описаног модела добијене су карте просторне расподеле ирадијације на месечном и годишњем нивоу, за административне територије Града Врања и општине Кладово.

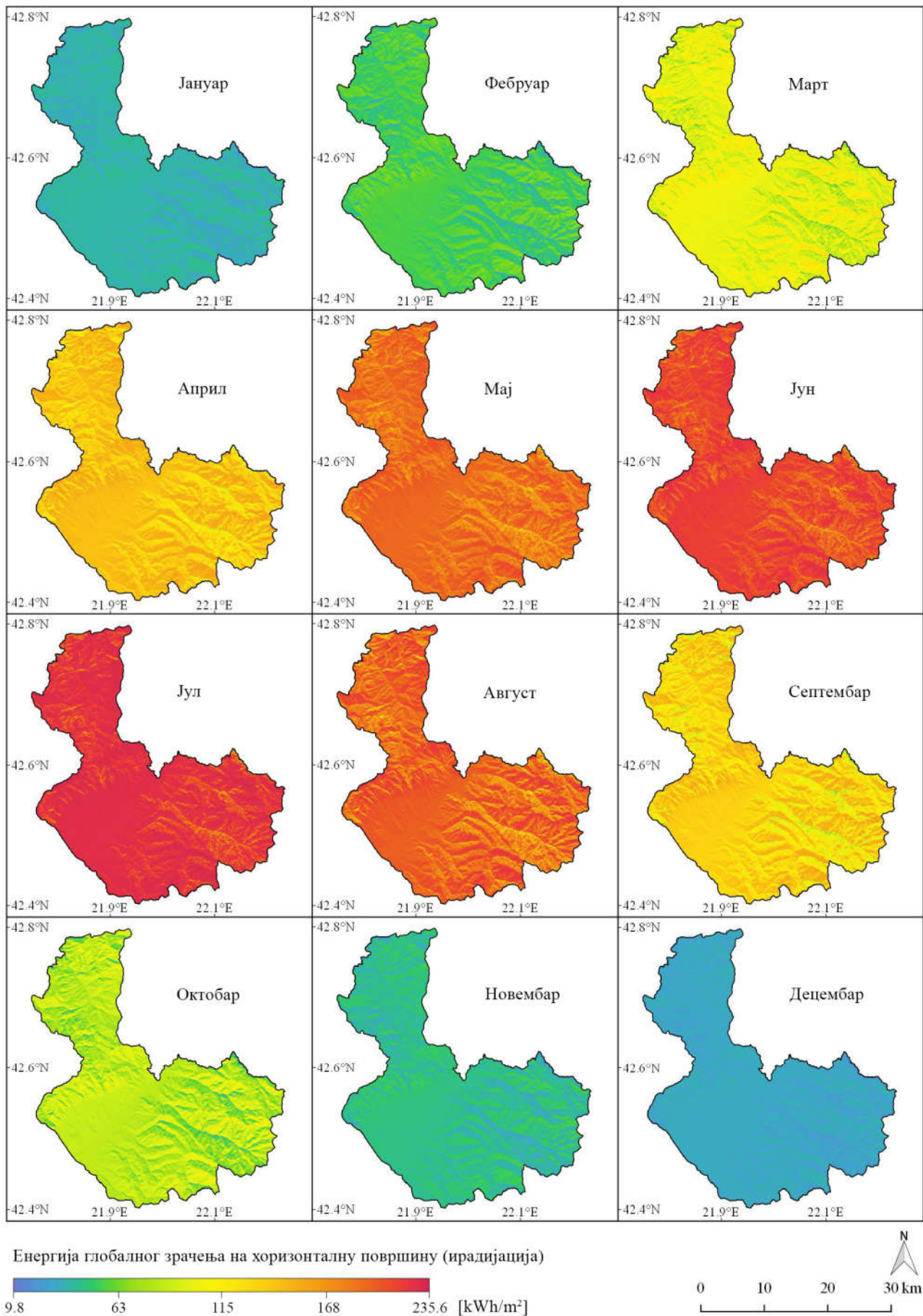


Слика 31. Просечне и екстремне вредности ирадијације на хоризонталну површину за територију Града Врања

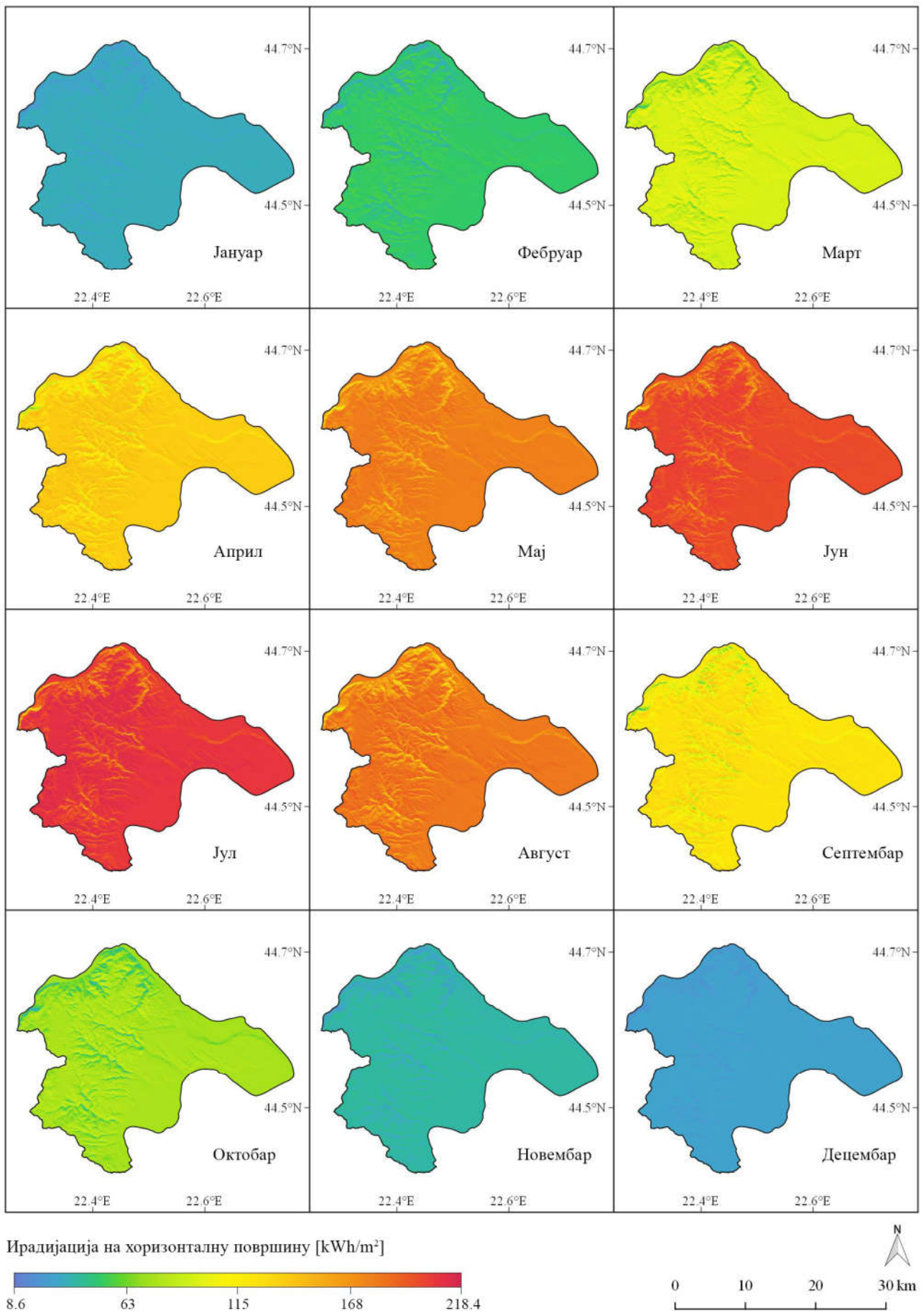


Слика 32. Просечне и екстремне вредности ирадијације на хоризонталну површину за територију општине Кладово

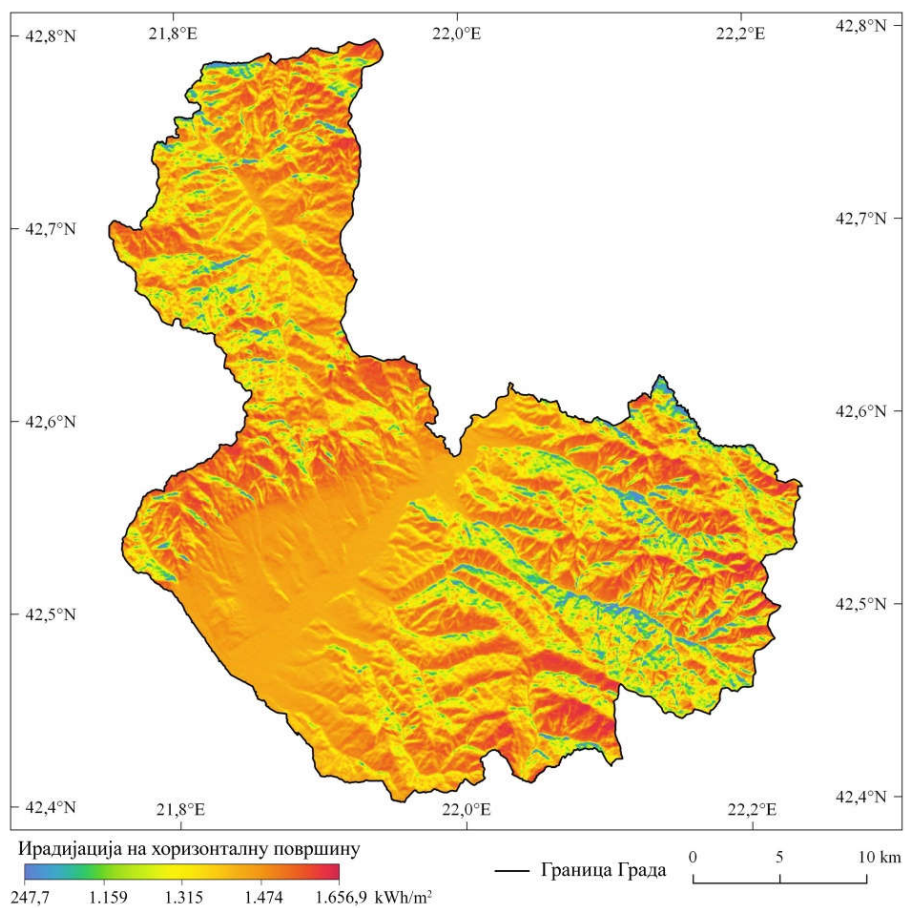
Унутар годишњи ток расподеле ирадијације указује на пораст вредности од јануара до јула, након чега вредности почињу да опадају, до децембра. Највећи потенцијал за коришћење соларне енергије је у периоду од марта до августа, будући да на хоризонталну површину доспе око 70% годишње вредности ирадијације. На територији Града Врања, максимална вредност у току године је у јулу ($235,6 \text{ kWh/m}^2$), а минимална вредност у децембру ($9,8 \text{ kWh/m}^2$) (Слика 31), док је максимална вредност ирадијације на територији општине Кладово у јулу (218 kWh/m^2), а минимална у децембру ($8,6 \text{ kWh/m}^2$) (Слика 32). Просторна расподела месечних вредности ирадијације на територији Града Врања и општине Кладово приказане су на сликама 33 и 34, док је расподела годишњих вредности приказана на сликама 35 и 36. Просечна годишња вредност ирадијације на територији Града Врања износи $1.406,7 \text{ kWh/m}^2$, што је 5,5% више него просечна вредност на територији општине Кладово ($1.330,8 \text{ kWh/m}^2$). У оба случаја максималне вредности ирадијације заступљене су на вишим теренима са јужном оријентацијом, док се северно оријентисани терени, на нижим надморским висинама, одликују нижим вредностима.



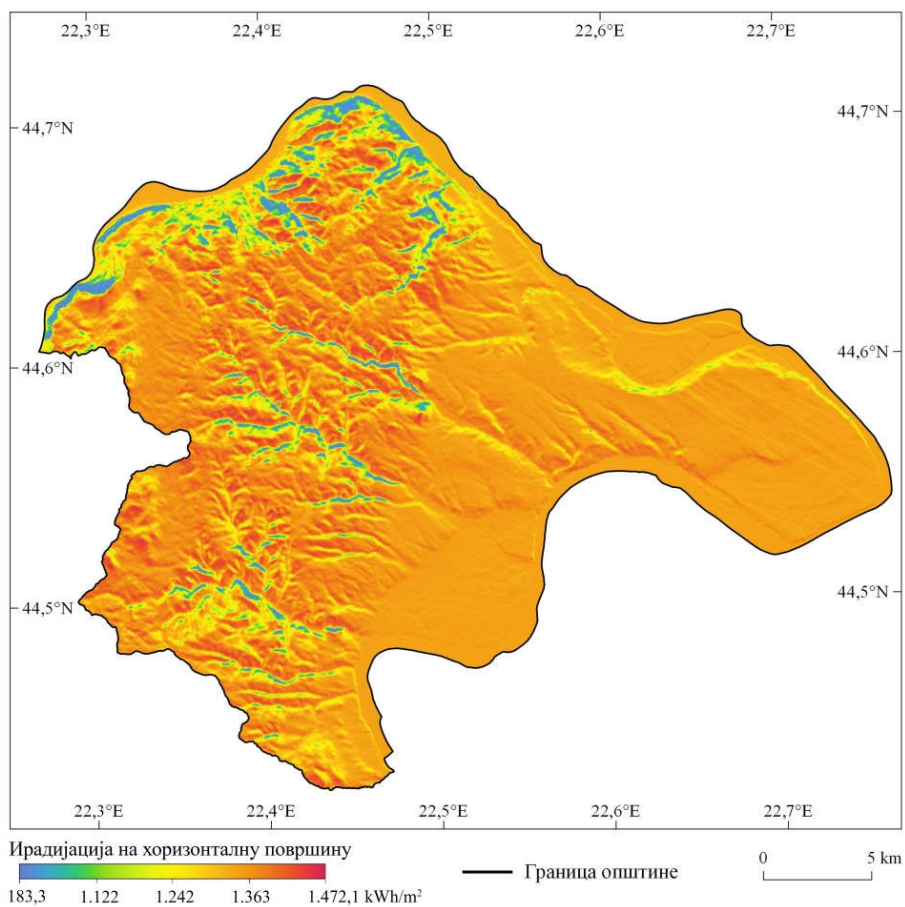
Слика 33. Просторна расподела месечних вредности ирадијације за територију Града Врања.



Слика 34. Просторна расподела месечних вредности ирадијације за територију општине Кладово.

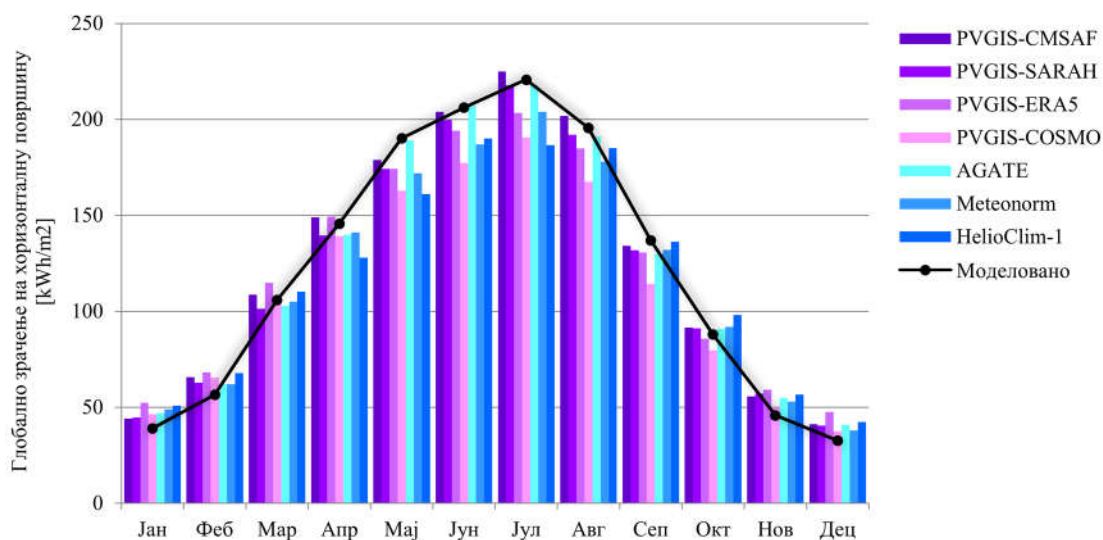


Слика 35. Просторна расподела ирадијације на територији Града Врања



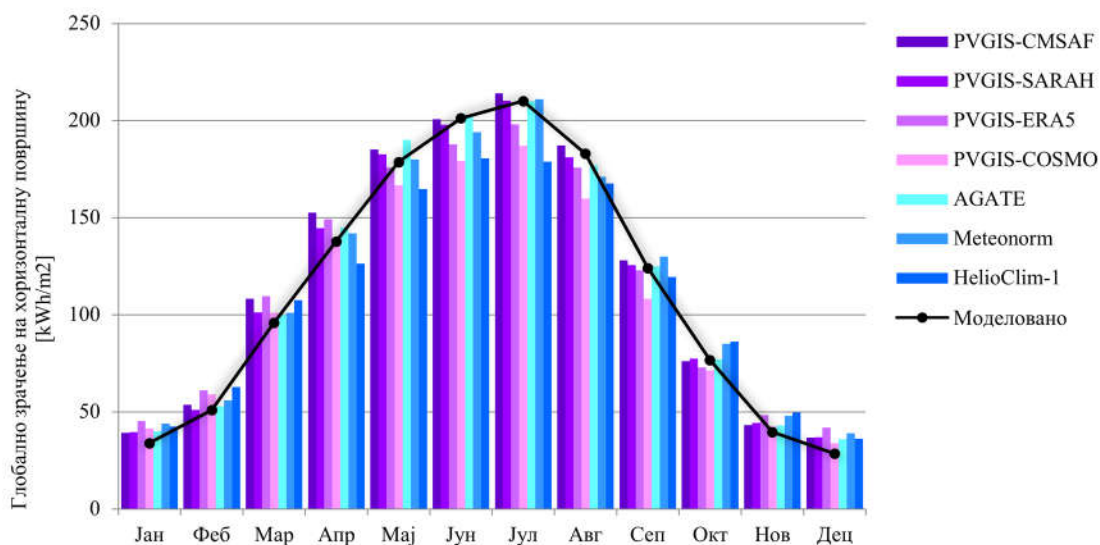
Слика 36. Просторна расподела ирадијације на територији општине Кладово

За валидацију добијених резултата одабране су две локације на истраживаним територијама: метеоролошка станица Врање (42,550°N, 21,917°E) и соларна електрана „Соларис 1” (44,553°N, 22,543°E) у Кладову. Моделоване вредности глобалног зрачења на хоризонталну површину упоређене су са постојећим подацима из одабраних база: PVGIS (European Commission, 2001-2016), AGATE (ARMINES, MINES ParisTech, TRANSVALOR, & ECMWF - COPERNICUS Atmosphere Monitoring Service, 2018), Meteonorm 7.3.1 (Meteotest, 2019), HelioClim-1 (MINES ParisTech – Armines, 2014-2019). Просечне месечне вредности глобалног зрачења на хоризонталну површину, добијене на основу података из претходно наведених база, приказане су у прилогу Б (Табела Б1). Ради лакшег поређења, резултати су графички представљени на сликама 37 и 38.



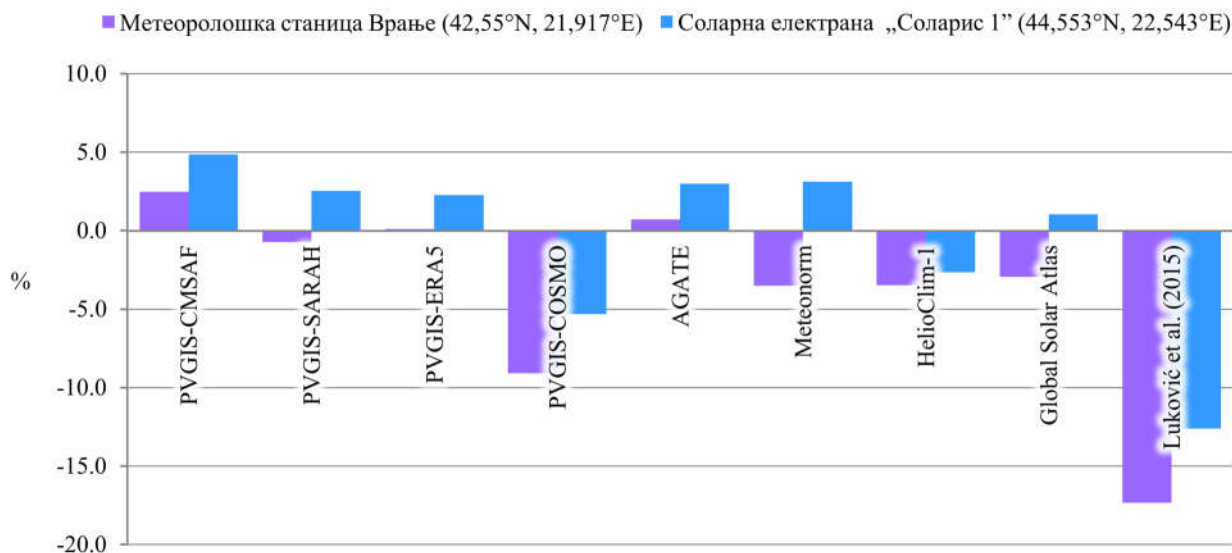
Слика 37. Компарација моделованих вредности глобалног зрачења на хоризонталну површину са вредностима из седам различитих база за метеоролошку станицу Врање (42,55°N, 21,917°E).

Графикон приказан на слици 37 показује мала одступања од разматраних база података. Одступање је најмање код „AGATE” ($\Delta\bar{x} = 4,9 \text{ kWh/m}^2$), PVGIS-CMSAF ($\Delta\bar{x} = 5,8 \text{ kWh/m}^2$) и PVGIS-SARAH ($\Delta\bar{x} = 6,6 \text{ kWh/m}^2$), док највећа одступања бележе PVGIS-COSMO ($\Delta\bar{x} = 14,8 \text{ kWh/m}^2$), HelioClim-1 ($\Delta\bar{x} = 13,8 \text{ kWh/m}^2$), PVGIS-ERA5 ($\Delta\bar{x} = 10,9 \text{ kWh/m}^2$), Meteonorm ($\Delta\bar{x} = 9,5 \text{ kWh/m}^2$).



Слика 38. Компарација моделованих вредности глобалног зрачења на хоризонталну површину са вредностима из седам различитих база за соларну електрану „Соларис 1” (44,553°N, 22,543°E).

Графикон на слици 38 показује боље поклапање модела са разматраним базама података, тј. мање грешке у односу на графикон са слике 36. Као и у претходном случају, најмање одступање је код следећих база: PVGIS-SARAH ($\Delta\bar{x} = 3,7 \text{ kWh/m}^2$), „AGATE” ($\Delta\bar{x} = 4,4 \text{ kWh/m}^2$), PVGIS-CMSAF ($\Delta\bar{x} = 5,7 \text{ kWh/m}^2$). Одступања су, такође, мала у односу на податке из базе Meteonorm ($\Delta\bar{x} = 6,7 \text{ kWh/m}^2$). Већа одступања карактеристична су за податке добијене на основу базе HelioClim-1 ($\Delta\bar{x} = 13,0 \text{ kWh/m}^2$), PVGIS-COSMO ($\Delta\bar{x} = 10,9 \text{ kWh/m}^2$), PVGIS-ERA5 ($\Delta\bar{x} = 9,1 \text{ kWh/m}^2$).



Слика 39. Разлика између моделованих вредности глобалног зрачења на хоризонталну површину и вредности из девет различитих база на две одабране локације.

На слици 39 су приказане разлике (у %) између годишњих моделованих вредности глобалног зрачења на хоризонталну површину и вредности из девет различитих база. Поред претходно разматраних база података, компарација је обухватила и базу Global Solar Atlas (World Bank Group, 2016)—просторне резолуције $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$, као и вредности које су добили Luković et al., 2015 ($90 \text{ m} \times 90 \text{ m}$). Резултати компарације моделованих вредности, на обе локације, са подацима из постојећих база, показују добро поклапање, будући да су разлике, код већине база (седам од девет), релативно мале (мање од 5%). Одступања су највећа у поређењу са вредностима које су добили Luković et al. (2015).

4.1.2. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана

Применом критеријума за елиминацију, у поступку вредовања обухваћено је 2,9% укупне територије Града Врања и 3,8% територије општине Кладово (Табела 14). Процентуално учешће травнатих површина у општини Кладово је за око 3,8% веће него у Граду Врању, што је свакако један од разлога већег просторног потенцијала за изградњу фотонапонских електрана. Заштићене површине (са појасом од 200 m) у општини Кладово заузимају око 45% територије. Њиховом елиминацијом редуковано је око 37% потенцијалних површина за изградњу фотонапонских електрана. Највећи део заштићених површина налази се у северозападном и западном делу општине, где се осим националног парка Ђердап, налазе и површине заштићене међународном регулативом (IPA, IVA, PVA, EMERALD). Јужно и источно од градског насеља Кладово простире се међународно значајно подручје за птице „Мала Врбица”, док је југозападно од Кладова, у атару села Река, 2013. године покренут поступак заштите простора око реке Бледерије, као Споменик природе „Бедерија”. Заштићена културна добра обухватају мању површину и углавном се налазе уз реку Дунав, као и на подручју Националног парка.

Процентуално учешће површина које су елиминисане у моделу због потенцијалног конфликта са заштитом простора, на територији Града Врања износи око 19%. Највећи део заштићених површина припада одабраним подручјима за дневне лептире: РВА „Кукавица” (северни делови територије) и РВА „Бесна Кобила” (североисточни делови територије). На крајњем југу и североистоку налазе се међународно значајна подручја за птице „Пчиња” и „Власина”, док је Александровачко језеро заштићено као међународно подручје значајно за биљке. Заштићена културна добра заузимају малу површину, и углавном су сконцентрисана на градско насеље Врање. Уколико би се изградња дозволила и у заштићеним пределима, укупно просторни потенцијал Града Врања повећао би се за око 22% у односу на тренутан број валоризованих површина.

Табела 14. Расподела валоризованих и елиминисаних површина

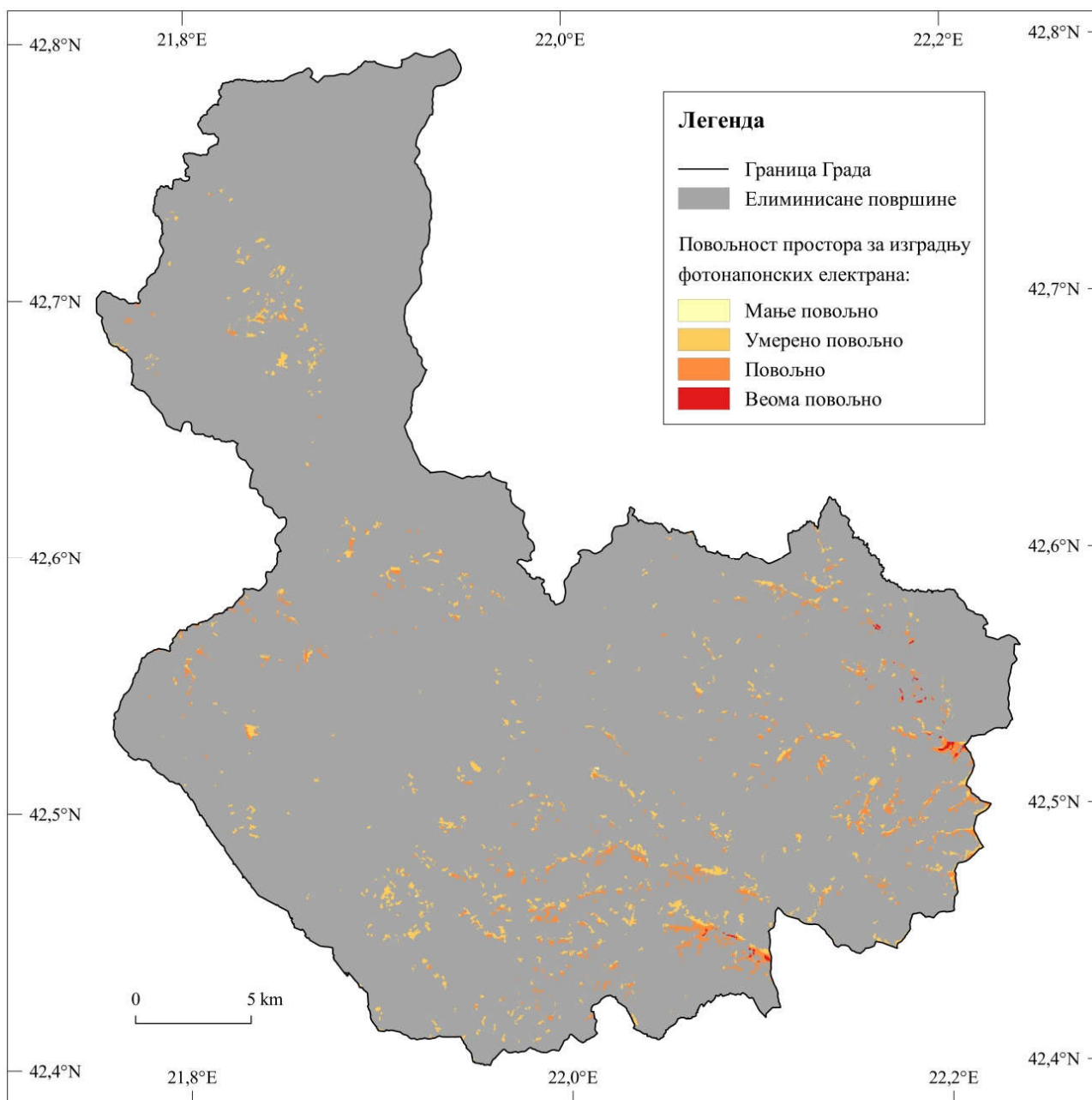
	Град Врање		Општина Кладово	
	Број пиксела	% у укупном	Број пиксела	% у укупном
Елиминисане површине	1.332.159	97,1	964.927	96,2
Валоризоване површине	40.434	2,9	38.054	3,8
Укупно	1.372.593	100	1.002.981	100

Резултати вредновања представљени су графички, у виду карата просторне повољности за изграђу фотонапонских електрана, према пет дефинисаних сценарија (слике 1–5). Први сценарио (С1) подразумева расподелу тежинских коефицијената према преференцијама евалуатора, на основу Аналитичког хијерархијског процеса (Табела 10). Други сценарио (С2) подразумева једнаку расподелу тежинских коефицијената између фактора ($w_{1,2,\dots,10} = 0,1$). Трећи сценарио (С3) узима у обзир само климатски критеријум са једнаком расподелом тежинских коефицијената између његових фактора ($w_{1,2} = 0,5$). Четврти сценарио (С4) има једнаку расподелу тежинских коефицијената између фактора у оквиру критеријума животне средине ($w_{3,4,5} = 0,33$), занемарујући остале критеријуме. Пети сценарио (С5) узима у обзир само локацијски критеријум и једнак значај тежинских коефицијената између његових фактора ($w_{6,7,\dots,10} = 0,2$).

На основу вредности индекса просторне повољности, све валоризоване површине су подељене у четири класе:

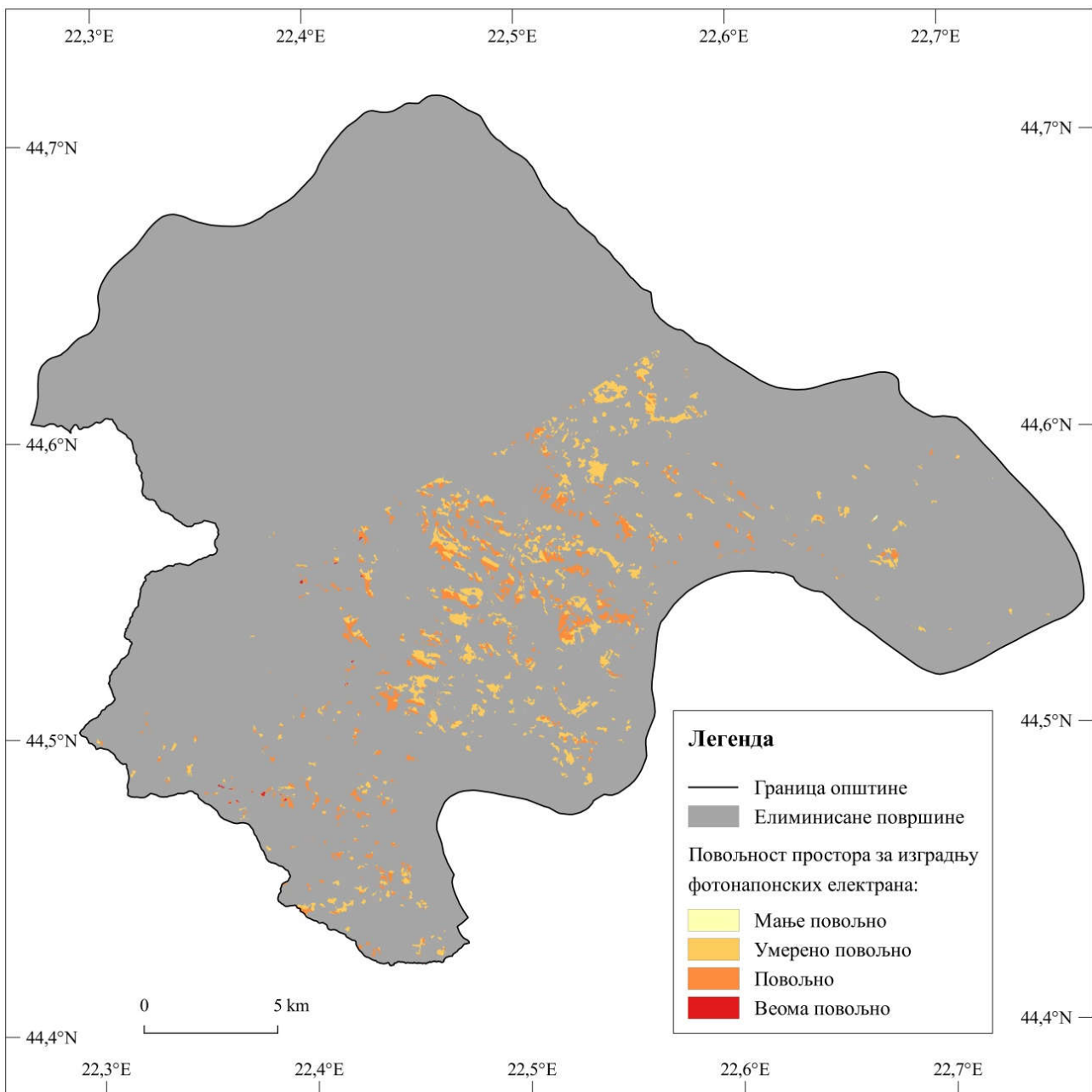
1. мање повољне ($I \leq 0,25$),
2. умерено повољне ($0,25 > I \leq 0,5$),
3. повољне ($0,5 > I \leq 0,75$), и
4. веома повољне ($I > 0,75$).

Боје представљају изражајна средства на карти, при чему је коришћен принцип топлија боја—већа повољност простора.



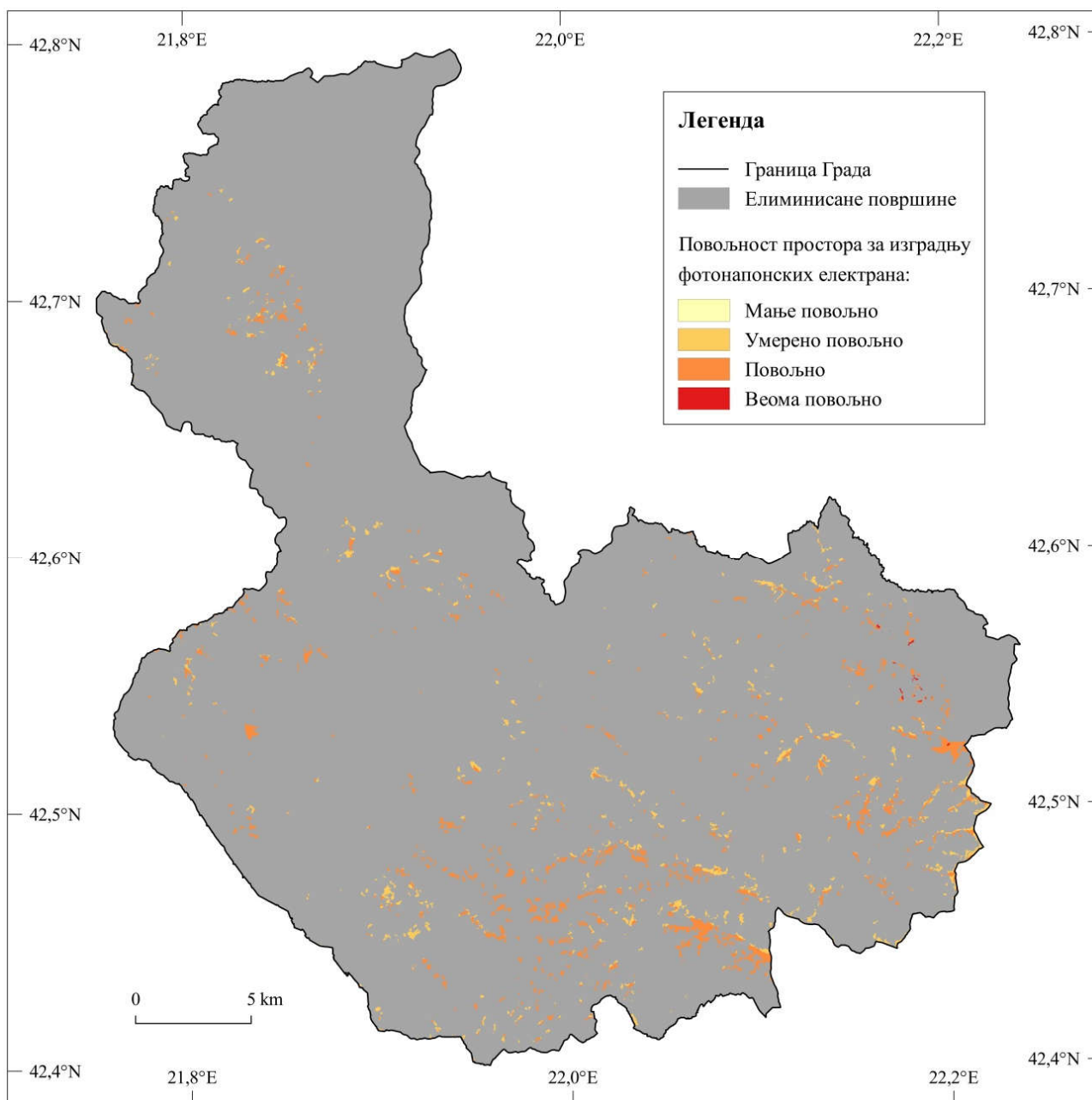
Слика 40. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији Града Врања према С1.

Према С1, на територији Града Врања, претежно су заступљене умерено повољне (55,1%) и повољне површине (43%) за изградњу фотонапонских електрана, док је учешће веома повољних (1,8%) и мање повољних (0,1%), најмање (Слика 50). Просечана вредност индекса просторне повољности за територију Града Врања износи 0,50. Веома повољне површине су распрострањене на већим надморским висинама у источним и југоисточним деловима територије (Слика 40). Просторна дистрибуција веома повољних површина је, у највећој мери, одраз давања већег приоритета оним локацијама које имају веће вредности ирадијације са нижом температуром ваздуха (Табела 10).



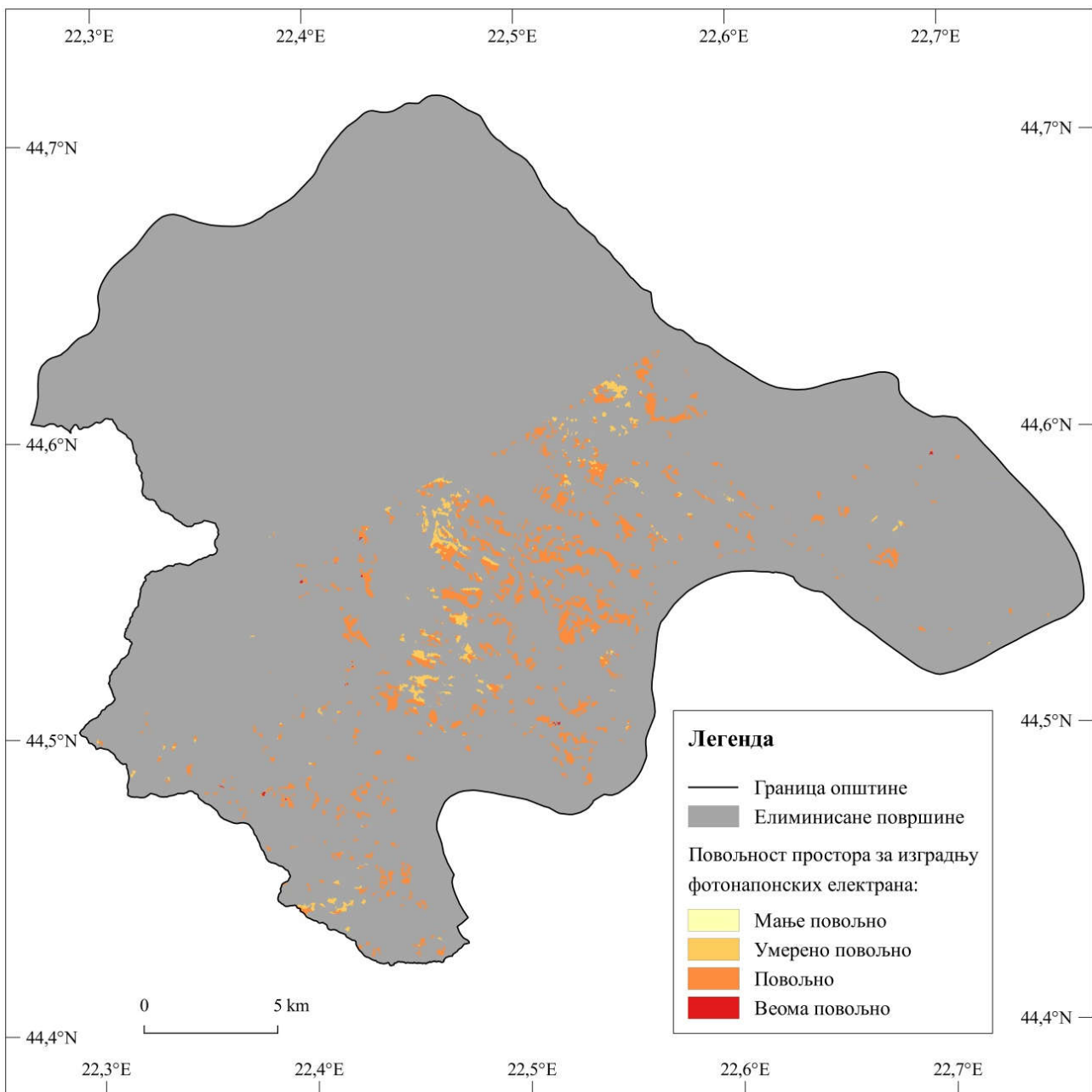
Слика 41. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији општине Кладово према С1.

Према С1, просечан вредност индекса просторне повољности на територији општине Кладово износи 0,48. Учешће умерено повољних (59,3%) и повољних површина (40,3%) је значајно у односу на крајње класе на скали повољности (Слика 51). Мање повољна класа заступљена је свега 0,1% у укупној вреднованој површини, и то само у равничарском делу територије, тј. микрорегији Кључ (југоисточно од градског насеља Кладово). Класа веома повољних површина распрострањена је у брдско-планинском делу општине, али је учешће ових површина мало и износи свега 0,1% од укупне површине која је била предмет вредновања (Слика 41). Уколико би се дозволила изградња фотонапонских електрана у заштићеним добрима укупна површина мање повољних простора би била већа за 361%.



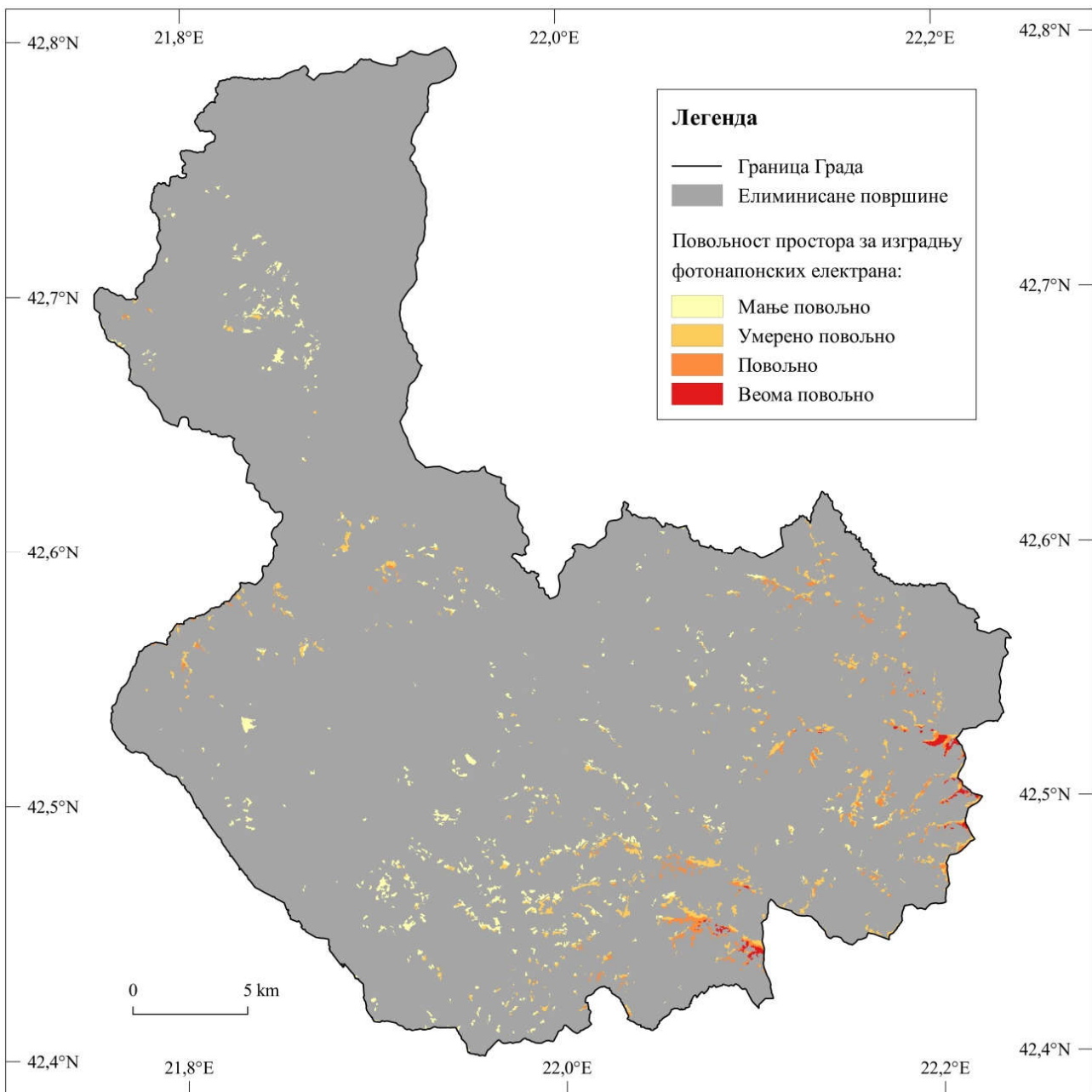
Слика 42. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији Града Враћа према С2.

Ако би тежински коефицијенти свих фактора били једнаки, као што је то случај према С2, површина повољних простора за развој фотонапонских електрана била би већа од површине добијене према С1. Од укупне површине која је вреднована на територији Града Враћа, око 64,8% припада повољним површинама. Учешће веома повољних површина, према С2, износи 0,5% (Слика 50). Веома повољне површине заступљене су на планинама у источном делу територије, на местима где су испуњени сви критеријуми за развој фотонапонских електрана (Слика 42). Осим добрих природних предиспозиција за развој фотонапонских електрана (ирадијација, температура ваздуха, нагиб, експозиција, итд.) територија катастарске општине Крива Феја, на којој се углавном налазе повољне површине, одликује се и адекватном инфраструктуром која има улогу да омогући неометан рад фотонапонске електране. Према С2, учешће условно повољних површина износи око 34,8%, док мање повољне нису заступљене. Просечан вредност индекс просторне повољности за територију Града Враћа, према С2, износи 0,54.



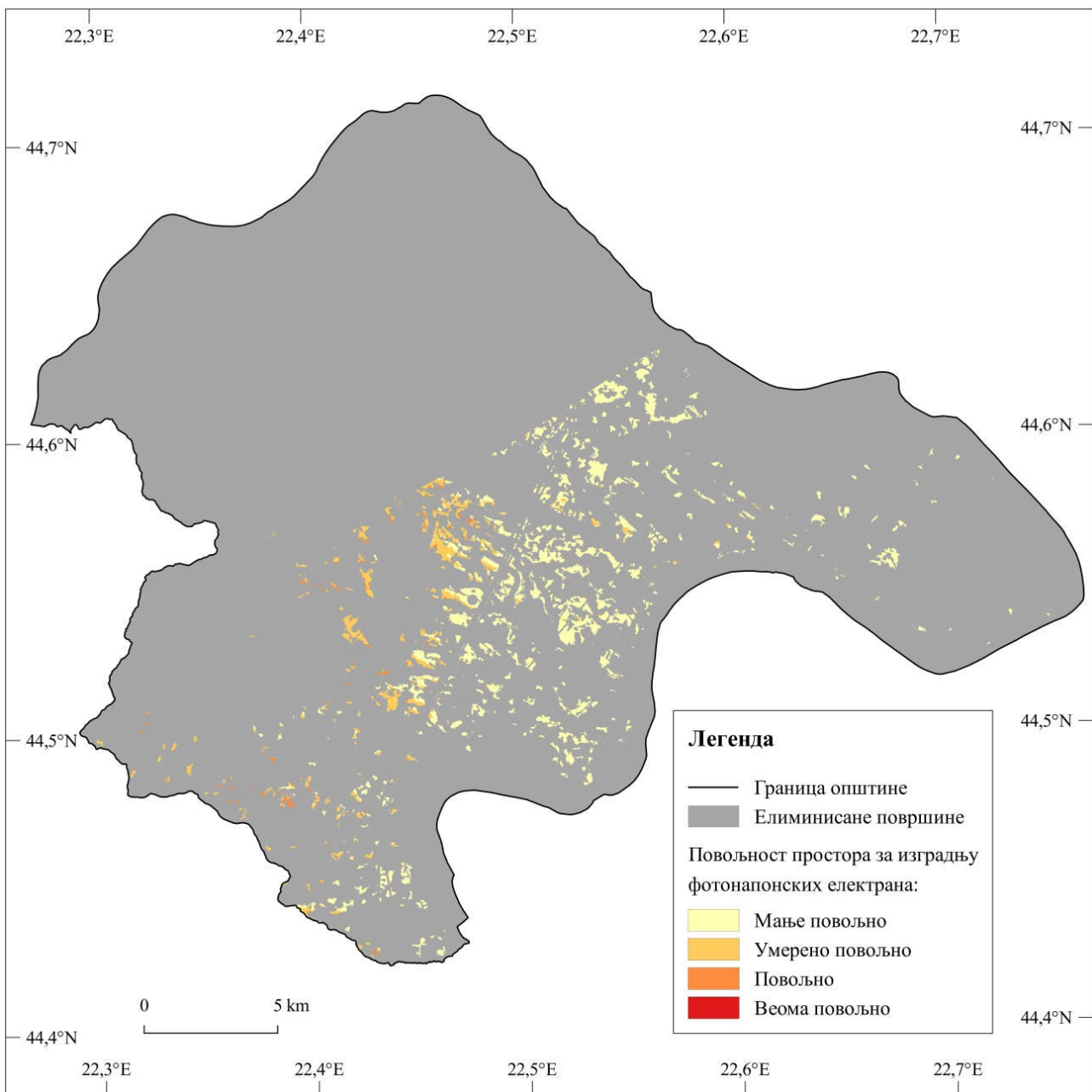
Слика 43. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији општине Кладово према С2.

Применом једнаких тежинских коефицијената за факторе вредновања (С2), учешће повољних површина у укупној валоризованој површини, на територији општине Кладово, износи 83,4%. Умерено повољне површине учествују са 16,3%, док су веома повољне заступљене свега 0,3% (Слика 51). Мање повољне површине, према С2, нису заступљене на територији општине Кладово. Просечна вредност индекса просторне повољности је већа него према С1, и износи 0,57. Дистрибуција веома повољних површина, према С2, није у значајној мери другачија у односу на С1, осим у атару насеља Грабовица, где се, северозапано од насељеног места, јављају површине које припадају веома повољној класи. Локација са највећом вредношћу индекса просторне повољности, према оба сценарија, налази се у атару насеља Брза Паланка, у јужном делу општине (Слика 43).



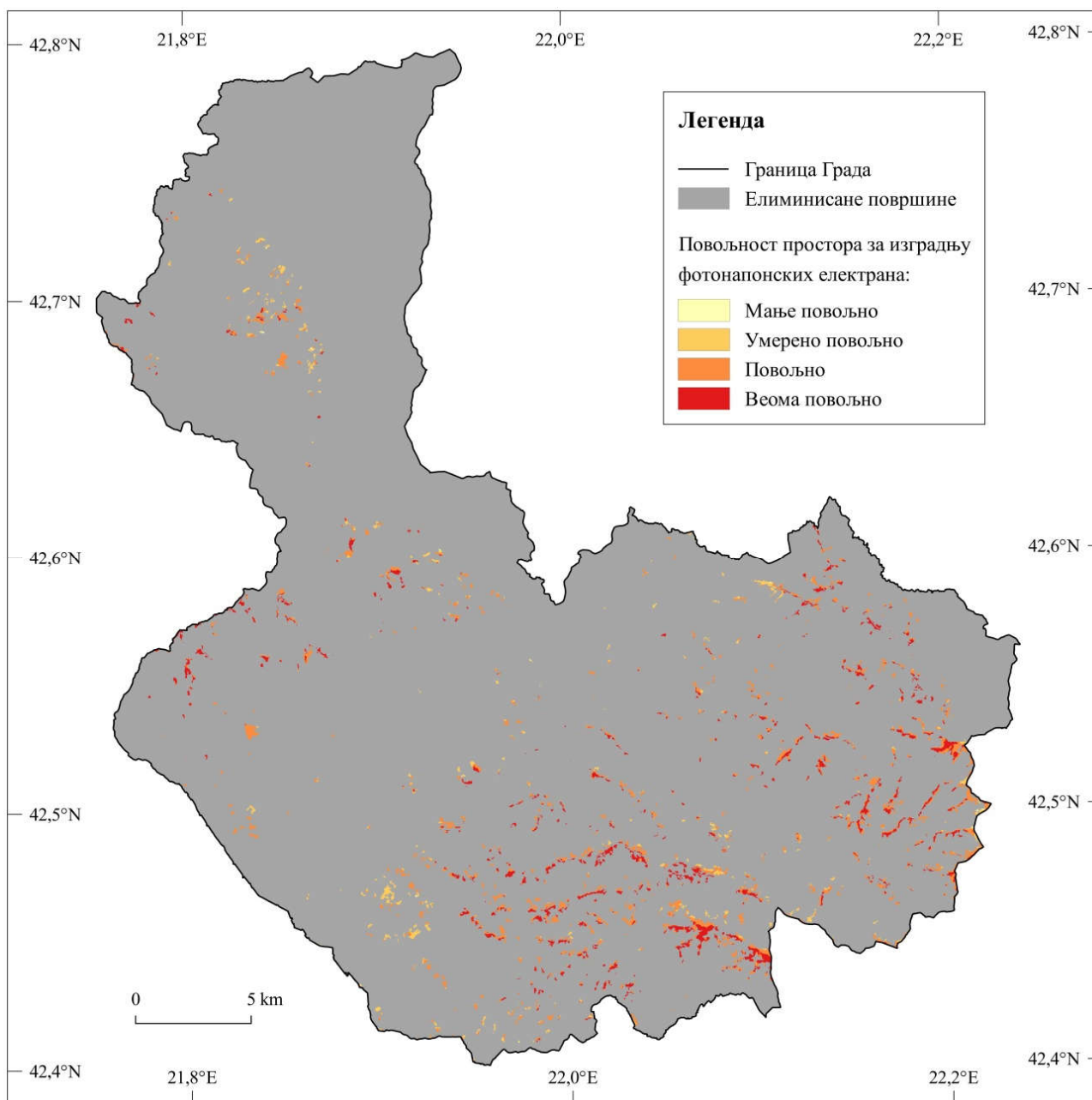
Слика 44. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији Града Врања према С3.

Просечна вредност индекса просторне повољности на територији Града Врања је најмањи према С3, и износи 0,34. У укупној валоризованој површини преовлађују мађе повољне (36,3%) и умерно повољне (41,2%) површине, док је учешће повољних (18,1%) и веома повољних површина (4,3%) за изградњу фотонапонских електрана мање (Слика 50). Веома повољне површине карактеристичне су за терене на већим надморским висинама, у источном и југоисточном делу територије (Слика 44).



Слика 45. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији општине Кладово према С3.

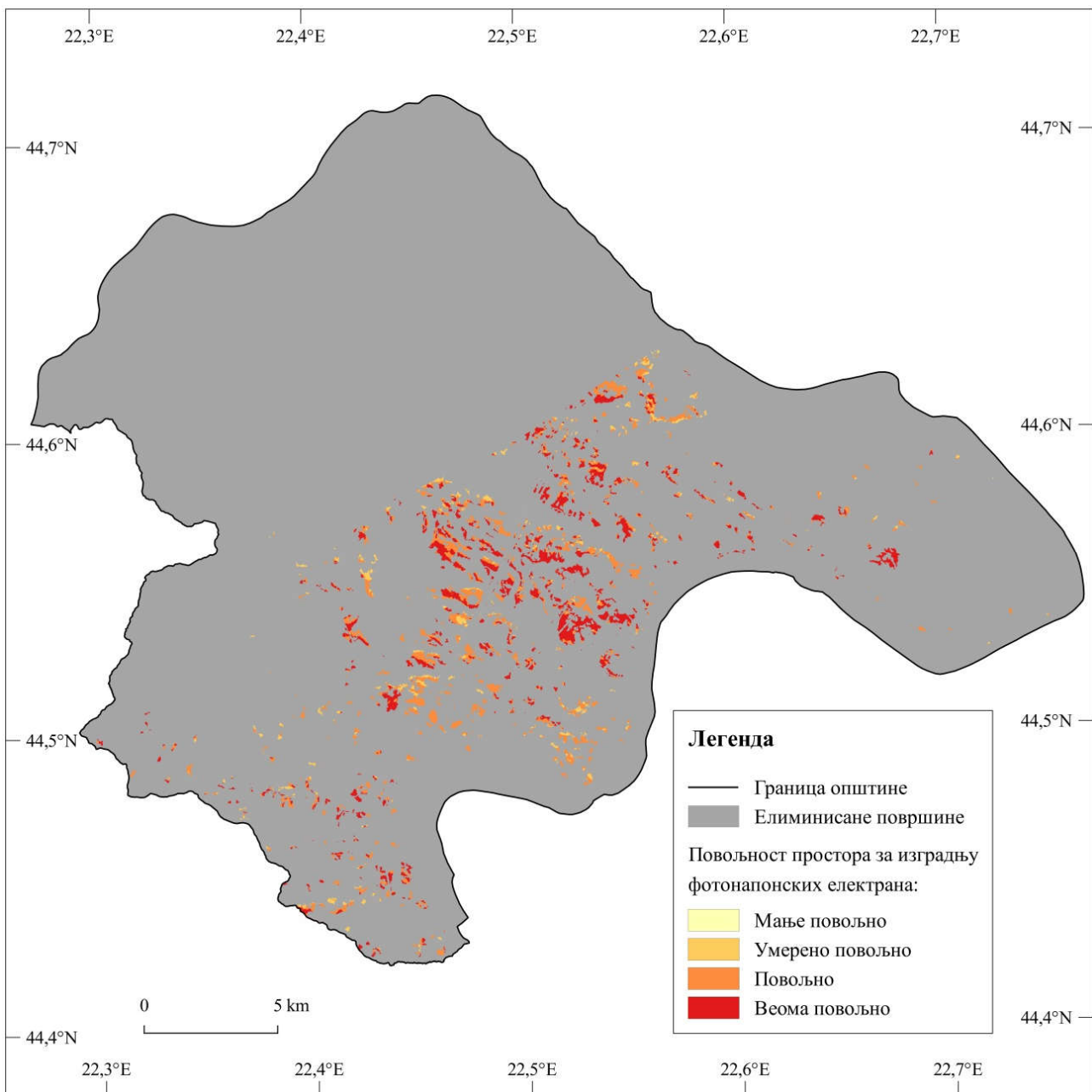
У просторној структури валоризованих површина на територији општине Кладово, према С3, доминирају мање повољне површине, са учешћем од 73,5% (Слика 45). Умерено повољне (23,75) и повољне (2,8%) површине су нешто мање заступљене, док веома повољне површине нису уопште заступљене према овом сценарију (Слика 51). Због тога је просечна вредност индекса просторне повољности у општини Кладово најнижи ($\bar{I} = 0,19$), како у поређењу са осталим сценаријима, тако и у поређењу са просечним индексом за територију Града Враћа.



Слика 46. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији Града Врања према С4.

Уколико би се, приликом одређивања просторне повољности за изградњу фотонапонских електрана, узели у обзир само фактори који припадају критеријуму животне средине, са једнаким тежинским коефицијентима, као што је то предвиђено у С4, учешће веома повољних површина би било знатно веће у односу на остале сценарије (Слика 45).

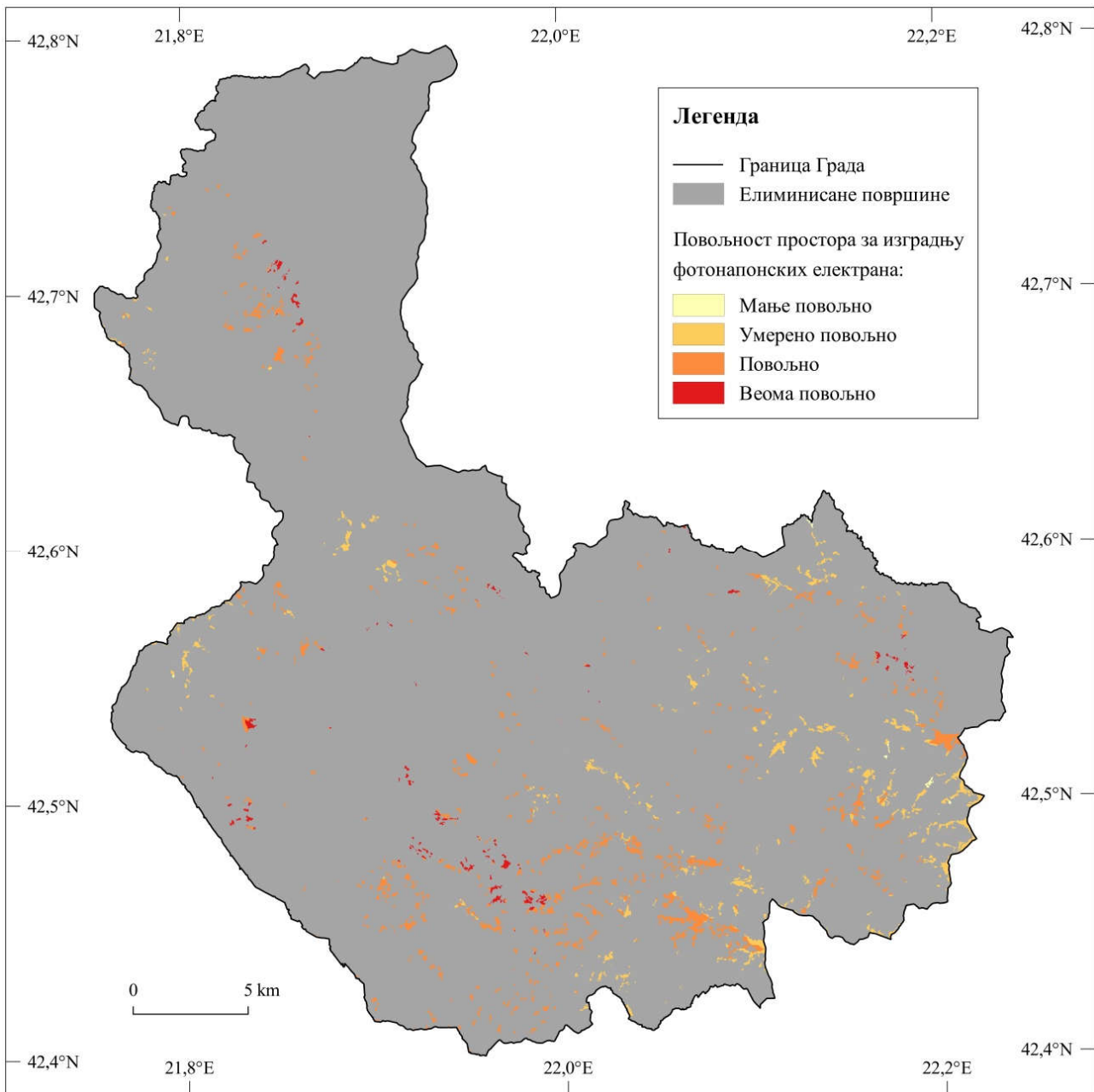
У Граду Врању веома повољне површине обухватају 34,2% валоризоване територије, повољне површине 52%, умерено повољне 13,6%, а мање повољне површине 0,2% (Слика 50). Просечан индекс просторне повољности у овом случају износи 0,67%.



Слика 47. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији општине Кладово према С4.

У општини Кладово, према С4, веома повољне површине обухватају 42,1% валоризоване територије, повољне површине 46,8%, док остатак чине умерено повољне површине (Слика 51). Као и у случају Града Врања, тако и у општини Кладово нису заступљене мање повољне површине.

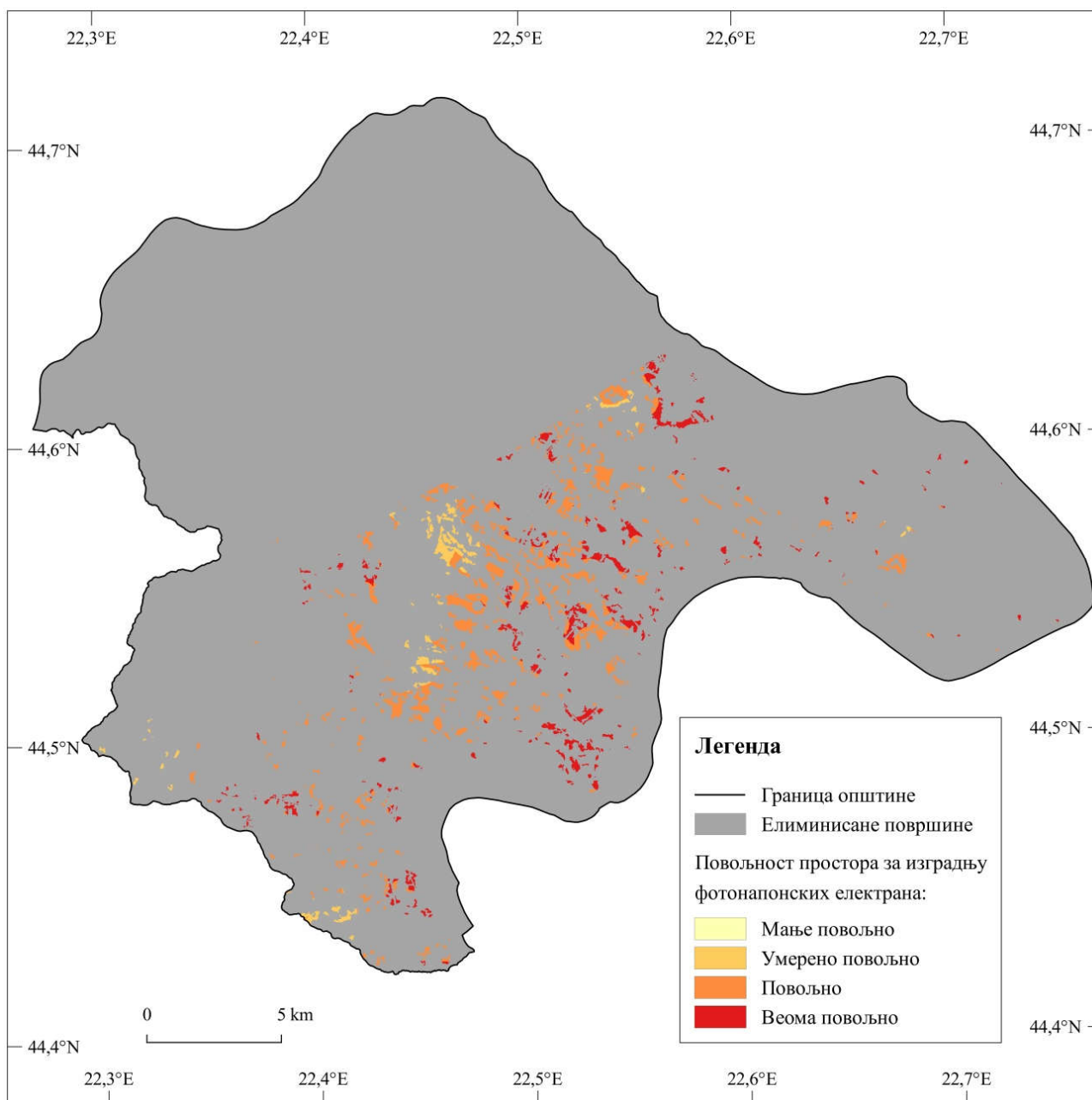
За разлику од претходних сценарија, повољне површине су заступљене, како у брдско-планинском, тако и у равничарском делу територије општине (Слика 47). Просечна вредност индекса просторне повољности је према овом сценарију висока, и износи 0,69.



Слика 48. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији Града Враћа према С5.

Према С5, класа веома повољних површина на територији Града Враћа је дислоцирана у поређењу са размештајем из С1, што је резултат уважавања искључиво локацијског критеријума. Фактори као што су близина енергетске и саобраћајне инфраструктуре, као и близина потрошача, утицали су да веома повољне површине, према овом сценарију, преовладавају у долинама и равницама (Слика 48).

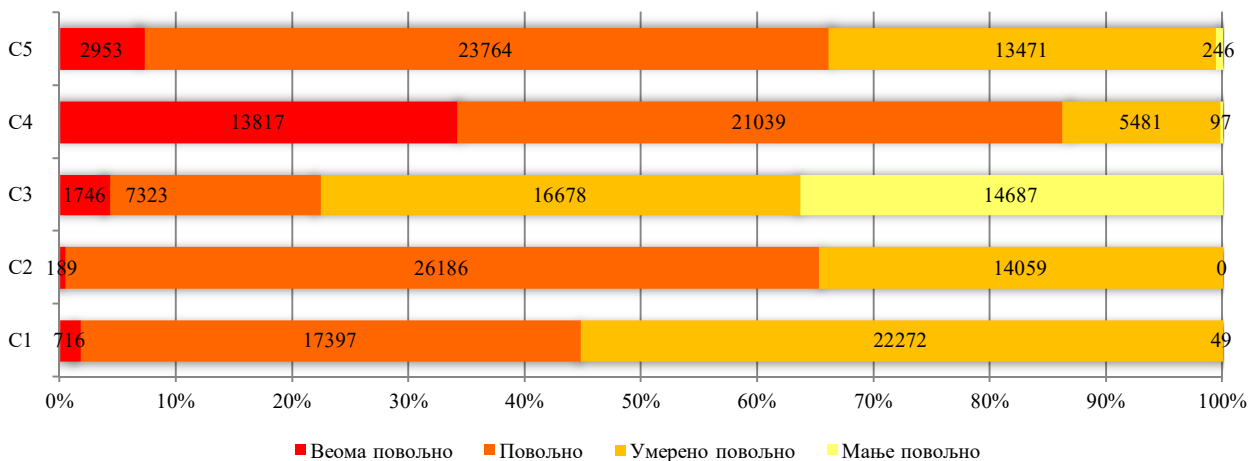
У структури валоризованих површина најзаступљеније су повољне површине (58,8), затим следе умерено повољне (33,3%) и веома повољне (7,3%), док је учешће мање повољних површина најмање (0,6%) (Слика 50). Према С5, просечна вредност индекса просторне повољности за Град Враће износи 0,54.



Слика 49. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији општине Кладово према С5.

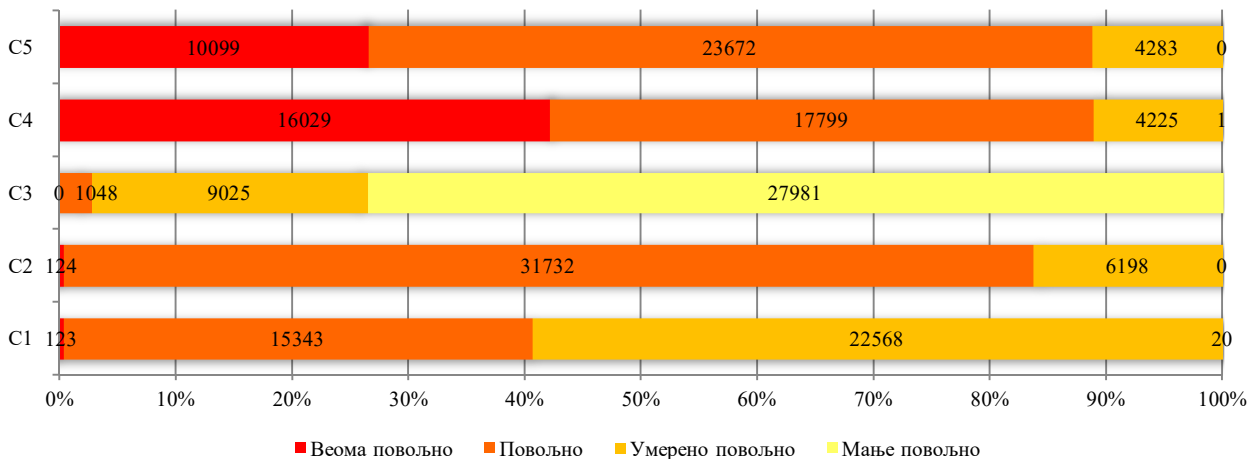
Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији општине Кладово, према С5, значајно је другачија од претходне. Овај сценарио је карактеристичан по томе што су веома повољне површине лоциране у близини инфраструктурних система (Слика 49). Повољне површине обухватају највећи проценат валоризованих површина (62,2%), али је и учешће веома повољних површина на завидном нивоу (26,5%). Остатак од 11,3% чине умерено повољне површине, док мање повољне површине нису заступљене на територији општине Кладово (Слика 51). Просечна вредност индекса просторне повољности за општину Кладово, према овом сценарију, износи 0,66.

Променом сценарија развоја, тј. променом односа међу факторима који су узети за вредновање потенцијалних површина за изградњу фотонапонских електрана, мења се и однос између појединих класа повољности. Вредности унутар хоризонталних стубова дијаграма (Слика 50 и Слика 51) представљају број пиксела, при чему површина сваког пиксела износи 625 m^2 .



Слика 50. Апсолутно (број пиксела) и релативно (%) учешће валоризованих површина према класама просторне повољности на територији Града Враћа, за пет различитих сценарија.

Уколико су предмет интересовања за изградњу фотонапонских електрана, оне локације, на којима је индекс просторне повољности највећи, онда је сценарио који занемарује критеријум локације и критеријум климе (C5), најповољнији. Иако C5 има улогу да умањи утицаје фотонапонских електрана на животну средину, његово спровођење не би обезбедило резултате и трошкове који прижељкују инвеститори—максимална производња уз минималне трошкове. Због тога се, комбинацијом сва три критеријума (клима, животна средина и локација), уз претходно дефинисан однос између фактора вредновања, постижу најповољнија решења. У случају Града Враћа C1 обезбеђује боље резултате од C2, будући да је удео веома повољних површина већи. Међутим, треба имати у виду да је удео повољних површина према C2 највећи, у поређењу са осталим. Промене вредности индекса просторне повољности на територији Града Враћа у контексту разлика између C1 и C2, могуће је сагледати на Слици 52.



Слика 51. Апсолутно (број пиксела) и релативно (%) учешће валоризованих површина према класама просторне повољности на територији општине Кладово, за различитих сценарија.

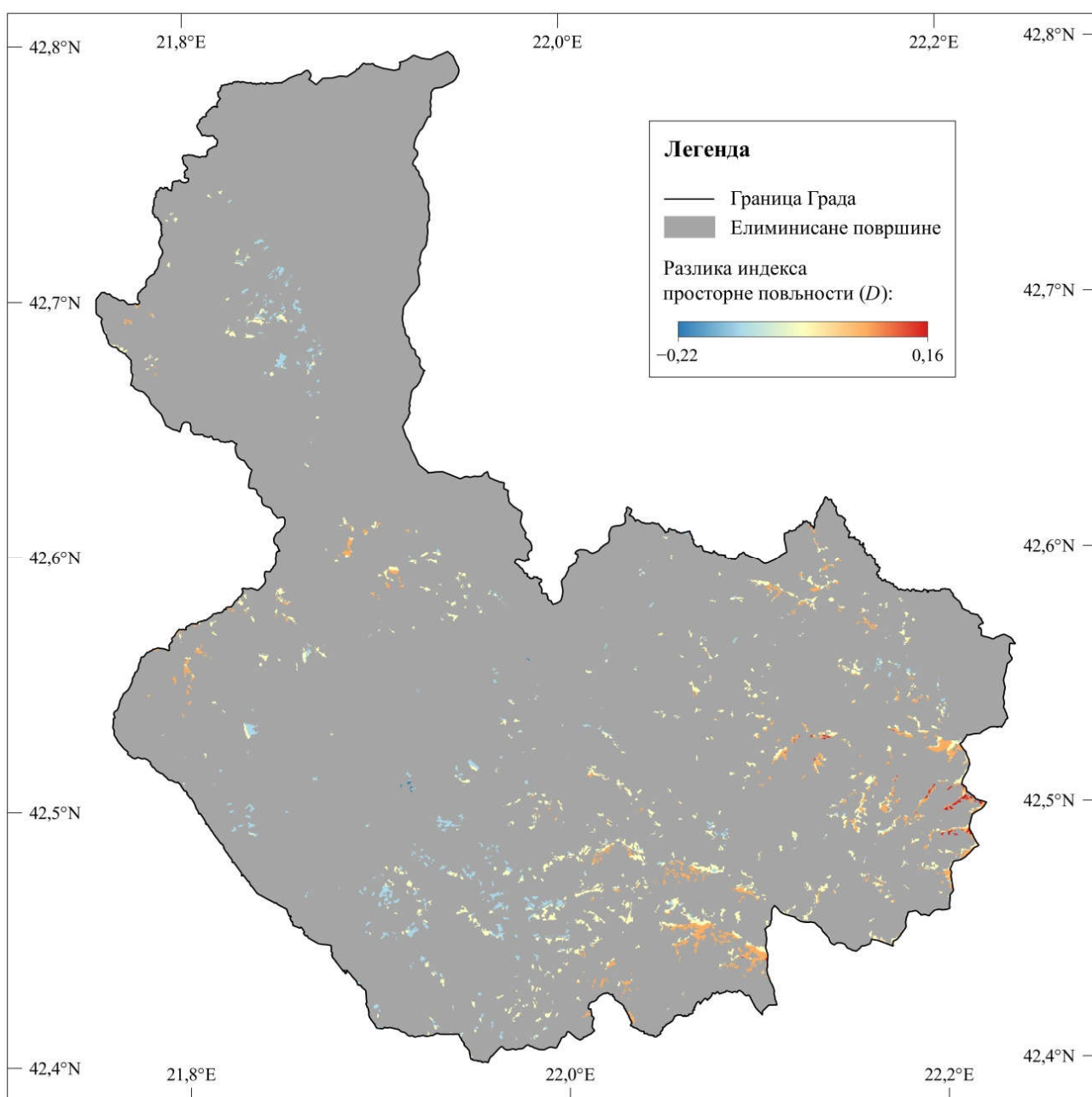
Поређење резултата сценарија, на основу слике 50, показује да учешће веома повољне класе, у структури валоризованих површина, на територији општине Кладово, има највеће вредности према C4, док према C3, ове површине уопште нису заступљене. Будући да C3 уважава само климатски критеријум, повољност простора је детерминисана варијабилношћу ирадијације и температуре. Због тога су, према овом сценарију, најзаступљеније мање повољне површине, јер су површине са већим индексом просторне повољности, карактеристичне за брдско-планински простор, елиминисане кроз заштиту простора

(Национални парк Ђердап, IPA, IBA, PBA, EMERALD, итд.). Поређење C1 и C2, не показује разлике у погледу заступљености веома повољних површина, али су зато разлике очигледне за повољне и умерено повољне површине. Према C1, најзаступљеније су умерено повољне површине, које заузимају око 3,5 пута већу површину него према C2. Међутим, C2 се може сматрати бољим решењем за општину Кладово, будући да је заступљеност повољних површина дупло већа, него према C1. Разлике између вредности индекса просторне повољности према C1 и C2 приказане су на Слици 53.

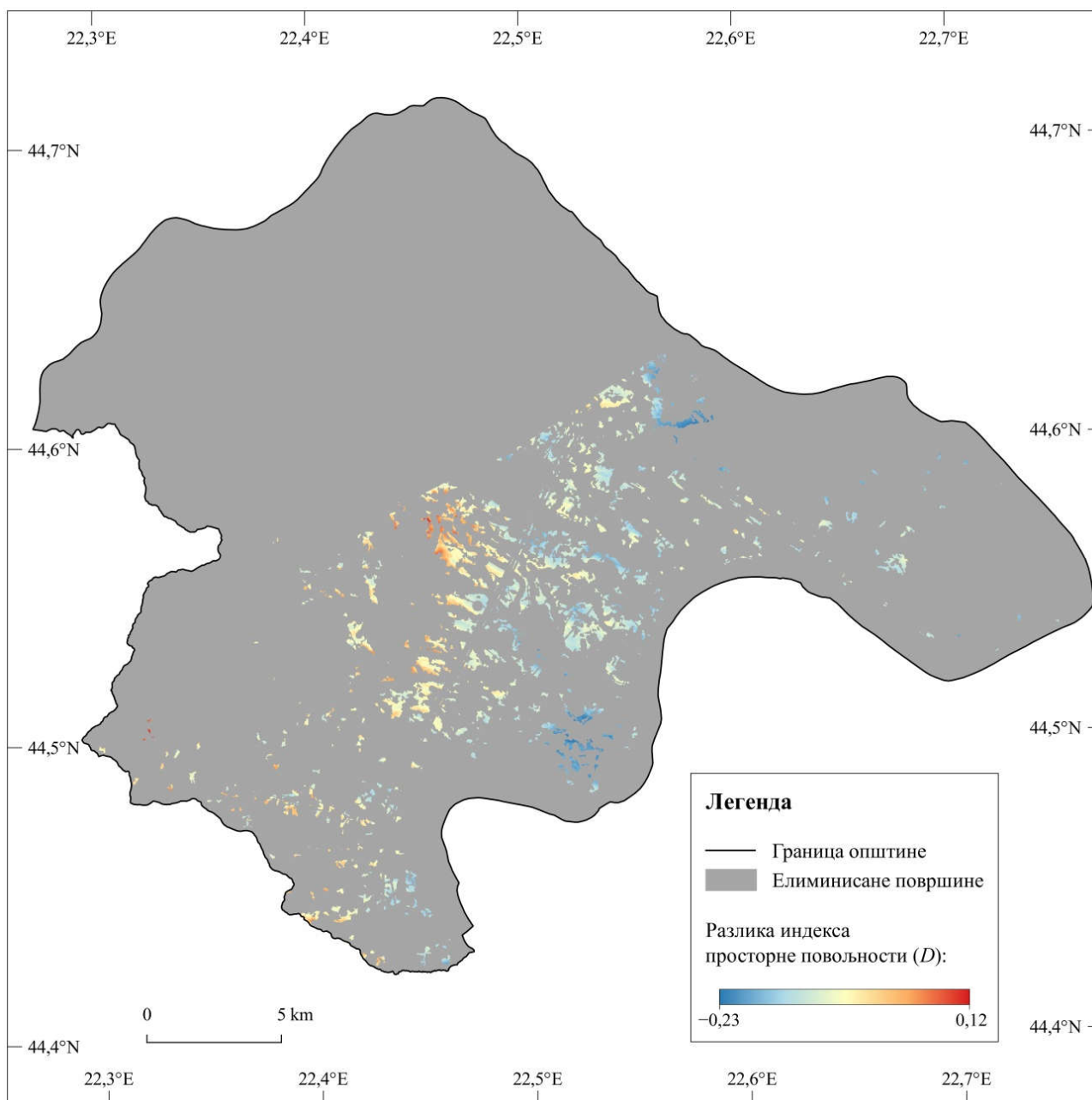
Како би се на територији Града Врања и општине Кладово сагледале промене индекса просторне повољности између C1 и C2, коришћена је једначина (52):

$$D = I_{S1} - I_{S2} \quad (48)$$

где D представља разлику индекса просторне повољности, I_{S1} вредност индекса просторне повољности према C1, а I_{S2} вредност индекса просторне повољности према C2.



Слика 52. Одступања индекса просторне повољности на територији Града Врања, између C1 и C2.



Слика 53. Одступања индекса просторне повољности на територији општине Кладово, између C1 и C2.

Површине које су на карти представљене тоновима жуте боје показују најмања одступања, док су већа одступања приказана интензивнијим тоновима плаве или црвене боје, у зависности од тога да ли је индекс просторне повољности према C1 већи или мањи у односу на C2 (Слика 52 и Слика 53). На територији Града Врања најзначајније промене дешавају се на нижим надморским висинама где је, према C2, индекс просторне повољности већи. Екстремна одступања запажају се на десној страни Јужне Мораве, у појасу најзначајнијег инфраструктурног коридора. Терени на већим надморским висинама, нарочито уз источну границу Града Врања, такође показују значајна одступања, али са супротном тенденцијом у односу на ниже терене, јер додељени тежински коефицијенти од стране евалуатора, благо фаворизују „природне” факторе (ирадијацију, температуру ваздуха, нагиб, експозицију и педолошки састав) у односу на „антропогене” факторе (близина приступних саобраћајница, потрошаче, електроводе и трафостанице, као и удаљеност од површинских вода). У таквој консталацији односа, јужно оријентисани терени на крајњем истоку имају већи индекс просторне повољности према C1, него према C2. Сличне тенденције запажају се и на територији општине Кладово. Највећа одступања резултата C1 и C2, евидентирана су на нижим теренима, нпр. у атару насеља Љубичевац (југоисточни део

општине). Друго значајно одступање је западно од насеља Кладово, где С2 показује боље резултате од С1, због једнаког третмана свих фактора у поступку вредновања. У општини Кладово на брдским теренима С1 има боље резултате, због чега су одступања на супротној страни скале најевидентнија у унутрашњем делу територије. На карти су нијансом жуте боје представљене површине код којих није дошло до промене индекса просторне повољности између С1 и С2, или су те промене незнатне. Према том принципу су, на територији општине Кладово, одабране експерименталне парцеле, ради процене производње електричне енергије на тим локацијама.

4.1.3. Производња електричне енергије на експерименталним парцелама

На основу резултата индекса просторне повољности за изградњу фотонапонских електрана, према С1, одабране су најповољније парцеле (Табела 15) на којима је извршена процена производње електричне енергије према методологији описаној у поглављу 3.6. Осим тога, водило се рачуна да на потенцијалним парцелама нема великих одступања вредности индекса просторне повољности у односу на С2, по коме су сви критеријуми једнако важни у поступку вредновања. Важно је напоменути, да приликом валоризације, нису уважени имовинско-правни односи, јер подаци те врсте нису били доступни у адекватном формату за потребе овог истраживања. Због тога је накнадно одлучено да се, избором јавног приступа, изврши претрага базе података “еКатастар” (Републички геодетски завод [РГЗ], 2019), ради добијања података о облику својине за потенцијалне парцеле. Иако имовинско-правни односи директно утичу на трошкове пројекта изградње фотонапонске електране, процена производње електричне енергије извршена је како за одабране парцеле у приватном власништву које имају висок индекс просторне повољности, тако и за оне парцеле које немају висок индекс просторне повољности, али су у власништву државе. На територији Града Врање извршена је и процена производње енергије за оне парцеле које су просторним планом одређене као потенцијалне локације за соларне електране, под условом да се више од 1/3 површина парцеле поклапа са валоризованим површинама у моделу (Табела 15).

Табела 15. Процена производње електричне енергије на одабраним парцелама

Насеље:	Врање					Кладово	
	Бабина Пољана	Дубница	Крива Феја	Брза Паланка	Грабовица		
Бр. парцеле:	360	75	77	2348	3510	3084	2228
Јануар	402.464,7	15.621,9	401.757,4	8.9491,0	16.926,1	22.365,5	14.497,4
Фебруар	563.371,7	22.723,2	588.960,2	129.735,2	24.551,8	35.633,2	23.218,4
Март	891.346,4	37.908,5	996.166,6	215.649,4	40.814,9	60.302,3	40.022,0
Април	978.393,8	44.162,5	1.180.548,4	250.454,8	47.390,3	74.052,3	50.206,0
Мај	1.059.868,8	50.193,7	1.358.790,5	284.117,0	53.758,2	86.056,3	59.241,7
Јун	1.044.229,5	50.652,0	1.378.738,9	286.268,9	54.157,7	87.620,8	60.734,5
Јул	1.151.100,1	55.551,1	1.509.127,4	314.191,4	59.458,5	94.386,2	65.262,7
Август	1.212.240,0	56.092,3	1.506.683,8	317.786,5	60.124,3	94.495,5	64.474,4
Септембар	1.085.511,2	47.217,1	1.246.379,0	268.424,2	50.740,8	77.124,5	51.512,9
Октобар	8.963.69,1	36.429,6	943.349,5	208.275,1	39.375,8	56.405,0	36.749,6
Новембар	5.077.22,5	19.672,7	504.547,1	112.972,4	21.354,7	28.616,7	18.445,4
Децембар	3.165.69,7	12.390,9	320.369,2	71.065,3	13.419,2	18.309,6	11.924,7
Година	10.109.187,3	448.615,4	11.935.418,1	2.548.431,3	482.072,3	735.367,8	496.289,6

Парцела са бројем 3510, у атару насеља Крива Феја, одабрана је као једна од парцела са високим индексом просторне повољности ($\bar{I} = 0,79$) на територији Града Врање. Поменута парцела простире се на терену нагнутом ($4-12^\circ$) према југу, надморске висине 1.266–1.282 m. Реч је о приватној својини, пољопривредном земљишту (њиви), осме бонитетне класе, укупне површине 8.322 m². Према рефералној карти број 1 „Намена простора” (ЈП Завод за

урбанизам Врање, 2011в), одабрана парцела налази се на грађевинском земљишту, односно подручју које је просторним планом намењено за проширење грађевинског земљишта. Уз југоисточну границу парцеле налази се локација која је према Просторном плану Града Врања одређена као потенцијална за изградњу соларне електране, а која је на основу модела елиминисана, будући да сателитски снимци показују да се ради о шумском земљишту. Одабрана парцела је добро повезана са државним путем другог реда (Р-239), који повезује Врањску Бању и Босилеград, а од кога је удаљена око 600 m. Повољан положај парцеле огледа се и кроз могућност прикључења потенцијалне фотонапонске електране на постојећи електроенергетски вод, капацитета 35 kV. Под претпоставком да просечна потрошња струје по домаћинству износи 350 kWh на месечном нивоу (РТС, 2018), инсталацијом фотонапонске електране на одабраној локацији обезбедила би се годишња количина електричне енергије потребна за око 115 домаћинства.

Северозападно од претходне парцела, на шумском земљишту, четврте бонитетне класе, налази се друга потенцијална локација (парцела бр. 2348) погодна за изградњу фотонапонске електране. Одабрана парцела је у власништву државе, и обухвата површину 44.557 m². Терен за изградњу потенцијалне фотонапонске електране пружа се дуж јужно експонираних падина, са нагибом 7–16°, на надморској висини 1230–1280 m. Индекс просторне повољности на овој парцели износи 0,76. Према просторном плану Града Врања, тј. рефералној карти бр. 1, парцела се налази у пољопривредном планинском рејону/воћарско-ливадско-сточарском рејону. Прегледом сателитских и ортофото снимака, доступних преко Дигиталне платформе „Геосрбија” (Геосрбија, n.d.) закључено да на одабраној парцели преовлађује травната вегетација, због чега ова локација представља боље решење за изградњу фотонапонске електране, од оне која је одређена у просторном плану (парцела бр. 2575/1), а налази се у њеној непосредној близини. Одабрана парцела је добро позиционирана, јер се налази на око 200 m од државног пута другог реда (Р-239), и око 900 m од електроенергетског вода, капацитета 35 kV. Инсталацијом и радом фотонапонске електране на овој парцели обезбедила би се комплетна електрична енергија за око 607 домаћинстава на годишњем нивоу.

Од укупно 18 парцела које су у Просторном плану Града Врања (ЈП Завод за урбанизам Врање, 2011б) одређене као потенцијалне локације за соларне електране, за три парцеле извршена је процена производње електричне енергије. Табела 16 показује процентуално преклапање валоризованим површинама у моделу са парцелама које су одређене у просторном плану.

Парцела 360, у атару насеља Бабина Пољана, има просечан индекс просторне повољности 0,60. Простире се на пољопривредном земљишту, тј. пашњаку, шесте бонитетне класе, на површини од 167.193 m². Парцела је у власништву државе (ЈП „Србијашуме”), што олакшава њено активирање за потребе производње обновљиве енергије. Процењена производња електричне енергије из потенцијалне фотонапонске електране, на овој парцели, довољна је да обезбеди годишње потребе за око 2.407 домаћинстава. Парцела се, углавном, простире јужним и југозападно експонираним падинама, на надморској висини 1419–1651 m. Међутим, из инжењерско-геоморфолошког аспекта, реч је о неповољном терену, односно терену који се може користити за изградњу само уз значајне захвате (Vognar, 1990), будући да се нагиб терена креће између 13° и 33° (у просеку 25°). Приступ парцели омогућен је са источне стране преко обичног колског пута који је на северу повезан са новоизграђеним општинским путем (ОП-19-1): Крива Феја (веза са државним путем другог реда 239) – Рудник олова и цинка “Грот” (некадашњи рудник „Благодат”) (ЈП Завод за урбанизам Врање, 2011б). Парцела није опремљена енергетском инфраструктуром, а најближи постојећи електровод удаљен је око 2,5 km.

Друге две парцеле (бр. 75 и 77), налазе се западно од градског насеља Врање, тј. у атару насеља Дубница, на надморској висини 1075–1148 m. Терен је углавном повољан за изградњу, јер преовлађују присојне падине (јужне, југозападне и југоисточне), са нагибом 0,8–13° (у просеку 7°). У оба случаја ради се о пашњаку, пете бонитетне класе, у власништву

државе. Укупна површина парцеле бр. 75 износи 7.872 m^2 , па је на овој локацији могуће развити мању фотонапонску електрану довољну за, око, 107 домаћинства. Парцела бр. 77, са површином од 214.163 m^2 , пружа могућности за изградњу веће фотонапонске електране, која би према проценама могла да годишње обезбеди електричну енергију за око 2.842 домаћинства. У непосредној близини пролази лошији колски пут, док је енергетска инфраструктура смештена у котлинском делу територије, и према расположивим подацима о положају електроенергетских водова удаљеност од парцеле износи око 3 km.

Табела 16. Учешће валоризованих површина у укупној површини парцела које су просторним планом Града Врања одређене као потенцијалне локације за изградњу соларних електрана.

Локације	Површина ^а (m^2)	Поклапања са валоризованим површинама (%)
Бабина пољана		
Парцела бр. 360	167.193	57,4
Парцела бр. 362	213.202	17,2
Горње Жапско		
Парцела бр. 861	30.780	0
Парцела бр. 862	180.951	0
Доње Жапско		
Парцела бр. 3574	159.078	0
Парцела бр. 3575	165.395	0
Дубница		
Парцела бр. 75	7.872	58,3
Парцела бр. 76/1	126.845	17,9
Парцела бр. 76/2	7.600	23,1
Парцела бр. 77	214.163	46,7
Крива Феја		
Парцела бр. 613	376.840	0
Парцела бр. 984	289.111	0,4
Парцела бр. 2570/1	461.529	0
Парцела бр. 4633	508.676	0
Парцела бр. 9832	275.593	25,9
Парцела бр. 10062	452.999	0
Парцела бр. 10873	431.412	3,1
Моштаница		
Парцела бр. 757/1	198.221	0

Напомена. ^аРГЗ (2019)

На територији општине Кладово одабране су две парцеле за које је урађена процена производње електричне енергије из фотонапонских електрана, док је трећа локација соларна електрана „Соларис 1” коришћена за валидацију модела.

Парцела бр. 3084, у атару насеља Брза Паланка одабрана је због високог индекса просторне повољности, који у просеку износи 0,78. Реч је о њиви, шесте бонитетне класе, у приватном власништву. Према Просторном плану општине Кладово, тј. Рефералној карти бр. 1: „Намена простора” (ЦЕП, 2012в) парцела се налази у сточарско-ратарском подручју. Правила грађења на пољопривредном земљишту дозвољавају изградњу објеката инфраструктуре, првенствено на земљишту ниже бонитетне класе и у складу са просторним и урбанистичким планом (ЦЕП, 2012б). Расположива површина за инсталацију фотонапонске електране износи 15.257 m^2 , а процењена годишња производња електричне енергије би била довољна да подмири потребе око 175 домаћинства. Парцела се налази на јужним падинама, са нагибом $6\text{--}13^\circ$, на надморској висини $370\text{--}391 \text{ m}^2$. Приступ парцели омогућен је колским путем са северне стране, који се према западу везује на државни пут другог реда: Брза Паланка – Ђердапска магистрала (Р 104), а на истоку са насељеним местом Брза Паланка. У непосредној близини парцеле пролази електроенергетски вод капацитета 10 kV.

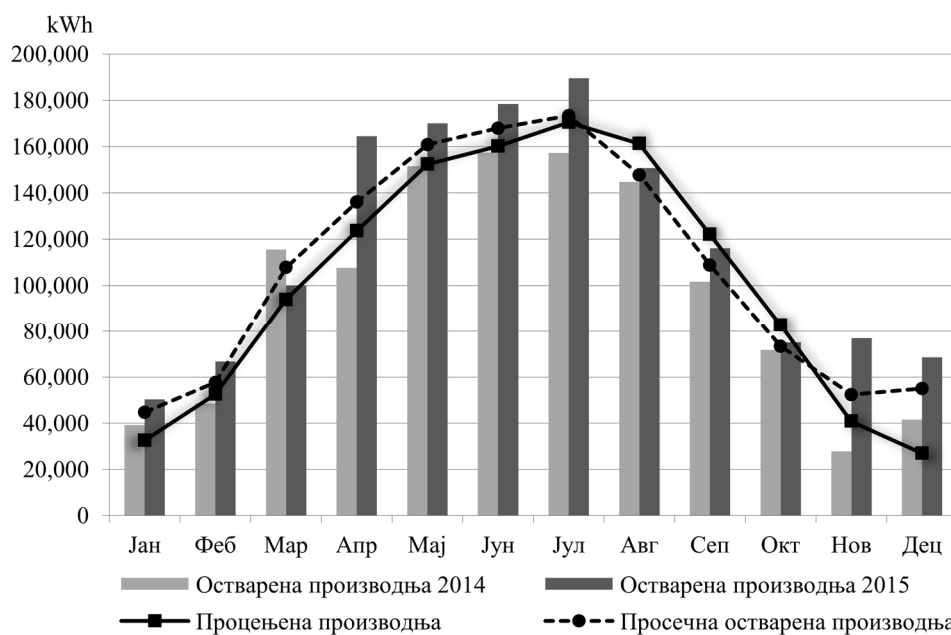
За разлику од претходне, парацела бр. 2228, у атару насеља Грабовица, има нешто нижи индекс просторне повољности ($\bar{I} = 0,59$), али је одабрана с обзиром да се ради о

неплодном пољопривредном земљишту у државној својини (Управа за пољопривредно земљиште, 2018). Парцела се простира на благо нагнутом терену ($1-4^\circ$), јужне експозиције, на надморској висини 259–264 m^2 . Укупна површина парцеле износи 10.693 m^2 . Одлична саобраћајна повезаност, као и близина електроенергетских водова високог (400 kV и 110 kV) и ниског (10 kV) напона, чине одабрану парцелу идеалном за развој фотонапонске електране, која би према процењеној годишњој производњи електричне енергије могла да снабдева око 118 домаћинства.

4.1.4. Валидација модела за процену производње електричне енергије

Последња фаза моделовања производње електричне енергије односи се на проверу валидности модела, одосно да ли се тако добијени резултати поклапају са резултатима из праксе. За ту сврху послужили су подаци о оствареној производњи електричне енергије постојеће фотонапонске електране на територији општине Кладово.

С обзиром на то да су подаци о оствареној производњи електричне енергије били доступни само за „Соларис 1”, процена је извршена само за поменути део фотонапонске електране. На основу постојећих сателитских снимка, извршена је дигитализација ограђеног простора фотонапонске електране „Соларис 1” и одређена је њена укупна површина (22.500 m^2). У моделу за процену производње електричне енергије није коришћена једначина (15) за одређивање оптималног нагиба панела, јер су панели постављени под углом од 25° (Kostić et al., 2016). На основу ограђене површине на којој се налази фотонапонска електрана и других моделованих података, урађена је процена производње електричне енергије на овој локацији, а добијени резултати су упоређени са реалним подацима о производњи (Слика 54).

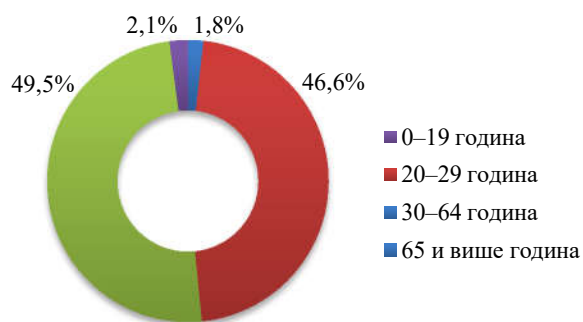


Слика 54. Процењена и остварена производња електричне енергије фотонапонске електране „СОЛАРИС 1”. Подаци о оствареној производњи електричне енергије преузети су из „Solar PV plants in Serbia and practical experience for solar power plant “Solaris 1&2” in Kladovo”, М. Kostić et al., *Proceedings of the 2016 4th International Symposium on Environmental Friendly Energies and Applications (EFEA)* (pp. 1–6), 2016, IEEE. Copyright © 2016, IEEE

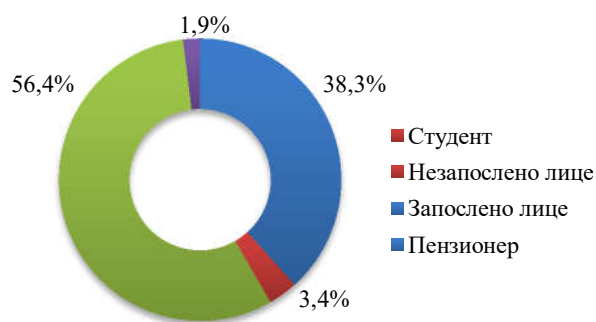
Просечна апсолутна грешка (енг. Mean Absolute Percent Error—MAPE) између процењене и остварене производње износи око 14.6%. Грешке су највеће у децембру, односно у периоду када је облачност најизраженија на овој територији. Модел најмање греша при процени производње електричне енергије за јул (Слика 54).

4.2. Резултати анкетног истраживања

У анкетном истраживању је учествовало 566 испитаника, од чега је 52,2% квалификовано за рад у домену обновљивих извора енергије. У погледу полних карактеристика, жене су узеле активније учешће у укупном броју испитаника (57,2%). Анализиране су четири старосне групе испитаника, при чему су они у групи млађе средовечног (20–29 година) и средовечног (30–65 година) заузели највеће учешће (Слика 55). Према занимању више од пола испитаника су запослена лица (56,4%), док остатак чине студенти (38,7%), незапослена лица (3,4%) и пензионери (1,9%) (Слика 56). Од ученика није прикупљен ниједан одговор. Запослена лица, која су учествовала у анкетном истраживању су у највећем броју факултетски образована (91,2%). У категорији студената највише пристиглих одговора је од студента основних студија (81,1%), затим студента мастер студија (12,9%) и студента докторских студија (6%). Скоро подједнак број одговора добијен је од студената који припадају факултетима из области техничко-технолошких (42,4%) и природно-математичких (41,1%) наука, док су студенти друштвено-хуманистичких и медицинских наука имали мање учешће у анкетном истраживању. Треба имати у виду да је 66% испитаника више и високо образовано, а да је према последњем попису становништва њихов проценат у Србији око 16% (РЗС, 2013), те да се, вероватно, резултати анкетног истраживања не односе на ставове и информисаност друштва у целини.



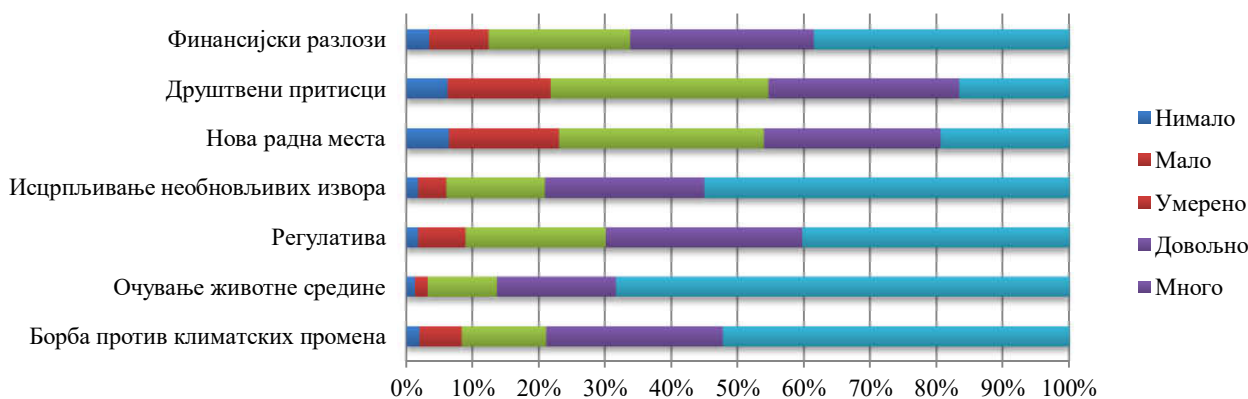
Слика 55. Учешће испитаника према старосним групама.



Слика 56. Учешће испитаника према занимању.

Готово сви испитаници (96,8%) знају шта представља термин обновљиви извори енергије, док веома мали број није сигуран (2,8%) или не зна шта овај термин представља. Слично је и код питања важности употребе обновљивих извора енергије, где већина њих сматра да их је важно користити (83,2%).

Испитаници су препознали очување животне средине, исцрпљивање необновљивих извора енергије и борбу против климатских промена, као разлоге који у највећој мери доприносе развоју обновљивих извора енергије. Занимљиво је напоменути да очување животне средине има нешто већи утицај на развој обновљивих извора него борба против климатских промена (Слика 57).



Слика 57. Учешће одговора у погледу разлога који утичу на развој обновљивих извора енергије.

Насупрот овим разлозима, нешто већи проценат испитаника навео је да друштвени притисци и нова радна места имају умерен утицај на развој обновљивих извора енергије. Ови разлози бележе нешто већи проценат одговора у категоријама „мало” и „нимало”.

Фридманов тест је показао да постоји значајна разлика у процени испитаника у погледу фактора који утичу на развој обновљивих извора енергије, $\chi^2_r(6, n = 566) = 773,642$, $p = 0,000$. Вредност Кронбаховог коефицијента ($> 0,7$) потврђује добру поузданост и унутрашњу сагласност скале за процену утицаја појединих фактора на развој обновљивих извора енергије за посматрани узорак.

Табела 17. Средња вредност рангова за разлоге који утичу на развој обновљивих извора енергије према Фридмановом тесту

Фактори	Средња вредност ранга (\bar{R})
Очување животне средине	5,14
Исцрпљивање необновљивих извора	4,63
Борба против климатских промена	4,55
Регулатива	4,09
Финансијски разлози	3,89
Нова радна места	2,88
Друштвени притисци	2,82

Поредећи средње вредности рангова (\bar{R}), потврђена је претходна изнета тврдња да је, на основу посматраног узорка, потреба за очувањем животне средине ($\bar{R} = 5,14$) главни покретач развоја обновљивих извора енергије (Табела 17).

Применом Мен-Витнијевог U теста откривено је да постоје неслагања у одговорима квалификованих и неквалификованих испитаника, у погледу утицаја појединих разлога на развој обновљивих извора енергије.

Табела 18. Разлике у одговорима испитаника, према њиховој квалификацији, у погледу значаја појединих разлога на развој обновљивих извора енергије

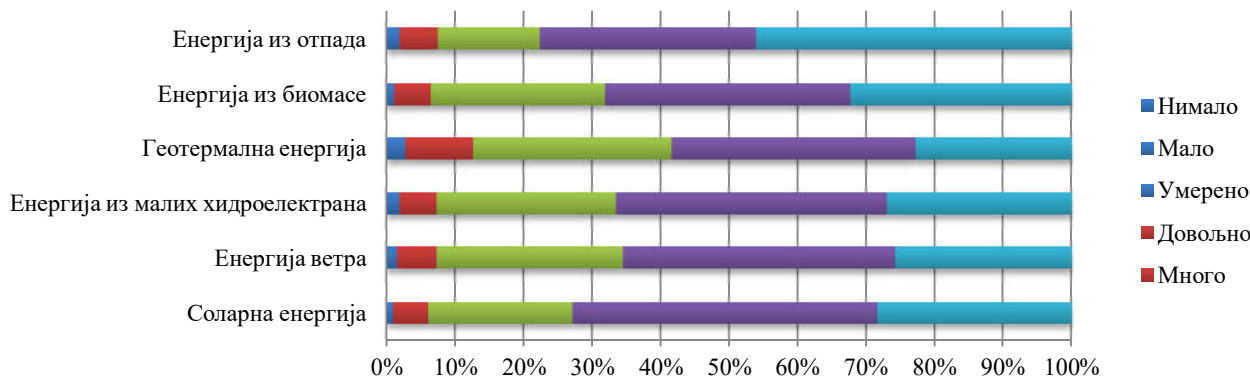
Разлози	Mann-Whitney U	z	p
Борба против климатских промена	36401.000	-2,010	0,044*
Очување животне средине	39077.500	-0,561	0,575
Регулатива	34302.500	-3,078	0,002**
Исцрпљивање необновљивих извора	38574.500	-0,797	0,426
Нова радна места	35249.500	-2,507	0,012*
Друштвени притисци	38710.000	-0,673	0,501
Финансијски разлози	37204.000	-1,492	0,136

Напомена. * $p < 0,05$. ** $p < 0,01$.

На основу Табеле 18, могло би се закључити да се одговори везани за утицај регулативе на развој обновљивих извора енергије, статистички значајно ($p = 0,002$), разликују између групе „квалификованих” и „неквалификованих” испитаника. Међутим, на основу критеријума за интерпретацију величине утицаја, које је дао Cohen (1988), ради се о малом утицају ($r = -0,13$) квалификације испитаника на посматрану варијабилу. Детаљнијом анализом добијених одговора уочено је да су испитаници у обе групе оцењивали утицај регулативе са „много” и „довољно” али и да су се неквалификовани испитаници чешће опредељивали за друге оцене на скали (Прилог Б, Табела Б2). Разлике између две групе испитаника постоје и у оцењивању утицаја нових радних места и борбе против климатских промена, али са мањим степеном статистичке вероватноће ($p \leq 0,05$).

У погледу потенцијала за коришћење обновљивих извора енергије на територији Републике Србије, скоро половина испитаника (46,1%) сматра да енергија отпада има много

потенцијала за коришћење. Испитаници су потенцијал осталих извора у највећем проценту оцењивали као „довољан”, нарочито ако посматрамо соларну енергију (44,6%). Као што се може видети на слици 58 испитаници, углавном сматрају да Србија има потенцијал за коришћење обновљивих извора енергије, јер је мали број оцена на „супротној страни скала”. Нешто више негативних оцена забележено је за геотермалну енергију, али је и даље веома мали проценат у поређењу са осталим оценама на скали.



Слика 58. Учешће одговора у погледу потенцијала за коришћење обновљивих извора енергије.

Детаљне резултате о учесталости испитаника у погледу оцењивања потенцијала обновљивих извора енергије могуће је сагледати у прилогу Б (Табела Б3).

Фридманов тест је потврдио да постоји разлика у оцењивању потенцијала различитих извора обновљиве енергије у Србији, $\chi^2_r(5, n = 566) = 117,531, p = 0,000$. Вредност Кронбаховог коефицијента ($> 0,7$) потврђује добру поузданост и унутрашњу сагласност скале за процену потенцијала различитих извора обновљиве енергије за посматрани узорак.

Табела 19. Средња вредност рангова за обновљиве изворе енергије

Врсте обновљивих извора енергије	Средња вредност ранга (\bar{R})
Енергија из отпада	4,04
Соларна енергија	3,57
Енергија из биомасе	3,56
Енергија из малих хидроелектрана	3,41
Енергија ветра	3,34
Геотермална енергија	3,07

Поређећи средње вредности рангова у Табели 19, на основу посматраног узорка енергија из отпада представља највећи потенцијал у домену обновљивих извора.

Табела 20. Разлике у одговорима испитаника, према њиховој квалификацији, у погледу потенцијала обновљивих извора енергије у Србији

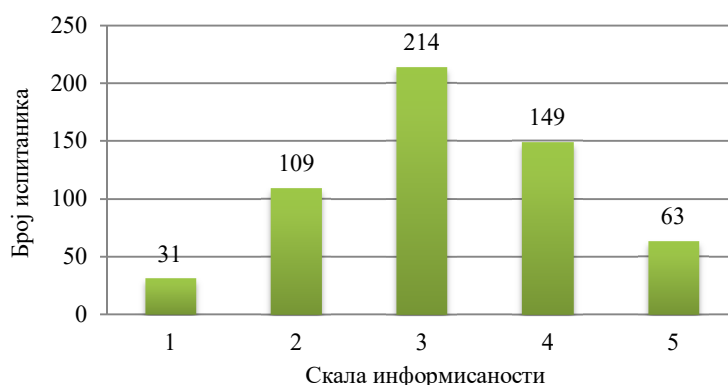
	Mann-Whitney U	z	p
Соларна енергија	39301,000	-0,368	0,713
Енергија ветра	36081,000	-2,111	0,035*
Енергија из малих хидроелектрана	36981,500	-1,622	0,105
Геотермална енергија	36960,000	-1,618	0,106
Енергија из биомасе	32689,000	-3,943	0,000**
Енергија из отпада	39604,000	-0,204	0,839

Напомена. * $p < 0,05$. ** $p < 0,01$.

Резултати Ман-Витнијевог U теста, показују да постоји разлика у одговорима квалификованих и неквалификованих испитаника у погледу оцењивања потенцијала за

коришћење енергије ветра и биомасе у Србији (Табела 20). Иако је ова тврдња статистички значајна, нарочито у погледу енергије биомасе ($p = 0,000$), израчунавање приближне вредности показатеља величине утицаја указује на то да је овде реч о утицају малог интензитета ($r = -0,17$). Колико одговори ове две групе испитаника одступају једни од других, јасно се може закључити анализом процентуалног учешћа постигнутих одговора (Прилог Б, Табела Б3). Квалификовани испитаници су, радије, оцењивали потенцијал енергије из биомасе високим вредностима („много” и „довољно”), док су неквалификовани били недовољно информисани по том питању, што је резултирало разноврснијим оценама на скали потенцијала. Нешто већи проценат неквалификованих испитаника оценили су потенцијал за коришћење енергије из биомасе као „умерен” (29,9%), док нешто мањи проценат њих (27,3%) сматра да се ради о обновљивом извору енергије са „много” потенцијала за коришћење. Другачији односи постигнутих оцена на скали потенцијала за коришћење енергије из биомасе присутни су у категорији квалификованих испитаника (Прилог Б, Табела Б3).

Информисаност о начину рада и тенденцијама развоја система за експлоатацију обновљивих извора енергије представља врло важан сегмент за ширу употребу ових система у будућности. Резултати на петочланој скали (1 = *лоше*, 5 = *добро*)¹ показују да је највећи проценат испитаника (37,8%) своју информисаност оценио са три. Најмањи проценат испитаника оценио је своју информисаност, крајњим вредностима, на скали—„лоше” (5,5%) и „добро” (11,1%). Распоред постигнутих одговора у погледу информисаности о начину рада и тенденцијама развоја система за експлоатацију обновљивих извора енергије могуће је сагледати на слици 59.

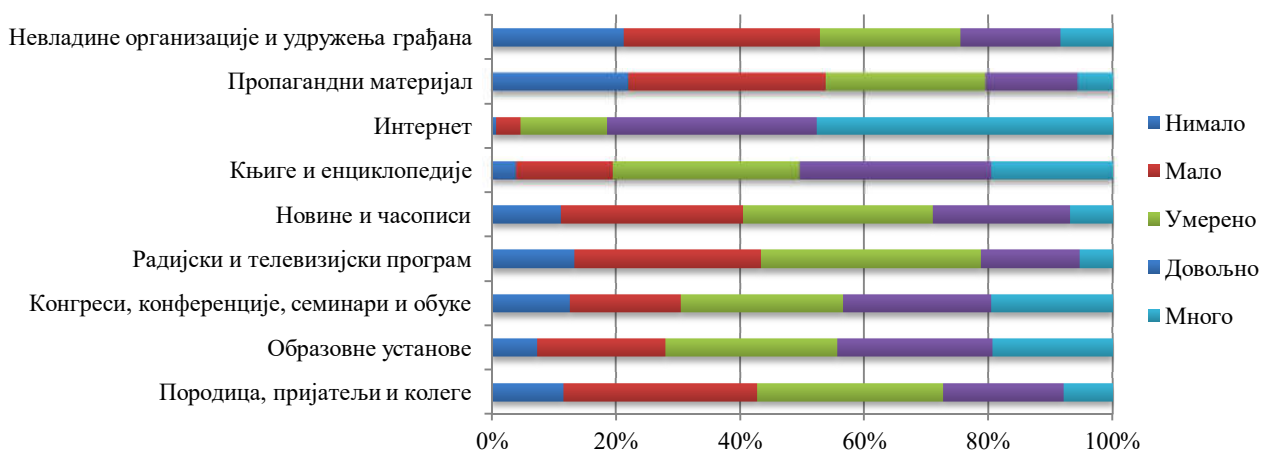


Слика 59. Учешће одговора о информисаности испитаника о начину рада и тенденцијама развоја система за експлоатацију обновљивих извора енергије изражена у апсолутним вредностима.

На основу Хи-квадрат теста независности утврђено је да постоји коегзистентан и предвидљив однос између квалификације испитаника и нивоа информисаности о начину рада и тенденцијама развоја система за експлоатацију обновљивих извора енергије. С обзиром на то да је најмања очекивана учесталост, у свим ћелијама унакрсне табеле, већа од 14,84, није прекршена претпоставка да најмања очекивана учесталост ћелије износи пет или више. Вредност Крамеровог показатеља ($V = 0,433$; $p = 0,000$) упућује да се ради о статистички значајној вези са средњом величином утицаја.

У погледу извора информисаности испитаници су у већини (47,7%) оценили да интернет много утиче на њихову информисаност о обновљивим изворима енергије (Слика 60). Такође, испитаници не виде значајнију улогу невладиних организација и удружења грађана, као ни пропагандног материјала у погледу пружања неопходних информација о обновљивим изворима енергије. Осим сагледавања процентуалног учешћа испитаника у погледу постигнутих оцена на ординалној скали, разлике у изворима информисаности, испитане су применом непараметарских тестова.

¹Под термином лоше подразумева се да испитаник нема довољно информација, што указује на то да се процес информисаности лоше одвија, док термин добро указује да постоји довољно информација за разумевање истраживане проблематике.



Слика 60. Учешће одговора у погледу утицаја појединих извора на информисаност о обновљивим изворима енергије.

На основу Кронбаховог коефицијента алфа (енг. Cronbach's Alpha) установљена је добра поузданост и унутрашња сагласност скале за овај узорак, будући да његова вредност износи 0,769. Фридманов тест показао је да постоји статистички значајна разлика резултата на скали информисаности, од статистике добијене за девет различитих извора информација, $\chi^2_r = 1123,131$ (8, $n = 566$), $p < 0,005$.

Табела 21. Средње вредности рангова за различите изворе информације о ОИЕ добијени на основу Фридмановог теста.

Извори информација о ОИЕ	Средња вредност ранга (\bar{R})
Интернет	7,60
Књиге и енциклопедије	5,94
Образовне установе	5,47
Конгреси, конференције, семинари и обуке	5,35
Новине и часописи	4,49
Породица, пријатељи и колеге	4,34
Радијски и телевизијски програм	4,20
Невладине организације и удружења грађана	3,91
Пропагандни материјал	3,69

Поредећи средње вредности рангова за девет различитих извора информација, уочено је да интернет, са средњим рангом 7,60, представља примаран извор информација. Поред интернета, важно је напоменути да су секундарни извори информација „књиге и енциклопедије”, „образовне установе” и „конгреси, конференције, семинари и обуке” (Табела 21).

Табела 22. Разлике у одговорима квалификованих и неквалификованих испитаника у погледу извора информација о обновљивим изворима енергије

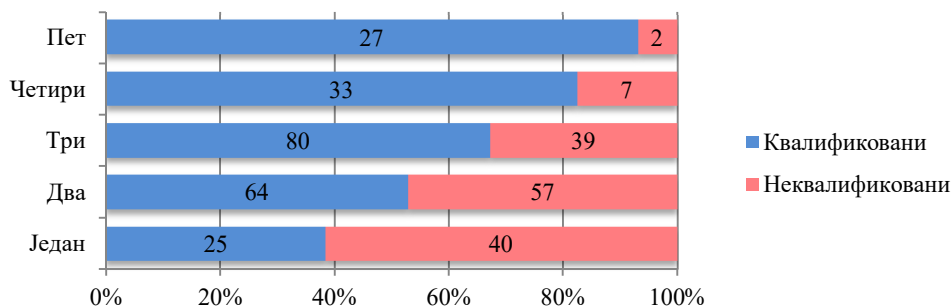
Извори информација	Mann–Whitney U	z	p
Породица, пријатељи и колеге	39689,500	-0,151	0,880
Образовне установе	30927,000	-4,783	0,000**
Конгреси, конференције, семинари и обуке	23463,000	-8,700	0,000**
Радијски и телевизијски програм	39227,500	-0,399	0,690
Новине и часописи	38686,500	-0,685	0,494
Књиге и енциклопедије	34254,000	-3,048	0,002*
Интернет	36470,500	-1,954	0,051
Пропагандни материјал	39304,500	-0,355	0,722
Невладине организације и удружења грађана	36626,000	-1,774	0,076

Напомена. * $p < 0,05$. ** $p < 0,01$.

Резултати Мен-Витнијевог теста у табели 22, указују да постоје значајне разлике у нивоу пружања потребних информација за секундарне изворе. Израчунавањем приближне величине утицаја (r) за ова три извора, указује на то да постоји веза, средње величине утицаја ($r = 0,37$), између квалификације испитаника и информација, које испитаници добијају кроз конгресе, конференције, семинаре и обуке. Мали утицај је карактеристичан за везе које постоје између квалификације и информација које потичу од образовних институција ($r = 0,20$) или из књига и енциклопедија ($r = 0,13$).

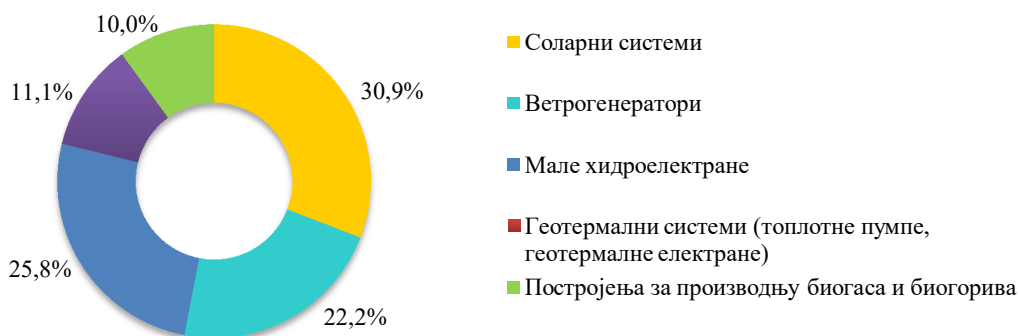
Већина испитаника (66,1%) је видела системе за експлоатацију обновљивих извора енергије у Србији, док остали нису (19,4%) или нису сигурни (14,5%) да су видели неке од ових система. Хи-квадрат тест независности показао је значајне везе између квалификације и одговора на постављено питање, $\chi^2(2, n = 566) = 36,668, p = 0,000, V = 0,255$. Према стандардима за интерпретацију добијених вредности V , које је предложио Cohen (1988), ради се о вези са малом величином утицаја.

Квалификација испитаника утиче на разноврсност опажених система за експлоатацију обновљивих извора енергије на територији Србије. Највећи број квалификованих испитаника (80) имао је прилику да на територији Србије види три различите врсте система (у погледу извора обновљиве енергије), док су неквалификовани најчешће виђали два или само један овакав систем. Неретко су квалификовани испитаници виђали свих пет врста система за експлоатацију обновљивих извора енергије (Слика 61).



Слика 61. Апсолутно и процентуално учешће квалификованих и неквалификованих испитаника према броју опажених различитих врста система за експлоатацију обновљивих извора енергије.

Највећи број опажених система је у категорији соларних система (30,9%), затим следе мале хидроелектране (25,8%) и ветрогенератори (22,2%), док су геотермални системи (11,1%) и постројења за производњу биогаса и биогорива (10%) ретко виђени на територији Србије (Слика 62).



Слика 62. Учешће различитих система за експлоатацију ОИЕ у укупном броју опажених система на територији Србије.

Више од пола испитаника (57,4%) је било упућено да Република Србија издваја одређену своту новца за стимулисање производње електричне енергије из обновљивих извора. Хи-квадрат тест независности показао је значајну везу између квалификације и спознаје о издвајању одређене своте новца за стимулацију производње енергије из обновљивих извора, $\chi^2(4, n = 566) = 60,238, p = 0,000, \phi = 0,326$. Вредност ϕ указује да се ради о вези средње величине

утицаја. У групи квалификованих потврдан одговор на постављено питање дало је 72,9% испитаника, док је у неквалификованој групи само 40% (Прилог Б, Табела Б5).

Спирманов коефицијент корелације показао је да не постоји статистички значајна веза између висине месечних прихода и спремности испитаника да издвоје више средстава за стимулисање обновљивих извора енергије, $\rho = -0,082$, $n = 559$, $p = 0,052$.

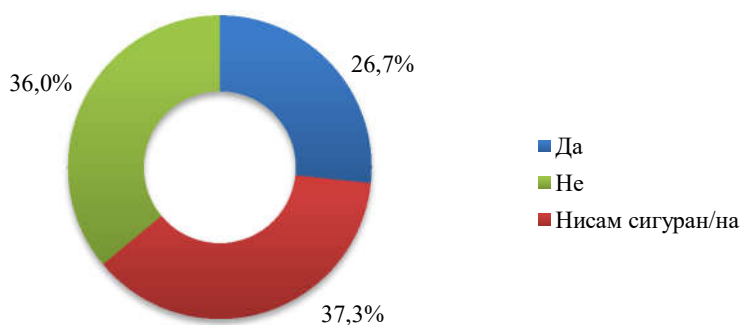
Већина испитаника (64,5%) сматра да обе групе подстицајних мера и инструмената имају подједнак допринос у ширењу примене обновљивих извора енергије. Свега 7,4% испитаника сматра да наведени механизми немају никакв допринос на развој обновљивих извора енергије (Слика 63).



Слика 63. Учешће одговора у погледу механизма који доприносе широј примени обновљивих извора енергије.

Хи-квадрат тест независности је показао статистички значајну везу између квалификације и утицаја различитих мера и инструмената на ширење примене обновљивих извора енергије, $\chi^2 (3, n = 566) = 9,873$, $p = 0,020$, $V = 0,132$. Узимајући у обзир добијену вредност за V величина утицаја, између две посматране варијабиле, је мала.

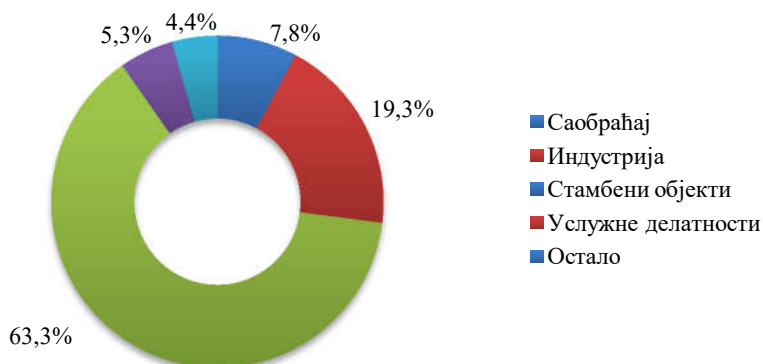
Иако је већи проценат испитаника (37,3%) одговорило да соларна енергија не може да подмири целокупне потребе човечанства за електричном енергијом, велики број несигурних (36%) и оних који сматрају да је то могуће (26,7%), указује на то да не постоји јасан одговор на ово питање (Слика 64).



Слика 64. Учешће одговора у погледу супституције целокупних потреба за електричном енергијом применом соларне технологије.

Хи-квадрат тест независности је показао значајну везу између квалификације и мишљења да би соларна технологија могла да задовољи потребе човечанства за електричном енергијом, $\chi^2 (3, n = 566) = 23,745$, $p = 0,000$, $V = 0,205$. Интерпретација Крамеровог показатеља V доводи до закључка да се овде ради о вези са малом величином утицаја. Највећи број неквалификованих је одговорио да није сигуран (44,6%), док остатак има подељен став (подједнак број одговора у преосталим категоријама). За разлику од њих, већина квалификованих испитаника (46,1%) сматра да није могуће супституисати потребе за електричном енергијом на основу соларне технологије којом данас човечанство располаже (Прилог Б, Табела Б6).

Највећи проценат испитаника (63,3%) види потенцијал за коришћење соларне енергије у склопу стамбених објеката, а потом у оквиру индустрије (19,3%). Услугне делатности имају мањи потенцијал за коришћење соларне енергије од саобраћаја (Слика 65).



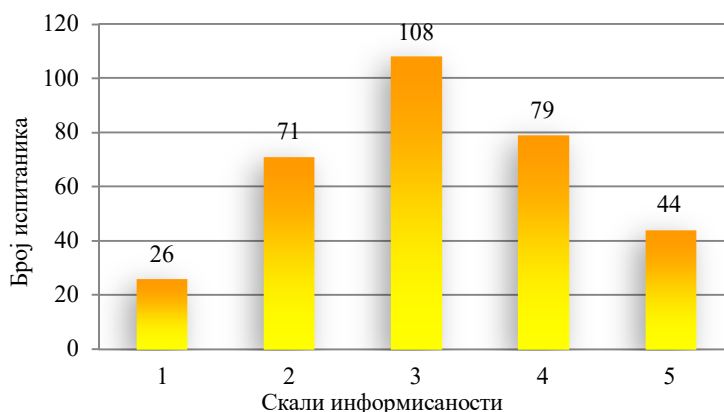
Слика 65. Учешће одговора у погледу потенцијала за коришћење соларне енергије према појединим категоријама делатности.

Хи-квадрат тест независности није показао значајну везу између квалификације и одабира делатности са највећим потенцијалом за коришћење соларне енергије, $\chi^2(4, n = 566) = 5,789, p = 0,215, V = 0,101$.

Већи проценат испитаника (58%) је упућен у фотонапонске системе за разлику од оних који нису. Резултати хи-квадрат теста независности, $\chi^2(1, n = 566) = 84,866, p = 0,000, \phi = 0,387$, показују да постоји коегзистентан и предвидљив однос између квалификације и одговора на питање: „Да ли сте чули за фотонапонске системе?” На основу вредности ϕ изводи се закључак о средњој величини утицаја између ове две варијабиле.

Анализи процентуалног учешћа испитаника, према квалификацији и њиховог одговора на постављено питање (Прилог Б, Табела Б7), јасно показује предност квалификованих (76,3%) од неквалификованих (38%) испитаника који су дали потврдан одговор.

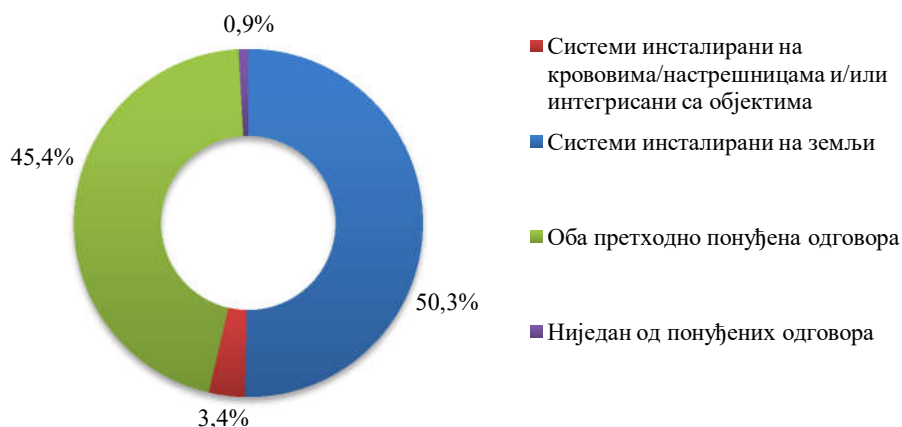
Увођењем елиминаторног питања, у упитик, омогућило је да се део истраживања који је уско везан за фотонапонске електране спроведе на узорку од 328 испитаника, који су чули за фотонапонске системе. На петочлавној скали информисаности о начину рада и тенденцијама развоја фотонапонских система (1 = лоше, 5 = добро), испитаници су најчешће оцењивали своју информисаност са три (Слика 66).



Слика 66. Учешће одговора о информисаности испитаника о начину рада и тенденцијама развоја фотонапонских система изражена у апсолутним вредностима.

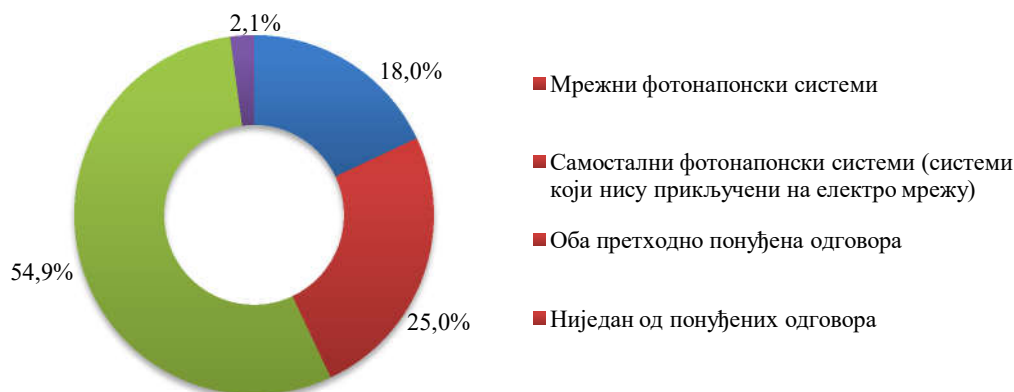
Хи-квадрат тест независности показао је да постоји веза између квалификације и нивоа информисаности о фотонапонским системима, $\chi^2(4, n = 566) = 27,145, p = 0,000, V = 0,288$. Код ове везе, вредност V , указује на малу величину утицаја између ових варијабила. Укрштање података и сагледавање процентуалног учешћа постигнутих резултата у погледу квалификације, јасно потврђује да су квалификовани испитаници боље информисани о фотонапонским системима од неквалификованих (Прилог Б, Табела Б8).

Имајући у виду утицај фотонапонских електрана на животну средину, у упитнику, је формулисан низ питања са тендецијом да се испитају ставови и перцепције испитаника на ову тему. На почетку су постављена два питања, на основу којих се дошло до сазнања о преференцијама испитаника према одређеним врстама фотонапонских система у погледу њихове инсталације и начина складиштења произведене енергије. Резултати на слици 67 упућују на чињеницу да су фотонапонски системи инсталирани на надстрешницама/крововима и/или они који су интегрисани са објектима, прихватљивије решење, у погледу очувања животне средине. Међутим, висок проценат одговора (45,4%), да су оба понуђена решења прихватљива за испитанике, иде у прилог тези да је добрим планирањем могуће интегрисати овакве системе у простор, без већих утицаја на животну средину. Применом Хи-квадрат теста независности, је доказано да не постоји никаква, статистички значајна веза између преференција фотонапонских система у погледу њихове инсталације и квалификације испитаника, $\chi^2(3, n = 328) = 1,283, p = 0,733, V = 0,063$.



Слика 67. Учешће одговора у погледу прихватљивости различитих типова фотонапонских система према начину инсталације.

Већина испитаника (54,9%) је рекла да су за њих подједнако прихватљиви мрежни и самостални фотонапонски системи (Слика 68). Нешто већи проценат испитаника се определио за самосталне системе (25%), у односу на мрежне системе (18%). Хи-квадрат тест независности показао је да постоји подједнака дистрибуција остварених резултата код квалификованих и неквалификованих испитаника, у погледу прихватљивости фотонапонских система према начину складиштења енергије, $\chi^2(3, n = 328) = 0,449, p = 0,930, V = 0,037$.



Слика 68. Учешће одговора у погледу прихватљивости различитих типова фотонапонских система према начину складиштења енергије.

Резултати Фридмановог теста су показали да постоје статистички значајне разлике у резултатима на скали слагања између 12 наведених изказа (Табела 23), који се тичу утицаја фотонапонских електрана на животну средину, $\chi^2_r(13, n = 328) = 882,091, p = 0,000$.

Табела 23. Средња вредност рангова за различите исказе о утицајима фотонапонских електрана на животну средину добијени на основу Фридмановог теста.

Искази	Средња вредност ранга (\bar{R})
Изградња фотонапонских електрана на деградираним површинама (депоније, површински копови, brownfields—раније изграђено или коришћено земљиште које је због економских или других разлога напуштено, и сл.) доприноси побољшању стања животне средине и умањује потребу за нову пренамену земљишта.	11.08
Фотонапонски системи омогућују електрификацију руралних и тешко приступачних крајева, доприносе јачању независности и поузданости у снабдевању енергијом, и утичу на отварање нових радних места.	10.99
Фотонапонске електране доприносе смањењу емисије гасова са ефектом стаклене баште и токсичних гасова (сумпор-диоксид, суспендоване честице, итд.).	10.21
Током рада фотонапонски панели не емитују буку или је она минимална, док је ниво буке повећан у фази изградње и уклањања електране.	9.77
Паралелно коришћење простора фотонапонске електране нпр. за испашу, као природни резерват, у едукативне и/или туристичке сврхе.	8.66
Промене и губитак површинског слоја земљишта због инсталације фотонапонске електране.	7.54
Конфликт коришћења простора фотонапонске електране са активностима које су везане за пољопривредну производњу и археолошка истраживања.	7.31
Ризик од акумулација отпада са токсичним материјама (кадмијум, арсен, селен, олово, силикатна прашина и сл.) и грађевинског отпада.	7.30
Губитак флоре и фауне као последица уклањања вегетације, формирања препрека, применом токсичних супстанци и пестицида и сл.	7.29
Повећање прашине у ваздуху (као последица уклањања вегетације).	6.98
Промене микроклиме и мезоклиме (ефекат „острво топлоте”, смањење брзине ветра и повећање облачности) под утицајем фотонапонских панела.	6.92
Деградација визуелних карактеристика природних и културних предела.	6.84
Код фотонапонских електрана постоји ризик од избијања пожара услед чега се ослобађају производи сагоревања различитих супстанци.	6.51
Потрошња воде (за чишћење панела) и промена квалитета водних ресурса (применом токсичних супстанци).	6.50
Ризик од пожара, струјног удара, удара грома, појава заразних болести, одсјаја или блеска панела може угрозити здравље и животе људи.	6.10

Поређећи средње вредности рангова за 12 различитих исказа, долази до изражаја констатација да је степен слагања већи у погледу позитивно формулисаних исказа, него код негативно формулисаних. Међутим, код негативно формулисаних исказа нема оштре диференцијације између оцена на једној и другој страни скале. Највећи број испитаника се слаже (36%), или се у потпуности слаже (36%), са тврдњом да фотонапонски системи стварају додатне вредности у простору (електрификација руралних и тешко приступачних крајева, јачање независности и поузданости у снабдевању енергијом, отварање нових радних места). Такође, већи број испитаника се слаже (39%), или се у потпуности слаже (33,5%), да изградња фотонапонских електрана, на деградираним површинама, доприноси побољшању стања животне средине и умањује потребу за нову пренамену земљишта. Већи степен слагања испитаника запажа се у погледу утицаја фотонапонских електрана на смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште и токсичних гасова (сумпор-диоксид, суспендоване честице, итд.), као и за неемитовање или емитовање мањих нивоа буке у фази рада. Од позитивних утицаја, једино паралелно коришћење простора фотонапонске електране нпр. за испашу, као природни резерват, у едукативне и/или туристичке сврхе, има нешто већи проценат оних који немају мишљење (35,1%) у поређењу са онима који се слажу (32,3%) са наведеном констатацијом. Од негативних утицаја на животну средину једино је у погледу промене и губитка површинског слоја земљишта нешто више испитаника исказало већи степен слагања од неслагања, на скали ставова. Испитаници се углавном не слажу око већине исказа. С обзиром да за поједине исказе постоји висок проценат оних који немају мишљење, не може се са сигурношћу тврдити или оповргнути да фотонапонске електране повећавају ризик од избијања пожара и акумулације отпада, као ни да имају утицај на промене микро и мезоклиме (Прилог А, Слика А25).

Табела 24. Разлике у одговорима испитаника, према њиховој квалификацији, у погледу значаја појединих исказа о утицајима фотонапонских електрана на животну средину.

Искази	Mann-Whitney U	z	p
Промене и губитак површинског слоја земљишта	11154.500	-0,561	0,575
Потрошња воде и промена квалитета водних ресурса	11039.000	-0,716	0,474
Промене микроклиме и мезоклиме	11143.000	-0,583	0,560
Повећање прашине у ваздуху	11300.500	-0,373	0,709
Смањење емисије ГСБ и токсичних гасова	10163.500	-1,861	0,063
Губитак флоре и фауне	10724.500	-1,123	0,261
Паралелно коришћење простора	10974.500	-0,803	0,422
Конфликти са пољопривредним и археолошким активностима	11407.500	-0,234	0,815
Деградација визуелних карактеристика	11550.000	-0,048	0,961
Ризик од избијања пожара	10448.000	-1,509	0,131
Изградња фотонапонских система на деградираним површинама	10224.500	-1,805	0,071
Ризик од акумулација отпада	10768.500	-1,079	0,280
Угроженост здравља и живота људи	10079.000	-1,975	0,048*
Бука	11509.000	-0,103	0,918
Додатне вредности фотонапонских система	10967.500	-0,821	0,411

Напомена. * $p < 0,05$.

Мен-Витнијев U тест није открио статистички значајну разлику у степену слагања са наведеним исказима код квалификованих и неквалификованих испитаника, осим за исказ који се односи на угроженост живота и здравља људи $U = 10079$, $z = -1,975$, $p = 0,048$, $r = -0,11$ (Табела 24). Вредност r показује малу величину утицаја између ове две варијабиле.

С обзиром на то да је мали број студената медицинских и друштвено-хуманистичких наука чуо за фотонапонске системе, упоређени су само одговори студената природно-математичких и техничко-технолошких наука.

Табела 25. Разлике у одговорима студената природно-математичких и техничко-технолошких наука у погледу појединих исказа о утицајима фотонапонских електрана на животну средину.

Искази	Mann-Whitney U	z	p
Промене и губитак површинског слоја земљишта	1057,500	-0,621	0,535
Потрошња воде и промена квалитета водних ресурса	1077,000	-0,483	0,629
Промене микроклиме и мезоклиме	1087,500	-0,400	0,689
Повећање прашине у ваздуху	1046,500	-0,711	0,477
Смањење емисије ГСБ и токсичних гасова	1069,500	-0,543	0,587
Губитак флоре и фауне	932,500	-1,567	0,117
Паралелно коришћење простора	1123,500	-0,124	0,901
Конфликти са пољопривредним и археолошким активностима	1107,500	-0,246	0,806
Деградација визуелних карактеристика	830,500	-2,329	0,020*
Ризик од избијања пожара	842,000	-2,264	0,024*
Изградња фотонапонских система на деградираним површинама	1107,000	-0,256	0,798
Ризик од акумулација отпада	887,000	-1,931	0,054
Угроженост здравља и живота људи	999,000	-1,065	0,287
Бука	1123,500	-0,127	0,899
Додатне вредности фотонапонских система	993,500	-1,127	0,260

Напомена. * $p < 0,05$.

Мен-Витнијев U тест открио је статистички значајну разлику на скали сагласности у погледу појединих исказа између студената природно-математичких и техничко-технолошких наука (Табела 25). Разлике су идентификоване код исказа који се односи на деградацију визуелних карактеристика природних и културних предела ($U = 830,5$, $z = -2,329$, $p = 0,020$, $r = -0,24$), као и код исказа који се односи на ризик од избијања пожара ($U = 842$, $z = -2,264$, $p = 0,024$, $r = -0,23$). Поредице процентуално учешће добијених одговора

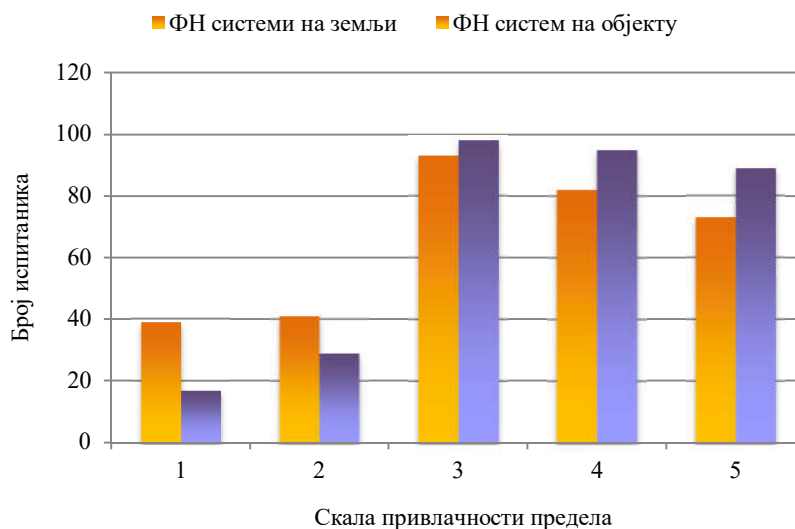
може се закључити да се студенти природно-математичких наука у већој мери слажу у погледу ових исказа за разлику од студената техничко-технолошких наука (Табела 26).

Табела 26. Апсолутно и процентуално учешће студената природно-математичких и техничко-технолошких наука на скали слагања у погледу појединих исказа о утицајима фотонапонских електрана на животну средину.

Искази	Скала слагања	Групација факултета					
		Природно-математичке науке			Техничко-технолошке науке		
		<i>n</i>	% у одг.	% у групи	<i>n</i>	% у одг.	% у групи
Деградација визуелних карактеристика	Уопште се не слажем	5	26.3	13.2	14	73.7	23.3
	Не слажем се	7	29.2	18.4	17	70.8	28.3
	Немам мишљење	12	38.7	31.6	19	61.3	31.7
	Слажем се	11	57.9	28.9	8	42.1	13.3
	Потпуно се слажем	3	60.0	7.9	2	40.0	3.3
Ризик од избијања пожара	Уопште се не слажем	3	21.4	7.9	11	78.6	18.3
	Не слажем се	8	28.6	21.1	20	71.4	33.3
	Немам мишљење	16	44.4	42.1	20	55.6	33.3
	Слажем се	9	64.3	23.7	5	35.7	8.3
	Потпуно се слажем	2	33.3	5.3	4	66.7	6.7

Напомена. *n* = број испитаника (студената).

Оцена визуелног квалитета предела са фотографија показала је да су испитаници склонији да дају веће оцене на скали привлачности (Слика 69), те да, у визуелном смислу, овакви системи обогаћују простор чинећи га атрактивнијим за посматрача. Скала је дефинисана тако да већа оцена значи већи визуелни квалитет предела за испитаника при чему су крајње вредности 1 (непривлачан предео) и 5 (привлачан предео).



Слика 69. Учешће одговора о привлачности предела са фотонапонским (ФН) системима изражена у апсолутним вредностима.

Вилкоксонев тест ранга је коришћен како би се квантификовале разлике на скали привлачности између предела, који су приказани на фотографијама. На једној фотографији је приказан предео у којем је изграђен фотонапонски систем на земљи, а на другој предео у којем се фотонапонски систем налази на објектима.

Пре него што су подаци подвргнути Вилкоксеновом тесту ранга израчунат је Кронбахов коефицијент алфа, који износи 0,665. Добијена вредност за Кронбахов коефицијент алфа је нешто мања од идеалне ($> 0,7$). Међутим, Pallant (2011) истиче да су вредности Кронбаховог коефицијента веома осетљиве на број ставки у скали, тако да је за скале мање од 10 ставки прихватљива вредност Кронбаховог коефицијента алфа $> 0,5$. У

конкретном случају, скала привлачности предела је поуздана. Средња вредност корелације између ставки износи 0,502.

Вилкоксонов тест ранга показао је статистички значајно повећање у оцењивању привлачности предела са фотонапонским системима на објектима, у односу на предео са фотонапонским системима на земљи, $z = -4,267$, $p = 0,000$, $r = 0,17$. Медијана оцена (резултата), на скали привлачности, је порасла у поређењу са првом фотографијом са вредности три на вредност четири код друге фотографије.

Мен-Витнијев U тест није открио значајну разлику у оцењивању привлачности предела са фотографија између квалификованих и неквалификованих испитаника. Такође, не постоје разлике у оцењивању привлачности предела између мушкараца и жена (Табела 27).

Табела 27. Резултати Мен-Витнијевог U теста за откривање разлика независних узорака у погледу оцењивања предела са фотонапонским системима

	Варијабила	Фотографија предела са ФН система на земљи	Фотографија предела са ФН система на објекту
Mann-Whitney U	Квалификација	11535,500	11216,500
	Пол	12572,500	13249,000
	Група наука	1613,500	1743,000
z	Квалификација	-0,067	-0,483
	Пол	-0,929	-0,117
	Група наука	-2,019	-1,055
p	Квалификација	0,947	0,629
	Пол	0,353	0,907
	Група наука	0,044*	0,292

Напомена. * $p < 0,05$.

Мен-Витнијев U тест је показао значајне разлике у оцењивању квалитета предела са фотонапонском електраном на земљи између студената природно-математичких наука и техничко-технолошких-наука (Табела 27), $U = 1613,500$, $z = -2,019$, $p = 0,044$, $r = 0,20$ (мала величина утицаја).

Табела 28. Учесталост и процентуално учешће одговора на скали квалитета предела са фотонапонским електранама на земљи

Оцена на скали квалитета предела	Студенти према групи наука којој припада њихов факултет			
	Природно-математичким		Техничко-технолошким	
	n	% студената у групи	n	% студената у групи
1 = Непривлачан	4	10.5%	0	0.0%
2	5	13.2%	8	13.3%
3	14	36.8%	16	26.7%
4	8	21.1%	19	31.7%
5 = Привлачан	7	18.4%	17	28.3%

Напомена. n = број испитаника (студената).

Табела 28 показује да су студенти природно-математичких наука ригорознији у погледу оцењивања квалитета предела, од студената техничко-технолошких наука. Разлог за такву дистрибуцију оцена на скали квалитета предела је тај што студенти природно-математичких наука имају више знања о физичко-географским процесима и појавама у простору, па је самим тим вредност медијане за ову групу студената ($Md = 3$) нижа од медијане студентата техничко-технолошких наука ($Md = 4$).

Табела 29. Резултати Крускал-Волисовог теста на скали квалитета предела за четири различите старосне групе.

	Фотографија предела са ФН системом на земљи	Фотографија предела са ФН системом на објекту
Kruskal-Wallis H	5,904	7,534
<i>df</i>	3	3
<i>p</i>	0,116	0,057

Крускал-Волисов тест није открио статистички значајну разлику на скали квалитета предела између различитих старосних група (Табела 29). Мали број испитаника у групи младог (0–19 година) и старог становништва (65 и више), утицало је да се испитају разлике применом Мен-Витнијевог U теста за две најзаступљеније старосне групе: млађе средовечне (20–29 година) и средовечне (30–65 година).

Табела 30. Резултати Крускал-Волисовог теста на скали квалитета предела за старосне групе 20–29 година и 30–65 година.

	Фотографија предела са ФН системима на земљи	Фотографија предела са ФН системима на објектима
Mann-Whitney U	10351,000	10122,000
Wilcoxon W	27556,000	27327,000
<i>z</i>	–2,375	–2,694
<i>p</i>	0,018*	0,007**

Напомена. * $p < 0,05$. ** $p < 0,01$.

За фотографију предела са фотонапонским системима на земљи Мен-Витнијев U тест је показао статистички значајну разлику у одговорима на скали квалитета предела између старосне групе 20–29 година ($Md = 4$, $n = 132$) и 30–65 година ($Md = 3$, $n = 185$), $U = 10351$, $z = -2,375$, $p = 0,018$, $r = 0,133$ (мали утицај). У случају фотографије на којој је приказан предео са фотонапонским системима на објектима, такође је утврђена статистички значајна разлика у одговорима на скали квалитета предела између старосне групе 20–29 година ($Md = 4$, $n = 132$) и 30–65 година ($Md = 3$, $n = 185$), $U = 27556$, $z = -2,694$, $p = 0,007$, $r = 0,151$ (мали утицај) (Табела 30). Резултати показују да су испитаници старости од 20 до 29 година склонији да дају већу оцену за квалитет предела, него они старости од 30 до 65 година (Прилог Б, Табела Б9).

5. ДИСКУСИЈА

Вредновање простора на примеру две јединице локалне самоуправе, тј. студије случаја за Град Врање и општину Кладово, показало је да се на основу расположивих геопросторних податка, уз примену ГИС-а и методе вишекритеријумске анализе, могу одредити најповољније локације за изградњу фотонапонских електрана на земљи. На основу индекса просторне повољности одабране су потенцијалне парцеле за изградњу фотонапонских електрана, за које је извршена процена производња електричне енергије. Предложен модел омогућава прецизније утврђивање просторног потенцијала за коришћење соларне енергије, јер се као крајњи резултат добија технички искористив потенцијал, тј. она количина електричне енергије коју би фотонапонска електрана могла да произведе узимајући у обзир техничка и просторна ограничења за конверзију расположивог сунчевог зрачења.

У првобитним задацима истраживања није било предвиђено моделовање параметара сунчевог зрачења. Међутим, незадовољавајућа просторна и временска резолуција постојећих растерских слојева, указала је на потребу да се применом софистицираних алгоритама (модела), који су имплементирани у ГИС софтверу, изврши картирање просторне расподеле сунчевог зрачења на истраживаним територијама. Компарацијом добијених резултата са постојећим референтним базама података о сунчевом зрачењу утврђена су мала одступања.

Фотонапонске електране на земљи захтевају огромне површине, што неретко доводи до узурпације пољопривредног земљишта, деградације заштићених природних и културних добара, ограничавања појединих активности у простору, као и других просторних конфликта. Утврђени критеријуми за елиминацију имају задатак да отклоне или ублаже просторне конфликте, док су критеријуми за вредновање развијени са намером да се постигне максимална производња електричне енергије уз минимална улагања.

Истраживање перцепција и ставова одређених друштвених група о обновљивим изворима енергије, са нагласком на системе за конверзију сунчеве у електричну енергију, пружило је довољно информација да би се формирао општи закључак о друштвеној прихватљивости ових система у простору. Обрада добијених података и резултати статистичких тестова омогућили су квантификацију и верификацију постављених хипотеза.

5.1. Просторна повољност за изградњу фотонапонских електрана

Фотонапонске електране, неминовно захтевају огромне површине за инсталацију, па се кроз просторне и урбанистичке планове мора обезбедити да развој ових система не буде у конфликту са другом наменом простора. Заузимање обрадивог земљишта које се користи за гајење прехрамбених култура или насељених и заштићених површина за потребе изградње соларних електрана може да доведе до нежељених трошкова и негативног утицаја на животну средину. Увидом у важеће просторне планове могуће је утврдити ограничења за локацију од интереса. Препоруке су да се фотонапонске електране граде на земљишту лошијег квалитета или браунфилд локацијама које обично имају неопходну инфраструктуру и потрошаче у свом непосредном окружењу. Иако, опрема (панели и инвертори) чини између 30% и 50% укупних трошкова (IRENA, 2018), приликом развоја фотонапонске електране, неопходно је рамотрити и остале трошкове, попут прибављања неопходних дозвола, закупа земљишта, израде студија и планске документације, монтаже носеће конструкције, постављања и повезивања компоненти, прикључења на електромеру, итд. У 2018. години просечна нивелисана цена електричне енергије (енг. *levelized cost of electricity*)² из фотонапонских електрана на глобалном нивоу, износила је 0,085 USD/kWh, што је 77% мање у односу на 2010. годину (IRENA, 2019b). Тако је енергија из фотонапонских електрана, која је дуго времена важила за најскупљу енергију из обновљивих извора, постала конкурентна енергији добијене из ветроелектрана на копну и

² Levelized cost of electricity (LCOE) односи се на просечан профит по јединици произведене електричне енергије који је потребан остварити како би се надокнадили трошкови изградње и рада производног постројења током радног века електране (U.S. Energy Information Administration, 2019).

електрана које користе фосилна горива. Трошкови инсталације фотонапонске електране на земљи, у Немачкој, крећу се у распону од 600 €/kW до 800 €/kW (Kost, Shammugam, Jülch, Nguyen, & Schlegl, 2018). Побољшање ефикасности панела, утицаће на смањење укупних трошкова за изградњу фотонапонске електране, јер ће за исти капацитет у будуће бити потребно мање површине за инсталацију, мање панела, мање носеће конструкције, мање материјала за транспорт, као и мање посла око монтаже и повезивања компоненти. Одређивање оптималних локација за изградњу фотонапонских електрана, које узима у обзир како критеријуме за вредновање простора, тако и критеријума за елиминацију, може допринети бољој конкурентности соларне енергије, у односу на енергију фосилних горива, уз минималан утицај на животну средину.

Rediske et al. (2018) направили су преглед 27 студија које се баве проналажењем оптималних локација за развој соларне електране како би утврдили који се фактори најчешће користе у ту сврху. Исти аутори су идентификовали 28 фактора, од којих је сунчево зрачење заступљено у 93% студија, затим следи удаљеност од електромереже (74%), нагиб терена (74%), удаљеност од путева (59%), удаљеност од урбаних површина (59%), и коришћење земљишта (56%). Al Garni, H. Z., & Awasthi, A. (2018) су, у својој анализи заступљености фактора, укључили 54 студије, групишући све факторе (субкритеријуме) у две групе: „критеријуми за одлучивање” и „рестриктивни фактори”. Редослед заступљености фактора који се користе за доношење одлуке о повољности неке локације за изградњу фотонапонске електране је сличан као и код Rediske et al. (2018), с тим што се међу првих шест фактора налази просечна температура ваздуха, уместо удаљености локације од урбаних површина. Најчешће примењени рестриктивни фактори односе се на заштићене површине, обрадиво земљиште, пределе уз водене токове, веома стрме падине, заштићене зоне око путне мреже и урбаних површина.

Поузданост модела за процену повољности простора за изградњу фотонапонских електрана зависи од квалитета улазних података и њихове доступности, као и од објективности евалуатора при избору фактора и одређивању њиховог значаја при избору оптималних локација. Улазни подаци који су неопходни за модел одређивања повољности простора за изградњу фотонапонских електрана, одабрани су на основу претходних истраживања и под условом да су јавно доступни. Готово сви подаци су доступни путем интернета (online database), осим податка о педолошком саставу који су доступни на упит. Подаци о положају путева, електроенергетске инфраструктуре, водотока и водених површина, који су од значаја за критеријум локације, нису били одговарајућег нивоа детаљности и/или одговарајућег формата, што је захтевало да се расположиве подлоге геореференцирају и дигитализују. OpenStreerMap (n.d.) подаци о путној мрежи, у векторском формату, доступни су за преузимање, али је због непотпуне (неравномерне) покривености територије, одлучено да се на основу визуелне интерпретације сателитских снимака изврши дигитализација путне мреже. Исто важи и за хидрографску мрежу, где су „EU-Hydro River Network” подаци (ЕЕА, 2016b) били незадовољавајућег нивоа детаљности, због чега је речна мрежа дигитализована на основу топографских карта. Подаци о положају дистрибутивне електроенергетске мреже, тј. мреже средњег напона (водови 10–35 kV и трансформаторске станице 110/x, 35/x, 20/0,4, 10/0,4) у Србији нису доступни јавности (Д. Николић, директор Дирекције за управљање ДЕЕС, лична преписка, 15. мај 2018.), због чега су у моделу коришћени подаци приказани на рефералним картама, које су саставни део просторних планова јединице локалне самоуправе. Мрежа високог (110 kV и 220 kV) и врло високог напона (400 kV) доступна је преко више извора: Електроенергетски објекти напона 110, 220 и 400 kV (Elektroistok–Projektni biro, 2017), топографске карте (1:25.000) и рефералне карте из просторних планова (1:50.000).

Сунчево зрачење на одређеној локацији је важан фактор за производњу енергије у фотонапонским електранама и најчешће се разматра у студијама које се баве избором оптималних локација за развој соларних електрана. С обзиром на то да је мрежа станица на којима се мери сунчево зрачење у Србији ретка, као и да су временске серије дисконтинуарне,

првобитно је планирано да се у моделу користе готови растерски подаци о сунчевом зрачењу, који су добијени на основу сателитских мерења. Анализом расположивих база утврђено је да не постоје подаци који својом просторном и временском резолуцијом одговарају предложеном моделу. Скупови података у оквиру PVGIS базе, имају неопходну временску резолуцију растерских података, али је просторна резолуција сувише груба ($0,25^\circ \times 0,25^\circ$) за потребе планирања на овом нивоу. Средње месечне вредности соларног зрачења за период 2005–2016. године, просторне резолуције $0,2^\circ \times 0,2^\circ$, садржани су у оквиру „AGATE” базе података. Бољу резолуцију растера ($\sim 1 \text{ km}^2$), насталих на основу Solargis базе података, нуди Global Solar Atlas (World Bank Group, 2016), али су вредности глобалног зрачења на хоризонталну површину доступне само на нивоу годишњег просека (1994–2015. године). Luković et al. (2015) су, уз помоћ дигиталног модела терена и SAGA GIS програмског пакета, моделовали растерске мапе соларног зрачења, високе просторне резолуције ($90 \text{ m} \times 90 \text{ m}$), које су доступне за преузимање преко URL адресе: <http://osgl.grf.bg.ac.rs/en/materials/insolation/>. Међутим, ни ова база није задовољавала адекватну просторно-временску резолуцију, па је накнадно одлучено да се изврши моделовање сунчевог зрачења на истраживаним територијама.

За разлику од инструменталних мерења на приземним станицама, моделоване вредности сунчевог зрачења одликују се одређеном дозом непоузданости, која произилази из сложеног односа фактора непоходних за прорачуне сунчевог зрачења путем софистицираних нумеричких метода. Bohner & Antonić (2009) истичу да просторна варијабилност ирадијације зависи од три фактора: (1) оријентације Земље у односу на Сунце, (2) облака и других атмосферских нехомогености и (3) топографије.

Дигитални модел висина (EU-DEM) и, на основу њега изведени, подаци (нагиб, експозиција, Sky View Factor, сенке и географске координате) спадају у прву и трећу групу фактора који утичу на просторну расподелу сунчевог зрачења (Luković et al., 2015). Утицај треће групе фактора, у моделу за процену сунчевог зрачења, може се објаснити уз помоћ индекса ведрине, тј. коефицијента прозирности атмосфере. Вредности овог индекса су веће при чистом и ведром небу, док у условима повећане облачности његове вредности опадају. Дебљина и састав атмосфере утичу на радијациони биланс Земље. Услед пораста надморске висине број молекула и честица у атмосфери опада, па су вредности глобалног сунчевог зрачења веће него на нижим теренима (Piazena, 1996; Noorollahi et al., 2016). Добијени резултати показују да вредности ирадијације опадају одступањем од јужне оријентације терена, као и да се са порастом надморске висине повећава ирадијација.

Подаци о температури ваздуха у растерском облику доступни су за преузимање из неколико база података, нпр. E-OBS v20.0e (ECA&D, 2019; Cornes, van der Schrier, van den Besselaar, & Jones, 2018), ERA5 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts [ECMWF], 2019), WorldClim 2 (Fick & Hijmans, 2017), итд. Међутим, просторна резолуција претходно поменутих база података, утицала је на одлуку да се за потребе дисертације изврши моделовање температуре ваздуха на основу расположивих података са 62 метеоролошке станице у Србији (РХМЗ, 1961–2010), методом регресионог кригинга. Резултати средње годишње температуре ваздуха, за период 1961–2010, добијени методом регресионог кригинга, крећу се у распону од $0,9 \text{ }^\circ\text{C}$ до $12,4 \text{ }^\circ\text{C}$ за територију Србије (Прилог А, Слика А1). Сличне резултате и просторну дистрибуцију, за исти период, добили су Вајат, Благојевић, Килибарда, Luković, & Тошић (2015) и Миловановић и др. (2017).

Приликом избора најповољније локације за изградњу фотонапонске електране мора се уважити продуктивна способност земљишта за пољопривредну и шумску производњу. С обзиром на то да карте бонитета земљишта нису биле доступне, а да база података “еКатастар” (РГЗ, 2019) нема могућност масовног скидања податка на нивоу парцела, одлучено је да се користе педолошке карте које је урадио Институт за земљиште у Београду. Производно-еколошка вредност сваког типа земљишта изражена је квантитативно, на скали од 0 до 1, тако да мање продуктивно земљиште има већи потенцијал за изградњу соларне електране, односно вредност ближу јединици, и обрнуто.

Ограничења модела произилазе из недостатка адекватних просторних информација које су битне за планирање будућег распореда фотонапонских електрана. Ту се у првом реду мисли на недостатак дигиталног модела површи (енг. Digital Surface Model) који би омогућио процену потенцијала кровних површина за инсталацију фотонапонских електрана. Модерне методе за даљинску детекцију, као што је LiDAR (Light Detection and Ranging), користе се за прикупљање тродимензионалних података о просторним ентитетима било да су они природни (површ терена, вегетација) или вештачки (објекти). Комбинацијом података прикупљених помоћу LiDAR, аерофотограметрије, глобалног навигационог сателитског система и инерцијалног мерног уређаја, омогућава добијање дигиталног модела површи, високог квалитета (MapSoft, n.d.). Унапређење предложеног модела зависи од доступности дигиталног катастарског плана и података које он садржи: границе парцела, њихове површине и облике својине, као и врсте, начина коришћења и бонитета земљишта. Држава Србија преко ресорног Министарства управља и располаже земљиштем у државној својини, што омогућава ефикаснију имплементацију просторних планова, односно активирање предложених локација за изградњу фотонапонских електрана. Поред тога, одрживо управљање земљиштем подразумева и смањење његове потрошње, кроз санацију и поновно коришћење деградираног земљишта. Модел за одређивање повољности простора за смештај фотонапонских електрана мора приоритетно да размотри могућност искоришћавања деградираног земљишта. Закон о заштити земљишта („Службени гласник”, бр. 112/2015) третира деградацију земљишта као „процес нарушавања квалитета и функција земљишта који настаје природним путем или људском активношћу или је последица непредузимања мера за спречавање штетних последица”. У том смислу, деградиране површине које је потребно размотрити за изградњу фотонапонских електрана обухватају тзв. „браунфилд” локације, депоније, површинске копове, и друге контаминирани површине. База инвестиционих локација (Razvoјna агенција Србије, n.d.) садржи податке о браунфилд локацијама, које нису георефернциране и дигитализоване, па је њихово коришћење ограничено и захтева додатну припрему и проверу да би се могли користити у моделу. Агенција за заштиту животне средине (n.d.) пружа неопходне податке о локацијама депонија јавно-комуналних предузећа, као и старих и дивљих депонија, у виду Keyhole Markup Language (KML) слоја. Мапа потенцијално контаминираних локација (Агенција за заштиту животне средине, 2018), настала у оквиру пројекта „Унапређење међусекторског управљања земљиштем кроз смањење притисака на земљиште и планирање коришћења земљишта”, није доступна у облику који би се могао користити у моделу. Војне непокретности одређене за отуђење могу бити предмет разматрања потенцијалних локација за изградњу фотонапонских електрана. У том смислу, „Листа продаје непокретности на располагању у МО и ВС” (Министарство одбране Републике Србије, n.d.) представља један од извора неопходних података, који обично садржи координате непокретности, ређе и ситуациони план, па су потребне додатне припреме како би се подаци превели у користан облик.

У оквиру „Агенде одрживог развоја 2030”, Уједињене нације дефинисале су циљеве одрживог развоја и индикаторе за праћење напретка сваког од тих циљева. За потребе индикатора, који показује удео деградираног земљишта (SDG Indicator 15.3.1), направљен је растерски слој, комбинујући податке о продуктивности вегетације, земљишном покривачу, органском угљенику у земљишту (Conservation International, 2018). Постојање оваквих извора пружа могућности за имплементацију овог типа података кроз даља истраживања повољности простора за изградњу соларних електрана.

У Србији није уобичајено да се, у просторним плановима, дефинишу потенцијалне локације за изградњу соларних електрана. Ипак у Просторном плану Града Враћа (ЈП Завод за урбанизам Враће, 2011б) је одређено 18 потенцијалних локација (парцела), укупне површине 4.267.460 m² (РГЗ, 2019), на којима је могућа изградња соларних електрана. На основу модела за процену производње електричне енергије (описаног у поглављу 3.6), утврђено је да би се активирањем локација које су одређене у просторном плану остварила годишња производња електричне енергије у износу од ~229,3 GWh. То је око 17 пута више

примарне енергије, од оне које су током 2017. године произвеле фотонапонске електране у Србији (13,139 GWh) (РЗС, 2019). Међутим највећи број ових локација елиминисан је због густог шумског покривача, што је нарочито карактеристично за локације у атару насеља Крива Феја. Заштићене површине су још један разлог за елиминацију појединих локација из просторног плана. Парцела бр. 757/1, која се одликује надпросечним индексом просторне повољности ($\bar{I} = 0,47$), елиминисана је управо због тога што је простор планине Кукавица заштићен као подручје од значаја за дневне лептире (РВА). Делови парцеле бр. 4633 и 10062 у насељу Крива Феја на крајњем истоку, елиминисани су због тога што се простиру у оквиру подручја од међународног значаја за птице (ИВА). Постоје извесна поклапања валоризованих површина и потенцијалних локација из просторног плана (Табела 16). Више од 50% површине парцеле бр. 360, у атару насеља Бабина Пољана и парцеле бр. 75 у атару насеља Дубница, припадају категорији повољних површина за развој фотонапонских електрана. Парцела бр. 77 у атару насеља Дубница је, такође, добрим делом обухваћена повољним површинама за изградњу фотонапонске електране. Активирањем ове три локације, могуће је остварити производњу од ~22,1 GWh електричне енергије. Будући да се ради о државном земљишту, које према плодности припада четвртој, петој и седмој бонитетној класи, приоритет за изградњу фотонапонских електрана би требало дати овим локацијама.

У просторном плану општине Кладово (ЦЕП, 2012б) препознат је потенцијал за коришћене сунчеве енергије у тзв. „Дунавском развојном појасу”, али је више пажње посвећено коришћењу енергије ветра и хидроенерије изградњом малих хидроелектрана. Планом је одређена потенцијална зона за смештај ветроелектрана, као и локација за малу хидроелектрану (МХЕ „Велика Каменица” на Каменичкој реци), са дефинисаним правилима за изградњу ових објеката. Међутим, општина Кладово је једна од првих општина у Србији на чијој територији је изграђена фотонапонска електрана капацитета 2 MW. За потребе овог пројекта извршена је промена намене земљишта из пољопривредног у грађевинско и урађен је план детаљне регулације. На основу плана приступило се реконструкцији постојећег далековода Неготин-Кладово (35 kV), који је претходно прелазио преко планиране соларне електране. Нови стубови постављени су на другим парцелама, док је кабл између стубова укопан је у ров дубине 1,1 m, на удаљености 0,3 m од границе новоформираних парцела за соларну електрану (ARCHIMEDIA, 2012). Прикључење соларне електране на електроенергетску мрежу остварено је преко новоизграђене трансформаторске станице, капацитета 35/x kV. Планом детаљне регулације дефинисана су правила уређење и грађење, план парцелације, опште и посебне мере заштите, као и други елементи који су од значаја за спровођење плана.

Локација на којој се налази фотонапонска електрана „Соларис” елиминисана је из поступка вредновања, будући да не припада травнатим површинама. Фотонапонски парк би требало да буде картиран као изграђена површина, али је прегледом IMD слоја установљено да он није регистрован, што упућује на несавршеност улазних података.

На простору фотонапонских електрана „Соларис 1” и „Соларис 2”, претходно се налазило обрадиво пољопривредно земљиште (углавном виногради и њиве) треће и пете класе, које према члану 22, Закона о пољопривредном земљишту („Службени гласник”, бр. 62/2006, 65/2008-др. закон, 41/2009, 112/2015, 80/2017, 95/2018-др. закон) не би требало користити у непољопривредне сврхе. Према плану детаљне регулације (ARCHIMEDIA, 2012) на овом простору најзаступљенији типови земљишта су: лувисол, псеудоглеј и мочварно глејно земљиште. Miljković (1996) указује на не тако повољне еколошко-производне вредности ових типова земљишта, будући да су непоходне мелиоративне мере које би омогућиле интензивнију пољопривредну производњу. Специфична модификација псеудоглеја за узгој плантажног винограда, битно је изменила физиографију и педодинамику на овом локалитету, па се сада јавља специфично антропогено земљиште (ARCHIMEDIA, 2012).

Узимајући у обзир сигурност хране (енг. food security), која према дефиницији „постоји када сви људи, у сваком тренутку имају физички, друштвени и економски приступ довољној количини, безбедној и квалитетној храни која задовољава њихове прехранбене

потребе и преференције за активан и здрав живот” (Food and Agriculture Organization, International Fund For Agricultural Development, UNICEF, World Food Programme, & World Health Organization, 2018, p. 159) одлучено је да обрадиве површине не буду обухваћене предложеним моделом за вредновање простора. Резултати модела су показали да се веома повољне повољне површине за изградњу фотонапонских електрана налазе изван тзв. „Дунавског развојног појаса”, односно да су присутне искључиво у брдско-планинском делу општине. Са једне стране, оваква расподела потенцијалних локација за фотонапонске електране умањује несигурност обезбеђивања хране, док са друге стране може утицати на карактер предела Горњег Кључа, који је планом одређен као зона истраживања историјских, вернакултурних и етнографских предела. Такође, знатан део овог простора подложен је појави клизишта, што иницира разматрање могућности да се овај фактор укључи у неку од даљих анализа повољности простора за изградњу фотонапонске електране. Регистар клизишта, настао као резултат BEWARE (BEyond landslide aWAREness) пројекта, садржи јавно доступне податке за неколико општина у Србији, укључујући и општину Кладово (Beware, 2015).

5.2. Ниво информисаности и свест о обновљивим изворима енергије

Свест људи о значају коришћења обновљивих извора енергије је у великој мери формирана на основу чињенице да су последице загађивања животне средине, настале као последица коришћења фосилних горива, видљиве у сваком тренутку, као и да нема заједичке одговорност за њену деградацију. Последице климатских промена су још увек несагледиве за стручњаке и ширу јавност, због чега, они мање доводе у везу климатске промене са ширењем употребе обновљивих извора енергије. Повећање учесталости природних непогода (земљотреси, цунамији, вулканске активности, екстремне температуре, суше, шумски прожари, поплаве, тропски циклони и олује) не указује на тако директан начин да је исцрпљивање необновљивих извора енергије, довело до ових проблема, као што је то евидентно код деградације животне средине на локалном нивоу. Ту се, пре свега, мисли на загађење ваздуха (емисијом CO, SO₂, NO_x, аеросоли), буку, физичко разарање земљишта, измештање водотокова, расељавање читавих насеља, загађивање површинских и подземних вода, и др. Коришћење обновљивих извора енергије не доприноси само очувању климатског система и животне средине, већ и развоју локалне економије, кроз отварање нових радних места, изградњу инфраструктуре, унапређење туристичке понуде, повећању прихода од пореза и давања земљишта у закуп. Данас, у свету, око 11 милиона људи ради у сектору обновљивих извора енергије, од чега једна трећина обавља послове који су у директној или индиректној вези са фотонапонским системима (IRENA, 2019c). У Европској Унији од 1,45 милиона запослених у области обновљивих извора енергије, око 6% припада фотонапонским делатностима (EurObserv'ER, 2019). Квалификовани испитаници (стручњаци) боље познају предности коришћења обновљиви извори енергије, због чега су њихови одговори нешто другачији од неквалификованих испитаника у погледу утицаја регулативе и нових радних места на развој обновљивих извора енергије.

Један од основних циљева анкетног истраживања односи се на утврђивање нивоа информисаности стручњака и јавности у вези коришћења обновљивих извора енергије. У том смислу, хипотеза да су стручњаци и јавност у Србији лоше информисани о начину рада и тенденцијама развоја обновљивих извора енергије је оповргнута, уз образложење да је свега 5,5% испитаника одговорило да је лоше информисано. Претходно постављена хипотеза заснована је на тврдњи Pucar & Nenковић-Riznić (2011) да су стручњаци и јавност недовољно информисани о предностима коришћења обновљивих извора енергије. Други аутори (Тomić & Labović, 2012; Brojević & Milešević, 2016) такође, истичу проблем недовољне информисаности јавности о обновљивим изворима енергије.

Анализирајући како поједини извори утичу на информисаност грађана о обновљивим изворима енергије, важно је поменути значај интернета у ширењу информација и подизању

свести о обновљивим изворима енергије. Време, у којем се брзина пласирања информација узима као најважније мерило квалитета, потискује улогу традиционалних медија—новина, часописа, телевизијског и радијског програма, што доводи у питање поузданост информација које долазе до грађана. Иако је интернет брз, мобилан и мање конзервативан, такође је и мање поуздан извор информација. Резултати су показали да образовне установе, књиге и енциклопедије представљају значајан извор информација о обновљивим изворима енергије, нарочито за квалификоване испитанике. Чињеница да студенти виде образовне институције као најважнији извор информација, упућује на закључак да су студијски програми модернизовани и прилагођени савременим тенденцијама развоја обновљивих извора енергије. Конгреси, конференције, семинари и обуке, у области обновљивих извора енергије су важан извор информација за квалификоване испитанике. Забрињавајући податак је тај што испитаници виде мали утицај невладиних организација и удружења грађана у подизању свести јавности о обновљивим изворима енергије. Од укупно 503 еколошке организације, 36% њих се бави обновљивом енергијом, између осталих еколошких тема (Regionalni centar za životnu sredinu za Centralnu i Istočnu Evropu [REC], 2015). Овај податак треба узети са резервом, јер је готово немогуће одредити тачан број организација које се баве овом проблематиком. Многе организације у Србији баве се разним проблемима у друштву, па је животна средина само једна од области њиховог деловања. С друге стране, свакодневно се оснивају нове организације, док се поједине гасе. Проблеми везани за финансирање главних активности, недостатака опреме, простора и људи, само су неки од разлога неактивности или гашења невладиних организација. Највећи број организација фокусира своје активности на локалном нивоу, приближавајући тако проблеме и могућности за њихово решавање корисницима простора.

У Стратегији развоја енергетике Републике Србије (101/2015), један од стратешких праваца деловања у домену обновљивих извора енергије односи се на информисање и едукацију јавности. Важно је створити свест у друштву о драгоцености енергије и њеној рационалној употреби. Pavlovic et al. (2013) су закључили да недовољно развијена свест о могућностима производње енергије помоћу фотонапонских система, може органичити или одложити њихово коришћење у Србији. Резултати анкетног истраживања показали су да је већи проценат испитаника (58%) чуо за фотонапонске системе. Квалификовани испитаници су у том погледу бројнији од неквалификованих. Такође, ниво информисаности о начину рада и тенденцијама развоја фотонапонских система је на завидном нивоу, с обзиром да је највећи проценат испитаника (32,9%) оценио своју информисаност, на скали од 1 (лоше) до 5 (добро), са 3.

5.3. Потенцијал обновљивих извора енергије у Србији

Србија има добар потенцијал за производњу енергије из обновљивих извора, чега су свесни и испитаници у спроведеном анкетном истраживању. Према резултатима обрађеног узорка отпад у Србији има највећи потенцијал за производњу „зелене” енергије. Према Стратегији развоја енергетике (101/2015) потенцијал биоразградивог отпада износи 0,496 Мтое годишње, од чега комунални биоразградиви отпад чини 40%. Svetković, Radoičić, Vukadinović, & Kijevčanin (2014) израчунали су да се из чврстог комуналног отпада може добити 95,6 милиона m^3 биогаза (0,04972 Мтое), уз констатацију да би увођење система регионалних депонија омогућило боље прикупљање и управљање отпадом, нарочито у руралним срединама, а тиме и већи потенцијал за производњу биогаза. Седам регионалних депонија у Србији на којим годишња продукција отпада прелази 100.000 m^3 , тј. на којима је исплатљиво хватање метана, могле би да произведу око 0,0579 Мтое депонијског гаса (Марковић & Лазовић, 2017). Такође, испитаници виде довољно потенцијала за коришћење соларне енергије и енергије биомасе. Имајући у виду да већина испитаника који су видели постројење за производњу биогаза и биогорива припадају категорији квалификованих за рад у области обновљивих извора енергије (82%), претпоставља се да они имају више знања о

могућностима за експлоатацију енергије из биомасе, те да су зато боље оценили њен потенцијал него неквалификовани испитаници. За разлику од енергије из биомасе, квалификовани и неквалификовани испитаници, слажу се да Србија има „довољно” потенцијала за коришћење соларне енергије. Један од разлога је, свакако, тај што су системи за експлоатацију сунчевог зрачења све присутнији у свакодневном животу људу (од пасивних система за грејање просторија, преко соларних колектора за припрему топле воде или сушење различитих пољопривредних и индустријских производа, па све до фотонапонских панела преко којих се напаја улична раствета, јавни мобилни пуњачи на трговима, пумпе за воду на пољопривредним површинама, итд). Две трећине испитаника имало је прилику да види неке од система за експлоатацију обновљивих извора енергије у Србији, при чему је 80% њих видело соларне системе. Квалификовани испитаници су видели више различитих система, према врсти обновљивих извора енергије коју користе (сунце, ветар, снага воденог тока, биомаса, геотермална), од неквалификованих. McNaughton (2009) сматра да би човечанство могло да обезбеди целокупну потражњу за електричном енергијом, и више, користећи соларну технологију којом тренутно располаже. Испитаници се не слажу са овом тврдњом или нису сигурни у потенцијал којим тренутно располаже соларна технологија. У Просторном плану Републике Србије (Министарство животне средине, рударства и просторног планирања & РАПП, 2011) наводи се да потенцијал обновљивих извора енергије у Србији није довољан да би се у потпуности задовољиле садашње потребе за енергијом.

Домаћинства у Србији представљају највеће потрошаче енергије (33%), док неенергетске индустријске делатности (27%) и саобраћај (26%) остварују значајан удео у финалној потрошњи за енергетске сврхе. Важно је напоменути да се свега 9% енергије расположиве за финалну потрошњу користи за неенергетске сврхе, углавном за потребе хемијске индустрије (76%). Према врсти енергената, домаћинства су највише зависна од електричне енергије (41%) и дрвних горива (28%), због чега домаћинства имају навећи потенцијал за коришћење соларне енергије (РЗС, 2019). Са овим ставом слаже се већи део популације (63%) који је учествовао у анкетном истраживању. Узимајући у обзир расположиву површину кровова и ефикасност конверзије фотонапонских система од 15%, процењен технички потенцијал соларне енергије, на годишњем нивоу износи 6.978 GWh (Министарство животне средине, рударства и просторног планирања & РАПП, 2011), што чини 50% укупне потрошње електричне енергије у домаћинствима Србије, током 2017. године (РЗС, 2019). Уколико би све породичне куће у Србији на свом крову имале фотонапонски системи, инсталисане снаге 6 kW, а стамбене и нестамбене зграде системе од 15 kW, укупна годишња произвођа струје износила би око 14 TWh (Doljak & Samardzija, 2016). У Стратегији развоја енергетике (101/2015) технички искористив потенцијал за конверзију сунчевог зрачења у електричну енергију износи 590 GWh годишње, и одређен је на основу постојећих техничких могућности електроенергетског система да преузме струју из соларних електрана укупне инсталисане снаге 450 MW. Под претпоставком да половина објеката у Србији користи соларне термалне колекторе, технички искористив потенцијала сунчевог зрачења за производњу топлотне енергије износи 0,194 Mtoe. Потрошња енергије у саобраћају представља највећи изазов друштва у циљу преласка на обновљиве изворе енергије, јер нафта и деривати нафте обезбеђују готово читаву потрошњу енергије у саобраћају (98%). Енергетска транзиција у саобраћају заснива се на три главна приступа: (1) редукација саобраћајних кретања кроз боље урбанистичко планирање, оптимизацију руте путовања, обављање послова од куће, итд.; (2) усмеравање ка еколошки прихватљивијим видовима саобраћаја (нпр. немоторизована возила, јавни градски превоз, групна важња аутомобилом); (3) употреба ефикаснијих мотора са унутрашњим сагоревањем (са мањом потрошњом горива и емисијом издувних гасова), алтернативних горива (попут течног нафтног гаса, компримованог природног гаса или одређених врста биогорива) и савремених алтернативних возила (хибридна возила, електрична возила, возила која за погон користе водоник). Упркос бројним предностима које потичу од примене електричних возила (нулта

емисија гасова, минимално загађење животне средине, низак ниво буке, мањи трошкови одржавања и погонског горива, итд.), њихова висока цена, мали домет, дуг циклус пуњења литијум-јонских батерија (акумулатора), недостатак јавне и приватне инфраструктуре за пуњење, као и неповољни атмосферски услови за рад соларних ћелија, успоравају замену конвенционалних возила са унутрашњим сагоревањем.

Више од пола испитаника (57,4%) зна да Република Србија издваја одређену своту новца за стимулисање производње електричне енергије из обновљивих извора. Међутим, држава није учинила довољно на промоцији тих маханизма, будући да знатан проценат неквалификованих испитаника (~60%) није упознат са овом врстом подстицаја. Резултати информисаности шире јавности у погледу издвајања новчаних средстава за производњу електричне енергије из обновљивих извора слични су резултатима до којих су дошли Stevanović & Pucar (2012).

Zorić & Hrovatin (2012) су спровели анкетно истраживање, у Словенији, и дошли до закључка, да спремност домаћинстава да издвоје већа новчана средства кроз рачун за „зелену струју”, зависи од висине месечних прихода. Имајући у виду претходну тврдњу, формулисана је истраживачка хипотеза да су потрошачи са већим месечним приходима спремни да уз сваки рачун за струју издвоје већу накнаду за стимулисање обновљивих извора енергије. Резултати добијени на основу посматраног узорка, у Србији, упућују да ову хипотезу треба одбацити, односно да неки други фактори утичу на спремност испитаника да издвоје већу накнаду за стимулисање. С једне стране отворено је питање у којој мери је развијена свест друштва о рационалној употреби енергије, а с друге какво је поверење друштва у погледу транспарентности и услова, под којима се новац, прикупљен за обновљиве изворе енергије, троши.

Резултати до којих су дошли Stevanović & Pucar (2012), указују да су људи спремни да инсталирају соларне системе за грејање воде уколико би држава субвенционисала део укупних трошкова. Иако се ради о различитој технологији, намеће се питање да ли су субвенције за фотонапонске системе бољи вид стимулације од подстицајних откупних цена за произведену електричну енергију из соларних електрана, будући да ови системи траже велика почетна улагања. Фискални подстицаји и јавна улагања (повољни кредити, пореске и царинске олакшице, донације, субвенције и сл.) често се користе паралелно са регулаторним мерама и инструментима, у намери да се побољша приступ капиталу, смање трошкови финансирања, превазиђу ограничења у виду високих почетних трошкова или трошкови извођења великих пројеката.

Програми субвенција су у великој мери обликовали фотонапонско тржиште у Кини, Немачкој и Словенији. Субвенције обично износе од 25% до 50% укупних трошкова и намењене су за мале фотонапонске системе, који су изграђени на објектима или су интегрисани са њима. У Србији се слични јавни позиви појављују спорадично и обично су намењени за суфинансирање пројеката за коришћење соларне енергије за припрему топле санитарне воде у објектима јавне намене, за потребе наводњавања, јавне расвете и сл.

На основу обрађеног узорка може се закључити да стручњаци и јавност у Србији имају изграђену свест о значају паралелне примене наведених механизма за подстицање ширег коришћења обновљивих извора енергије. Подстицајне откупне цене (feed-in tariff) и премије за произведену електричну енергију из обновљивих извора (feed-in premium) представљају најшире прихваћен механизам за подстицање примене обновљивих извора енергије, будући да обезбеђују стабилне приходе произвођачима и повећавају профитабилност пројеката. До 2017. године преко 80 земаља широм света користи ове подстицаје, међу којима је и Србија. Осим подстицајних откупних цена, у свету се користе и други регулаторни механизми за подстицање примене обновљивих извора енергије, као што су: нето размена (енг. Net metering), сертификати за енергију из обновљивих извора (енг. Renewable energy certificate), тендери/аукције, систем обавезног удела обновљивих извора енергије (енг. Renewable portfolio standard), и сл.

5.4. Утицај фотонапонских електрана на животну средину

Koenig et al. (1979) наводе да, иако фотонапонски системи могу имати мањи утицај на животну средину него конвенционални системи за производњу електричне енергије, треба имати у виду да постоје аспекти који још увек нису идентификовани, с обзиром на то да се ради о технологији која је још у фази развоја. Обим и интензитет утицаја на животну средину зависе од типа и величине пројекта, као и од фазе рада на самом пројекту (изградња, рад и одржавање, затварање). Због мањих трошкова инсталације, фотонапонски системи на земљи постају све бројнији и већи, а са тим и брига друштва о утицају ових система на структуру и карактер предела, као и поједине услуге екосистема. Резултати анкетног истраживања на одабраном узорку показују да су испитаници свесни позитивних утицаја фотонапонских електрана на животну средину, па су у већем проценту исказали своје слагање са наведеним тврдњама. Међутим, код негативних утицаја ситуација није тако јасна, односно не може се децидно изнети општи став испитаника. Висок проценат испитаника нема мишљење у погледу негативно формулисаних исказа, што је нарочито изражено код акумулације отпада, ризика од избијања пожара, као и промена микро и мезо климе. Такође, за све негативно формулисане исказе, не постоји тако оштра разлика у одговорима испитаника на једној и другој страни скале, као што је то случај код позитивно формулисаних исказа. Из тога произилази да не постоји довољно сазнања о негативним утицајима фотонапонских електрана на животну средину, или да су та сазнања опречна, што је присутно у научној и стручној литератури. У наставку, су сумирани наводи појединих аутора који су истраживали утицаје фотонапонских електрана на животну средину.

5.4.1. Промене микро и мезоклиме

Испитаници углавном немају формирано мишљење у погледу утицаја фотонапонских електрана на микро- и мезо климу. У научним публикацијама мишљења су подељена. Тако нпр. Таћа (2013) тврди да нема штетних утицаја на температуру ваздуха и формирање урбаних острва топлоте, док Koenig et al. (1979) тврде супротно. Nemet (2009) је открио да би у ситуацији потпуне замене фосилне енергије, енергијом из фотонапонских електрана, смањење „радијационе силе” (енг. radiative forcing) било 30 пута веће у односу на њено повећање услед промене албеда површине на којој су инсталиране фотонапонске електране. Barron-Gafford et al. (2016) су експерименталним истраживањем у три биома, утврдили да је, ноћу ваздух изнад фотонапонске електране 3–4 °C топлији у односу на ваздух изнад некултивисане површине.

Ако се изузму неопредељени, већи број испитаника у узорку се не слаже са променама микро и мезоклиме под утицајем фотонапонских панела.

5.4.2. Промене земљишта и утицај на коришћење земљишта

Мишљења испитаника у погледу промена и губитка површинског слоја земљишта су, на неки начин, подељена. Слична ситуација огледа се у конфликтној позицији фотонапонских електрана према пољопривредном коришћењу и археолошким истраживањима, где већина нема мишљење, док су они који негирају ову тврдњу незнатно бројнији од оних, који исту, потврђују. Испитаници се, углавном, слажу да изградња електрана на деградираним површинама доприноси побољшању животне средине, пре свега кроз уштеду земљишта. Комплементарно коришћење простора фотонапонске електране (нпр. за испашу, као природан резерват, едукативне и/или туристичке сврхе) је према мишљењу већине испитаника могуће, међутим висок проценат оних који немају мишљење доводи у питање информисаност у погледу комплементарног коришћења.

Соларна енергија је условно обновљив ресурс, јер системи за експлоатацију соларне енергије користе квалитетан природни простор—необновљив ресурс (М. Ференчак, лична преписка, 15. април 2018.). Desideri, Proietti, Zepparelli, Sdringola, & Bini (2012) наводе да су промене земљишта и његово заузимање једини утицаји који фотонапонске електране имају на животну средину. Промене земљишта се, углавном, односе на нивелацију терена (равнање површина и затрпавање депресија), сабијање земљишта и одстрањивање површинског слоја тла (код изградње приступних путева и трансформаторских станица).

Инсталација фотонапонских система, на некада обрађиваном земљишту, може проузроковати губитак његове продуктивности (Tsoutsos et al., 2005). Носећа конструкција фотонапонских панела продире неких 1,5 m у дубину земље, што може уништити археолошки материјал и културно наследство. Wolf (2012) предлаже геофизичко испитивање потенцијалне локације за фотонапонску електрану или коришћење носећих структура са баластом, у циљу очувања археолошких интереса на датом локацији.

Gagnon, Belanger, & Uchiyama (2002) истичу заузимање земљишта, као један од главних проблема система за експлоатацију обновљивих извора енергије. Потребне површине за инсталацију фотонапонске електране варирају у зависности од географске локације, инсталисане снаге, одабране технологије и техничког решења за постављање панела (фиксирани панели или они са механизмом за праћење кретања Сунца). За фотонапонску електрану инсталисане снаге 1 MW потребно је отприлике од 1,7 ha до 2 ha земљишта (Lepotic Kovacević & Lazarević, 2016). У радовима аутора Fthenakis & Kim и Hernandez, Hoffacker, & Field (према Hernandez et al., 2014) наводи се да фотонапонски системи производе највише енергије по јединици површине од свих обновљивих извора енергије. Turney & Fthenakis (2011) су израчунали да су за фотонапонску електрану потребне површине земљишта по произведеном kWh електричне енергије мање него за електрану на угљ, уколико је њихов животни век преко 25 година. Њихови прорачуни базирају се на неколико улазних податка: животном веку електране, површини на којој се налазе постројења за производњу (пећи, турбине, панели итд.), површини неопходној за прикупљање и транспорт сировина (нпр. рудници и железничка пруга), површини и енергији која се користи у процесу производње компоненти за електрану, као и време опоравка трансформисаног земљишта.

Evans, Strezov, & Evans (2009) наводе да се потребне површине земљишта за инсталацију фотонапонске електране крећу у распону 28–64 km²/TWh, без могућности комплементарног коришћења простора. Међутим, Wolfe (2012) тврди супротно, да се простор између редова панела може користити за испашу. Са њим се слаже Scognamiglio (2016), који наводи да се простор између и око редова панела може користити, не само за испашу, већ и као простор погодан за жетву, возњу бицикла, изложбени простор, простор за окупљање и интеракцију људи сличних интересовања. Фотонапонске електране и други системи за експлоатацију обновљивих извора енергије постају нова атракција за туристе који желе да уче о новом концепту живота, технологији и практичним идејама које могу применити у сопственом дому (Doljak, Popović, & Kuzmanović, 2017).

Имајући у виду да је животни век фотонапонске електране око 30 година (Raugei & Frankl, 2009), потенцијалне локације за овакве пројекте морају бити анализирани из аспекта намене земљишта у будућности. Одабиром локација на којима је вредност земљишта мала (нпр. браунфилд локације), или оних које пружају могућност за комплементарно коришћење (нпр. испаша, сенчење, гајење усева који успевају у условима смањене светлости, итд.), могуће је умањити утицај фотонапонске електране на коришћење земљишта и услуге екосистема (Denholm & Margolis, 2008). Ако се земљиште користи у пољопривредне сврхе онда је потребно извршити његову пренамену у индустријске сврхе, што може довести до повећања трошкова и пролонгирања реализације читавог пројекта (IFC, 2015). Иако размак између редова панела пружа могућност да се задржи коришћење у пољопривредне сврхе, обрада земље у таквим условима је отежана (Wolfe, 2012).

Примери изградње фотонапонских електрана на деградираном земљишту у свету су бројни, попут: некадашње депоније *Malagrotta* у Риму (Италија), старог рудника угља у општини Хезден-Золдер (Белгија) који је дуго коришћен као депонија пепела и грађевинског камена, напуштене депоније црвеног муља у општини Кидричево (Словенија), неплодног пољопривредног земљиште у општини Архона (Шпанија), некадашње ваздухопловне војне базе недалеко од Лајпцига (Немачка), поплављеног рудника угља у граду Хуајнан (Кина), итд. Енергетски предео Морбах, у Немачкој, представља добар пример вишенаменског коришћења браунфилд локације, како за производњу енергије из обновљивих извора (соларне енергије, енергије ветра и биомасе), тако и за туристичке и едукативне сврхе.

5.4.3. Утицај на површинске и подземне воде

У анкетном истраживању, трећина испитаника изразила је своје неслагање у погледу утицаја фотонапонских система на потрошњу и квалитет воде. Phillips (2013) истиче да фотонапонске електране немају значајан утицај на хидросферу, као и да доприносе побољшању водних ресурса. Његова забринутост огледа се у недовољно истраженом деловању панела на допуњавање подземних вода, који представљају баријеру за кишницу, што може смањити хидролошку инфилтрацију и перколацију супстрата ка горњој граници подземних вода и подводних аквифера. Pinaras, Wei, Barring, & Gemitzi, (2014) су, на основу резултата SWAT модела, идентификовали значајан потенцијал за повећање површинског отицаја и перколације на локалном нивоу (нивоу слива). Због тога, исти аутори сматрају да фотонапонски системи могу имати позитиван и негативан утицај на локалну хидрографију. Приликом лоцирања фотонапонских система на плавним површинама се мора водити рачуна, с обзиром да овакви системи могу повећати ризик од плављења. Са друге стране, повећањем перколације и допуњавањем подземних вода може имати повољан учинак у појединим областима, нпр. у области Медитерана. Koenig et al. (1979) наводе да нису потребне значајне количине воде за прање панела, али да коришћење детерџената може угрозити квалитет водних ресурса. У пракси се показало да се код великих фотонапонских система за уклањање прашине користи само вода (Hernandez et al., 2014). Hernandez et al., 2014 указује да постоје и друге технологије за чишћење панела, које још увек нису комерцијално доступне (нпр. електростатичко чишћење), или оне чији утицај на животну средину није у потпуности истражен (нпр. хемијски спрејеви). Узимајући у обзир чињеницу да се у пољопривреди користе ђубрива и пестициди, инсталација фотонапонске електране на оваквом земљишту може имати само позитиван утицај на квалитет површинских и подземних вода (Pinaras et al., 2014).

5.4.4. Утицај на флору и фауну

Научна сазнања која се односе на утицаје фотонапонских система на флору и фауну слабо су схваћена. Академски чланци на ову тему, углавном, се свде на хипотетичке анализе, док су механизми њиховог деловања укратко објашњени. Увођењем правно обавезујућег мониторинга биљног и животињског света, као и обнове станишта, уколико, постоји притисак на биљни и животињски свет, допринеће бољим и научно квантификованим сазнањима у тој области. Уклањање вегетације може утицати на промену броја и састав животињских заједница, као последица нестанка или редукције извора хране, што је нарочито погубно по ареале са ретким и угроженим врстама (Koenig et al., 1979). Инфраструктурни елементи фотонапонске електране, као што су приступни путеви, електроводи, трансформаторске станице, заштитна ограда и сл., могу довести до поделе станишта, односно представљају линијске баријере за кретање одређених животињских врста (Hernandez et al., 2014). Уколико је ограђивање неизбежно, алтернативно решење је формирање коридора за миграцију крупнијих животиња, као и постављање ограде на висини

10–15 cm изнад тла, како би се формирао слободан простор који омогућава неометан пролаз мањих сисара и водоземаца (Peschel, 2010). Примена токсичних супстанци неопходних за функционисање електране (нпр. средство против корозије, антифриз, тешки метали, и сл.) и хербицида који спречавају прекомеран раст вегетације могу проузроковати озбиљне последице по живи свет и водене ресурсе (Abbasi & Abbasi, 2000). Сенке које стварају редови панела мењају микроклиматске услове, чији ефекти на вегетацију још увек нису истражени (Turney & Fthenakis, 2011). Са друге стране, Wolfe (2012) тврди да фотонапонске електране немају негативних утицаја на живи свет. Он, као пример, наводи фотонапонску електрану у општини Коберн-Гондорф (Немачка) која, уједно, представља природни резерват за угрожене биљне и животињске врсте. Прелиминарни резултати 10-огодишњег мониторинга соларног парка Либероза, изграђеног делом у оквиру Европског резервата птица (у Бранденбургу), показали су да је квалитет станишта очуван и дугорочно побољшан за значајне врсте птица, као што су степска трептељка, шумска шева и пупавац (Peschel, 2010). Планирањем раштрканих система и система интегрисаних са објектима, многи негативни утицаји на биодиверзитет могли би се редуковати или потпуно избећи.

Резултати анкетног истраживања не пружају најјаснију слику о утицајима на флору и фауну, будући да су разлике у одговорима на супротним странама скале релативно мале, а број оних који немају мишљење највећи.

5.4.5. Утицај на сигурност и здравље људи

Не постоје утицаји фотонапонских електрана на сигурност и здравље људи који до сада нису испитани, било да се ради о фази изградње, рада и одржавања или затварања. Током изградње било ког типа фотонапонских система постоји опасност од струјног удара електричних алата, док патогени микроорганизми у земљи могу да доведу до појаве заразних болести. Hernandez et al. (2014) упозорава да би поремећаји земљишта у сувим областима Северне и Јужне Америке, који обилују потенцијалом за коришћење соларне енергије, могли да помогну у преношењу *Coccidioides immitis*—гљивице која проузрокује Долинску грозницу (епидемску болест) код људи. Повећан ниво буке, вибрације, емисија штетних гасова и суспендованих честица су утицаји привременог карактера, који се јављају само у фази изградње (Oikon, 2010).

Током рада фотонапонски системи не емитују гасовите или течне загађиваче, као ни радиокативне супстанце. Емисије штетних гасова су присутне у процесу производње и транспорта панела. Процењене емисије у производњи поликристалних и монокристалних модула износе: 2,757–3,845 kg CO₂/kWp, 5,049–5,524 kg SO₂/kWp и 4,507–5,273 NO_x/kWp (Raptis et al., 1995; OECD/IEA, 1998, цитирано према Tsoutsos et al., 2005). Емисије које настају при транспорту су безначајне и чине свега 0,1–1% емисија из процеса производње (Tsoutsos et al., 2005). Fthenakis, Kim, & Alsema, (2008) су анализирали емисије тешких метала у процесу производње фотонапонских модула и открили да је енергија утрошена у процесу производње у највећој мери одговорна за емисију арсена, кадмијума, живе, никла, док је 80% емисије олова везан за директну производњу соларног стакла. Moskowicz & Fthenakis (1991) указују на хемијске опасности које прете од једињења кадмијума и селена, због њихове пресудне функције у структури фотонапонских уређаја. Количина емитованог кадмијума, у току животног века панела направљених од кадмијум-телурид соларних ћелија, је 90–300 пута мања, у односу на ону количину коју емитује електрана на угаљ са оптималним уређајима за контролу честица (Fthenakis et al., 2008). Производња ћелија укључује коришћење неколико токсичних, запаљивих и експлозивних супстанци којима се мора пажљиво руковати како би били што мање у контакту са људима и животном средином (Evans et al., 2009). Једина бука коју фотонапонски системи производе током свог рада може да потиче од уређаја за хлађење инвентора и/или од механизма за праћење кретања Сунца. Chiabrande et al. (2009) указују на појаву блеска, који настаје рефлексijом сунчеве светлости на површини фотонапонског панела, проузрокујући тако тренутан губитак вида или смањену

способност човека да види. Због тога, процена појаве блеска је неопходна уколико се у близини фотонапонских система налазе потенцијално осетљиви рецептори (куће, путеви, аеродроми, итд.). Wolfe (2012) негира ризик од појаве блеска, наводећи да фотонапонски панели користе антирефлексивне премазе, како би апсорбовали што више сунчевог зрачења, због чега имају мању рефлексију од обичног стакла. Фотонапонске електране не емитују буку, штетне материје, и електромагнетно зрачење (Pavlović, Mirosavljević, & Mirjanić, 2013). Међутим, Chiabrando et al. (2009) наводи да због утицаја електромагнетног поља, електричне опреме средњег напона мора бити дизајнирана и изграђена у складу са техничким нормативима, прописани одговарајућим правилником. Ризик од избијања пожара постоји код свих система за производњу електричне енергије, укључујући и фотонапонске електране (Lovich & Ennen, 2011). Силицијум је хемијски инертан материјал, због чега не постоји опасност по живот и здравље људи у случају акцидентата или катастрофалних догађаја као што је пожар, сеизмичка активност, или удари грома (Koenig et al., 1979).

У фази затварања, већина компоненти фотонапонске електране се може поново искористити. Силицијумске ћелије су хемијски стабилне, нетоксичне и могу се ломити и одлагати на депонију. Међутим, Hernandez et al. (2014) упућује да би соларне ћелије требало рециклирати како би се спречило загађивње животне средине токсичним материјама (кадмијум, арсен, силикатна прашина), које се налазе у ћелијама. Модули направљени од бакра-индијум-селенида (CIS) и кадмијум-телурида (CdTe) садрже мале количине токсичних супстанци, због чега постоји ризик од ослобађања ових хемикалија у животну средину, уколико дође до пожара у њиховој близини. Због свог релативно кратког трајања и садржаја тешких метала, батерије код самосталних фотонапонских система имају највећи утицај на животну средину (Tsoutsos et al., 2005). Fthenakis (2000) наводи да никл кадмијум батерије, величине $26,2 \times 50$ mm, садрже 20 пута више кадмијума по вату (W), него модули од кадмијум-телурида.

Резултати анкетног истраживања откривају да испитаници имају највише дилеме у погледу акумулације токсичног и грађевинског отпада, као и у вези ризика од избијања пожара. Међутим, већина испитаника изразила је своје неслагање са наведеним тврдњама. Када говоримо о ризику од пожара, струјног удара, удара грома, појави заразних болести и ефекту блеска, који могу угрозити животе и здравље људи, испитаници су, углавном, негирали ове утицаје. Постоје извесна неслагања у одговорима квалификованих и неквалификованих испитаника, али они не мењају општи став у погледу ових ризика. Ниво буке коју производе фотонапонске електране је, свакако, мали да, готово, нема негативне последице на животну средину.

5.4.6. Визуелни утицај

Земљиште и визуелно-естетски доживљај предела су, сигурно, две категорије које су најподложније негативним утицајима фотонапонских електрана. Под визуелним утицајем подразумевају се промене у изгледу предела, настале као резултат увођења, односно изградње нових елемената, док естетски доживљај представља начин перцепције тих промена. Визуелни утицај у великој мери зависи од пројекта и природног окружења у коме се налази фотонапонска електрана. Како би се визуелни утицај избегао или редуковао, неопходно је направити одговарајуће изборе у фази пројектовања фотонапонског система. У том смислу, циљ планера или пројектанта је да смањи контраст између фотонапонског система и подлоге. Процена визуелног утицаја представља кључан сегмент у процесу планирања и пројектовања ових система. Chiabrando et al. (2009) наводе да не постоји много радова и студија које се баве проценом визуелног утицаја фотонапонских електрана, као што је то случај за ветропаркове. Међутим, последњих година појавило се повећано интересовање за ову тематику, о чему сведоче радови бројних аутора (Chiabrando, Fabrizio, & Garnero, 2011; Minelli et al., 2014; Naspetti, Mandolesi, & Zanolli, 2016; Rodrigues, Montañés, & Fueyo, 2010; Torres-Sibille, Cloquell-Ballester, Cloquell-Ballester, & Ramírez, 2009).

Како би квантификовали визуелно-естетски утицај Torres-Sibille et al. (2009) су користили објективни и субјективни индикатор. Објективни индикатор представља пондерисану суму четири критеријума: видљивост, боја, фракталност и подударност. С обзиром на то да видљивост и боја зависе од атмосферских услова, за корекцију је коришћен атмосферски коефицијент, израчунат на основу вредности које су експерти доделили за различите атмосферске услове. Субјективни индикатори представљају естетски доживљај предела пре и после изградње фотонапонске електране, а поређења и евалуације изведени су коришћењем семантичких концепата: пријатност, комплексност, складност, отвореност, афектност, јединственост, природност, живахност, степен стимулације и степен заштите.

Топографија терена и вегетација имају директан утицај на видљивост фотонапонске електране. Тако нпр. фотонапонске електране инсталиране на равном терену и окружене шумском вегетацијом имају већи потенцијал да ублаже визуелно-естетски утицај, за разлику од оних инсталираних на пашњацима или на нагнутим теренима (Kapetanakis, Kolokotsa, & Maria, 2014). Како би се смањила видљивост великих фотонапонских електрана са одређених локација у простору Chiabrando et al. (2011) предлажу да се површина коју заузимају панели редукује или да се на тим локацијама поставе паравани у виду дрвореда, живице, зелених зидова и сл.

У зависности од растојање панела и тла, као и положаја посматрача, утицаји који потичу од боје панела могу у значајној мери допринети визуелном оптерећењу, због великог контраста између панела и тла и/или панела и неба (Torres-Sibille et al. 2009). Одабир панела у бојама блажих нијанси или нијансама које су сличне боји подлоге (земљишту и вегетацији), на којој је електрана постављена, може у значајној мери ублажити визуелни утицај (Scognamiglio, 2016).

Фракталност је мера неприродности геометријских образаца у простору. Визуелни утицај је већи уколико су фотонапонски панели постављени тако да формирају праве линије у простору. Wolfe (2012) сугерише да редове панела треба организовати у више дискретних блокова са неједнаким међусобним интервалима који ће умањити визуелну монотонију и контраст са природним окружењем. Такође, панеле би требало постављати тако да прате локалну топографију и да буду што ближе тлу. Scognamiglio (2016) даје још препорука везаних за густину, нагиб и оријентацију панела, са циљем да се ублажи визуелни утицај у простору. Према његовим речима панеле би требло распоредити тако да имитирају природне елементе у окружењу (дрвеће, усеве, итд.), док благо нагнути панели омогућавају њихову разноврснију оријентацију, чинећи овакав систем „природнијим”. Chiabrando et al. (2011) наводи да нова генерација танкослојних ћелија (од аморфног силицијума, кадмијум телурида или органских ћелија) нуди могућност креирања различитих облика који се могу лакше уклопити у природно окружење, смањујући на тај начин визуелни утицај у простору.

Подударност се односи на сличност у концентрацији две врсте соларних панела (фиксних и мобилних) у оквиру једне електране. Највеће визуелно оптерећење догађа се када је број мобилних и фиксних панела сличан (подједнак), а мањи када преовладава један тип панела (Torres-Sibille et al. 2009).

Постављањем панела у оквиру заштићених природних и културних добара или у њиховој непосредној близини може проузроковати значајни визуелни утицај, што може умањити његов еколошки, културни, здравствено-рекреативни, туристички и други значај.

Tsoutson et al., 2005 предлаже неколико архитектонских решења која могу умањити визуелни утицај фотонапонских система, као нпр. интергисање панела у фасаде објекта. Уколико је код вишестамбених објекта површина крова недовољна за инсталацију засебних фотонапонских система, колективни и децентрализовани системи представљају повољније решење (Gunerhan, Hepbasli, & Giresunlu, 2008). Савремени грађевински материјали, потпут фотонапонских црепова, осим што имају двојну функцију, они и естетски делују привлачније.

Истраживање визуелног утицаја фотонапонских система на привлачност предела коришћењем две фотографије показало је да испитаници углавном виде ове системе као

предеоне обрасце који, у визуелно-естетском смислу, не умањују његову привлачност. Компарацијом постигнутих резултата, откривено је да је негативан визуелно-естетски доживљај присутнији код фотонапонских система на земљи, него код оних на крововима и надстрешницама. У овом случају, треба имати у виду проблем субјективности при одабиру фотографија за оцењивање. Архитекта В. Мацура (лична преписка, 4. априла 2018) верује да већина људи није имала прилике да сагледа предео у коме се налази фотонапонска електрана из птичје перспективе, те да би резултати могли бити потпуно другачији ако би се испитаницима понудиле фотографије настале из човечије перспективе.

На основу резултата испитиваног узорка утврђен је, незнатно, већи степен неслагања са тврдњом да фотонапонски системи утичу на деградацију визуелних карактеристика природних и културних предела. Разлике у одговорима студената природно-математичких и техничко-технолошких наука имплицитно указују да студијски програми различито третирају ову проблематику. Такође, студенти природно-математичких наука су били ригорознији у погледу оцењивања привлачности предела са фотонапонском електраном на земљи, него студенти техничко-технолошких наука. Са друге стране, пол и квалификација испитаника немају утицај на оцењивање визуелне привлачности предела.

6. ЗАКЉУЧАК

Имајући у виду да је просечно сунчево зрачење за око 40% веће од европског просека, као и да соларна енергија учествује свега 0,05% у укупној потрошњи електричне енергије, енергетски потенцијал сунчевог зрачења у Србији је недовољно искоришћен. Разлози за овакву ситуацију су бројни почев од општих, који се односе на несавршеност технологије за фотонапонску конверзију сунчевог зрачења, па све до оних конкретних, попут неповољне економске ситуације, нерегулисаних власничких односа, неразвијености инфраструктуре за коришћење обновљивих извора енергије, недовољно познавање технологије, одсуство финансијских механизма за подстицање шире примене (субвенције, пореске олакшице, кредити и сл.), непостојања детаљнијих истраживања и прецизнијег утврђивања потенцијала, итд.

У Србији, за разлику од других обновљивих извора енергије (енергија ветра, енергија из малих хидроелектрана и геотермалне енергије), у просторним плановима, најчешће, нису одређене потенцијалне локације за коришћење соларне енергије. Искуства Кине, Немачке и Словеније, показала су да је развој фотонапонских електрана у великој мери резултат планског деловања.

Применом ГИС-а и модела за одређивање просторне повољности за изградњу фотонапонских електрана, који је утврђен у докторској дисертацији, омогућено је планирање оптималног размештаја фотонапонских електрана у простору. У зависности од квалитета и доступности улазних података, модел се може применити на различите нивое планирања (национални, регионални и локални). Имплементација предложеног модела на примеру две јединице локалне самоуправе (Град Врање и општина Кладово) показала је да постоје расположиви подаци, који се, уз мању или већу обраду, могу користити, као и да се на основу добијених резултата могу одабрати локације које обезбеђују високе перформансе фотонапонских електрана уз минималне трошкове и утицај на животну средину. Услед недостатка дигиталног модела површи (високе просторне резолуције), вредновање простора је ограничено само за потребе изградње фотонапонских електрана на земљи. Модел је могуће надограђивати паралелно са развојем базе отворених података, задовољавајућег формата и просторне резолуције. То се првенствено односи на податке о положају електровода и трафостаница мреже средњег и ниског напона, податка о облику својине, подложности клижења тла, бонитету и деградацији земљишта, и сл. Методологија које је коришћена у докторату омогућила је да се превазиђу одређене несавршености улазних података, попут моделовања просторне расподеле ирадијације и температуре ваздуха, високе просторне резолуције.

Најзначајнији излазни податак из модела представља индекс просторне повољности, на основу којег је истраживани простор (Град Врање и општина Кладово) подељен на четири класе повољности за изградњу фотонапонских електрана: мање повољне, умерено повољне, повољне, и веома повољне. Учешће сваке класе у укупној валоризованој површини мења се у зависности од сценарија развоја, тј. критеријума који су обухваћени у поступку вредновања и међусобног значаја између њима припадајућих фактора. Према сценарију који уважава све предложене критеријуме, при чему су тежински коефицијенти за факторе вредновања додељени применом АНР методе, учешће веома повољних површина у укупно валоризованим износи 1,8% за Град Врање, односно 0,1 за општину Кладово. За обе јединице локалне самоуправе карактеристично је да се учешће повољних површина повећава, ако сви фактори у поступку валоризације имају једнак тежински коефицијент. Коришћењем критеријума за елиминацију простора, значајно су редуковане површине на којима је могућа изградња фотонапонских електрана. Вредновањем је обухваћено 2,9% укупне површине Града Врања, а 3,8% укупне површине општине Кладово.

На основу индекса просторне повољности одабране су експерименталне парцеле за које је извршена процена техничког потенцијала за коришћење соларне енергије. Са просечним индексом просторне повољности 0,79, парцела број 3510, у атару насеља Крива Феја (Град Врање), припада веома повољним локацијама за изградњу соларне електране. Процењена годишња производња електричне енергије на овој парцели износи 482.072,3 kWh, што

омогућава напајање око 115 домаћинстава, под претпоставком да просечно домаћинство потроши 4.200 kWh струје годишње. Од укупно 18 парцела, које су у просторном плану Града Врање издвојене као потенцијалне локације за соларне електране, свега три парцеле се у извесној мери поклапају са резултатима модела—парцела бр. 360 у атару насеља Бабина Пољана (57%), парцеле број 77 (58%) и 75 (47%) у атару насеља Дубница. Укупна процењена производња електричне енергије на ове три парцеле износи 22,5 GWh на годишњем нивоу. У општини Кладово одабране су две експерименталне парцеле, од којих је једна парцела (бр. 3084, у насељу Брза Паланка) у приватној својини и има највећи индекс просторне повољности (0,78), док се друга парцела (бр. 2228, у насељу Грабовица) налази на неплодном пољопривредном земљишту, у државној својини, и има нешто нижи индекс просторне повољности (0,59). За прву парцелу процењена производња електричне енергије износи 735.367,8 kWh, док на другој 496.289,6 kWh. Модел за процену техничког потенцијала показао је задовољавајуће резултате, имајући у виду да просечна апсолутна грешка између процењене и остварене производње за фотонапонску електрану „Соларис 1” износи око 14.6%.

Осим утврђивања потенцијала појединачних локација за производњу електричне енергије, масовније коришћење соларне енергије подрумева информисаност и развијену јавну свест о значају примене обновљивих извора енергије. Познавање технологије за фотонапонску конверзију сунчевог зрачења, економских и еколошких показатеља, омогућава укључивање различитих интересних група (органа локалне самоуправе, стручњака, инвеститора, невладиних организација и удружења грађана, као и шире јавности) у процес доношења одлука о будућем развоју фотонапонских електрана. Анкетно истраживање показало је да су стручњаци и јавност релативно добро информисани о начину рада и тенденцијама развоја обновљивих извора енергије, при чему интернет представља значајан извор информација. Људи су спремни да издвоје већа новчана средства за стимулисање производње електричне енергије из обновљивих извора, али висина месечних примања не одређује колико новца су они спремни да издвоје у ту сврху. Од свих система за експлоатацију обновљивих извора енергије, соларни системи се најчешће могу видети у Србији. Већина стручњака је чула за фотонапонске системе, док је ниво информисаности о начину рада и тенденцијама развоја фотонапонских система задовољавајући. Јавност је углавном свесна о позитивним утицајима на животну средину, док су они негативни недовољно истражени, због чега већина нема јасан став у том погледу. У научно-стручној литератури преовладава мишљење да поједине компоненте животне средине могу бити у мањој или већој мери угрожене током изградње, рада, одржавања, и затварања фотонапонских електрана. Распон и интензитет утицаја на животну средину зависи од величине, начина и места на коме су изграђене фотонапонске електране. Код оних које су изграђене на земљи, утицаји се најчешће односе на коришћење земљишта (заузимање земљишта), његове физичке особине, биодиверзитет, као и на визуелно оптерећење. Многи негативни утицаји фотонапонских електрана могу се избећи или редуковати изградњом на постојећим објектима или на деградираном земљишту. Искуства Кине, Немачке и Словеније показала су да је неопходно донети различите програме и финансијске механизме (повољне кредите, пореске и царинске олакшице, субвенције и др.) за подстицање коришћење кровних и деградираних површина за потребе изградње фотонапонских електрана. Оценом визуелног квалитета предела са две фотографије утврђено је да су системи инсталирани на објектима прихватљивије решење за посматрача од оних на земљи, док је визуелна перцепција предела у обе поменуте категорије фотонапонских система, више привлачна него непривлачна.

За потребе доктората извршено је геореференцирање постојећег стања фотонапонских система у Србији на основу Регистара повлашћених произвођача електричне енергије, привремених повлашћених произвођача електричне енергије и произвођача из обновљивих извора енергије, закључно са 6. јуном 2019. године. На овај начин, омогућено је лакше прикупљање, складиштење и праћење развоја фотонапонских електрана, са потенцијалом да се база допуни подацима који су везани за друге системе за експлоатацију обновљивих извора енергије и на тај начин јавно презентује у форми ГИС апликације.

ЛИТЕРАТУРА

- ARCHIMEDIA. (2012). *План детаљне регулације – нацрт за потребе соларног парка у Кладову*. Општина Кладово – Одељење за урбанизам, грађевинарство и планирање [Доступно на упит].
- Бига, Д., Чолић, Р., Милић, Ђ., Милер, Х., Радосављевић, З., Стошић, М., & Тркуља, С. (2017). *Класификација намене земљишта и планских ознака у планским документима*. Београд: Министарство грађевине, саобраћаја и инфраструктуре
- Буцало, З., Спаић, С., & Карић, З. (2015). *Извештај са инжењерске праксе*. Преузето са <http://vtsns.edu.rs/wp-content/uploads/2015/05/praksa-primer-izvestaja-2.pdf>
- Геосрбија. (n.d.). *Дигитална платформа за Националну инфраструктуру геопросторних података [Апликација]*. Преузето са <https://a3.geosrbija.rs/>
- Дукић, Д. (2006). *Климатологија*. Београд, Србија: Универзитет у Београду – Географски факултет.
- Ђукановић, С. (2014). *Еколошка енергетика: ширење примене*. Београд: АГМ књига.
- Електро mreжа Србије. (2016). *Упутство за прикључење објекта на преносни систем*. Преузето са https://ems.rs/page.php?kat_id=24
- Електропривреда Србије. (2019). *Извештај о прикупљеним и исплаћеним новчаним средствима за подстицај повлашћених произвођача електричне енергије за 2018. Годину*. Преузето са <http://www.eps.rs/cir/snabdevanje/Pages/izvestaji.aspx>
- Закон о путевима. „Службени гласник РС”, бр. 41/2018, 59/2018-др. закон. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/zakon/2018/41/6/reg>
- Закон о енергетици. „Службени гласник РС”, бр. 145/2014, 95/2018-др. закон. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/zakon/2014/145/1/reg>
- Закон о железници. „Службени гласник РС”, бр. 41/2018. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/zakon/2018/41/7/reg>
- Закон о заштити животне средине. „Службени гласник РС”, бр. 135/2004, 36/2009, 36/2009-др. закон, 72/2009-др. закон, 43/2011-УС, 14/2016, 76/2018, 95/2018-др. закон. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/zakon/2004/135/8/reg>
- Закон о заштити земљишта. „Службени гласник”, бр. 112/2015. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/zakon/2015/112/19/reg>
- Закон о планирању и изградњи. „Службени гласник РС”, бр. 72/2009, 81/2009- исправка, 64/2010-УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013-УС, 50/2013-УС, 98/2013-УС, 132/2014, 145/2014, 83/2018, 31/2019, 37/2019-др. закон. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/zakon/2009/72/11/reg>
- Закон о пољопривредном земљишту. „Службени гласник”, бр. 62/2006, 65/2008-др. закон, 41/2009, 112/2015, 80/2017, 95/2018-др. закон. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/zakon/2006/62/7/reg/20190101>
- Закон о процени утицаја на животну средину. „Службени гласник РС”, бр. 135/2004, 36/2009. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/zakon/2004/135/5/reg>
- Институт за мултидисциплинарна истраживања (2004). *Студија енергетског потенцијала Србије за коришћење енергије сунчевог зрачења и ветра (НПЕЕ, Евиденциони број ЕЕ704-1052А)*. Преузето са http://vetar-sunce.imsi.rs/tekstovi/Studija_EE704-1052A/index.php
- ЈП „Дирекција за изградњу града” Кикинда. (2013). *План детаљне регулације за изградњу фотонапонске електране у К.О. Сајан*. Преузето са http://www.kikinda.org.rs/Images/UserFiles/File/ogradu/urbanizam/planovidetaljneregulacije/tekst_fotonaponskaSajan.pdf
- ЈП Завод за урбанизам Врање. (2010). *Генерални урбанистички план Врања: Електроенергетска и телекомуникациона инфраструктура [Карта 8.2]*. Преузето са <https://urbanizamvr.rs/jpeg/>

gen_urb_plan_grada/008.ELEKTROENERGETSKA%20I%20TELEKOMUNIKACIONA%20INFRASTRUKTURA.jpg

- ЈП Завод за урбанизам Врање. (2011а). *Просторни план града Врање: Електроенергетска, телекомуникациона и гасоводна инфраструктура* [Реферална карта 2.3]. Преузето са http://www.urbanizamvr.rs/jpeg/prostorni_plan/Referalna%20karta%202.3-Elektroenergetska,%20telekomunikaciona%20i%20gasovodna%20infr.jpg
- ЈП Завод за урбанизам Врање. (2011б). *Просторни план града Врање: Текстуални део*. Преузето са https://urbanizamvr.rs/pdf/prostorni_plan/Tekst.pdf
- ЈП Завод за урбанизам Врање. (2011в). *Просторни план Града Врања: Намена простора* [Реферална карта број 1]. Преузето са https://urbanizamvr.rs/jpeg/prostorni_plan/Referalna%20karta%201-Namena%20prostora.jpg
- ЈП Завод за урбанизам Ниш. (2014). *План генералне регулације Прокупља*. Преузето са <https://prokuplje.org.rs/planiranje-i-izgradnja/>
- Југословенски институт за урбанизам и становање. (2010). *Просторни план општине Прокупље: Хидротехничка, енергетска и комуникациона инфраструктура* [Реферална карта 2Б]. Преузето са <https://prokuplje.org.rs/images/content/file/Planski%20dokumenti/Prostorni%20plan%20Opstine%20Prokuplje%20grafika.pdf>
- Југословенски институт за урбанизам и становање. (2011). *Просторни план општине Блаце: Водопривредна, енергетска и телекомуникациона инфраструктура* [Реферална карта 2Б]. Преузето са https://www.blace.org.rs/images/dokumenta/prostorni-plan/Rf2B%20VODOPRIVREDNA%20ENERGETSKA%20I%20TK%20INFRASTRU_.pdf
- Ламбић, М. (2015). *Сунчева енергија*. Београд: Завод за уџбенике.
- Марковић, Ђ., & Лазовић, М. (2017). *Биогас – Користићење енергије из отпада*. У Ђ. Самарџија (Ур.), Србија без фосилних горива: Алтернативни INDC (стр. 27–29). Преузето са <http://jedanstepen.org/wp-content/uploads/2017/02/Jedan-stepen-Alternativni-INDC.pdf>
- Миловановић, Б., Радовановић, М., Станојевић, Г., Пецељ, М., & Николи, Ј. (2017). *Клима Србије*. У М. Радовановић (Ур.), *Географија Србије* (стр. 95–159). Београд: Географски институт “Јован Цвијић” САНУ.
- Министарство енергетике, развоја и заштите животне средине. (2013). *Национални акциони план за коришћење обновљивих извора енергије*. Преузето са http://www.mre.gov.rs/doc/efikasnost-izvori/NAPOIE%20KONACNO%2028_%20jun_2013.pdf
- Министарство животне средине, рударства и просторног планирања & Републичка агенција за просторно планирање. (2011). *Просторни план Републике Србије 2010–2020*. Београд: Службени гласник.
- Министарство одбране Републике Србије. (n.d.) *Листа продаје непокретности на располагању у МО и ВС*. Доступно на http://www.mod.gov.rs/master_plan/
- Министарство рударства и енергетике. (2019). Регистар повлашћених произвођача електричне енергије, привремених повлашћених произвођача електричне енергије и произвођача из обновљивих извора енергије 06.06.2019 [Web page]. Преузето са http://www.mre.gov.rs/doc/registar-060619.html#Sec_Solar
- Министарство рударства и енергетике. (н.д.). Помоћни регистар: Списак захтева за привремени и повлашћени статус повлашћеног произвођача електричне енергије за соларне електране на земљи [Веб страница]. Преузето са http://www.mre.gov.rs/doc/efikasnost-izvori/efikasnost-kvote/SP3%20%20solarne%20elektrane%20na%20zemlji_09022018.htm
- Плазенић, С. (1985). *Техничка метеорологија*. Београд: Научна књига
- Правилник о енергетској дозволи. „Службени гласник РС“, бр. 15/2015, 44/2018. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/ministarstva/pravilnik/2015/15/2/reg>
- Правилник о лиценци за обављање енергетске делатности и сертификацији. „Службени гласник РС“, бр. 7/2015, 44/2018-др. закон. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/ministarstva/pravilnik/2015/87/3/reg>

- Протић, Д. (2013). *Квантитативно картографско моделирање земљишног покривача* (Докторска дисертација). Преузето са <http://nardus.mpn.gov.rs/handle/123456789/2202>
- Радио-телевизија Србије. (2012). Прва соларна електрана [веб страница]. Преузето са <http://www.rts.rs/page/stories/ci/story/124/drustvo/1092650/prva-solarna-elektrana.html>
- Радио-телевизија Србије. (2018). Услови за бесплатну струју [веб страница]. Преузето са <http://www.rts.rs/page/stories/ci/story/124/drustvo/3044069/uslovi-za-besplatnu-struju-.html>
- Расплинути скупови. (1994, новембар). *Политика*, стр. 20.
- Републички геодетски завод. (2019). *Катастар непокретности - knweb јавни приступ* [Интернет сервис - Web апликација]. Преузето са <http://katastar.rgz.gov.rs/KnWebPublic/PublicAccess.aspx>
- Републички завод за заштиту споменика културе – Београд. (n.d.). *База непокретних културних добара*. Преузето са <http://www.spoimenici.heritage.gov.rs/lat/pretraga>
- Републички завод за статистику (2013). Становништво: Школска спрема, писменост и компјутерска писменост. У: *Попис становништва, домаћинства и станова 2011. у Републици Србији* (књ. 3). Преузето са <http://publikacije.stat.gov.rs/G2013/Pdf/G20134001.pdf>
- Републички завод за статистику. (2018). *Билтен – Енергетски биланси, 2016*. Преузето са <http://publikacije.stat.gov.rs/G2018/Pdf/G20185632.pdf>
- Републички завод за статистику. (2019). *Билтен – Енергетски биланси, 2017*. Преузето са <http://publikacije.stat.gov.rs/G2019/Pdf/G20195645.pdf>
- Републички хидрометеоролошки завод Србије. (1961–2010). *Метеоролошки годишњак - климатолошки подаци 1961–2010*. Преузето са: http://www.hidmet.gov.rs/ciril/meteorologija/klimatologija_godisnjaci.php
- Родић, Д., & Павловић, М. (1994). *Географија Југославије I*. Београд: Савремена администрација.
- Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. Године. „Службени гласник РС“, број 101/2015. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/skupstina/ostalo/2015/101/1/reg>
- Управа за пољопривредно земљиште. (2018). *Карта пољопривредног земљишта у државној својини* [Информацио систем управе]. Преузето са <https://a3.geosrbija.rs/share/3adfe4396f64>
- Уредба о подстицајним мерама за производњу електричне енергије из обновљивих извора и из високоефикасне комбиноване производње електричне и топлотне енергије. „Службени гласник РС“, бр. 56/2016, 60/2017, 91/2018. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/vlada/uredba/2016/56/3/reg>
- Уредба о висини посебне накнаде за подстицај повлашћених произвођача електричне енергије у 2019. Години. „Службени гласник РС“, бр. 8/2019-10. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/vlada/uredba/2019/8/4/reg>
- Уредба о гаранцији порекла. „Службени гласник РС“, бр. 82/2017. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/vlada/uredba/2017/82/1/reg>
- Уредба о накнади за подстицај повлашћених произвођача електричне енергије. „Службени гласник РС“, бр. 8/2019. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/vlada/uredba/2019/8/3/reg>
- Уредба о режимима заштите. „Службени гласник РС“, бр. 31/2012. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/vlada/uredba/2012/31/1/reg>
- Уредба о условима и поступку стицања статуса повлашћеног произвођача електричне енергије, привременог повлашћеног произвођача и произвођача електричне енергије из обновљивих извора енергије. „Службени гласник РС“, бр. 56/2016, 60/2017, 44/2018-др. закон. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/vlada/uredba/2016/56/4/reg>
- Уредба о утврђивању Листе пројеката за које је обавезна процена утицаја и Листе пројеката за које се може захтевати процена утицаја на животну средину. „Службени гласник РС“, бр. 114/2008. Преузето са <http://www.pravno-informacioni-sistem.rs/SlGlasnikPortal/eli/rep/sgrs/vlada/uredba/2008/114/2/reg>

- Центар за планирање урбаног развоја. (2012а). *Просторни план општине Кладово: Мрежа насеља и инфраструктурни системи* [Реферална карта 2]. Преузето са http://www.kladovo.org.rs/resources/vesti/dokumenta/ppo/PPO--A3-tematska_06.pdf
- Центар за планирање урбаног развоја. (2012б). *Просторни план општине Кладово*. Преузето са http://www.kladovo.org.rs/resources/vesti/dokumenta/ppo/PPO_Kladovo-TEKST_PLANA.pdf
- Центар за планирање урбаног развоја. (2012в). *Просторни план општине Кладово: Намена простора* [Реферална карта 1]. Преузето са http://www.kladovo.org.rs/resources/vesti/dokumenta/ppo/PPO_KLADOVO-REF_KARTA_1.pdf

* * *

- Abbasi, S. A., & Abbasi, N. (2000). The likely adverse environmental impacts of renewable energy sources. *Applied Energy*, 65(1–4), 121–144. [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(99\)00077-X](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(99)00077-X)
- Abdi, E., Majnounian, B., Darvishsefat, A., Mashayekhi, Z., & Sessions, J. (2009). A GIS-MCE based model for forest road planning. *Journal of Forest Science*, 55(4), 171–176. Retrieved from https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/52_2008-JFS.pdf
- Agencija Republike Slovenije za okolje. (2016). *Letno povprečno trajanje sončnega obsevanja, obdobje 1981–2010* [Map]. Retrieved from http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/image/sl/by_variable/solar-radiation/mean-bright-sunshine-duration_year_81-10.png
- Agencija za zaštitu životne sredine. (2018). *Ka kontaminaciji zemljišta u Republici Srbiji*. Preuzeto sa <http://www.sepa.gov.rs/download/zemljiste/KaDekontaminacijiZemljista.pdf>
- Agencija za zaštitu životne sredine. (n.d.). *Mape deponija Javnih komunalnih preduzeća i divlje i stare deponije*. Dostupno na <http://www.sepa.gov.rs/index.php?menu=207&id=1007&akcija=showExternal>
- Aggarwal, V. (2018). *What are the most efficient solar panels on the market?* Retrieved Jun 18, 2018, from <https://news.energysage.com/what-are-the-most-efficient-solar-panels-on-the-market/>
- Agora Energiewende. (2016). *Energiewende: What do the new laws mean?* Retrieved from https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2016/EEG-FAQ/Agora_FAQ-EEG_EN_WEB.pdf
- Al Garni, H. Z., & Awasthi, A. (2018). Chapter 2 - Solar PV Power Plants Site Selection: A Review. In I. Yahyaoui (Ed.), *Advances in Renewable Energies and Power Technologies* (pp. 57–75). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812959-3.00002-2>
- Aleksić, Ž. V. (1970). *Pedološka karta SFRJ* [List: Kladovo 3]. Beograd: Institut za proučavanje zemljišta Topčider – Beograd.
- Al-Shabeeb, A. R., Al-Adamat, R., & Mashagbah, A. (2016). AHP with GIS for a Preliminary Site Selection of Wind Turbines in the North West of Jordan. *International Journal of Geosciences*, 7(10), 1208. <https://doi.org/10.4236/ijg.2016.710090>
- Angstrom, A. (1924). Solar and terrestrial radiation. Report to the international commission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 50(210), 121–126. <https://doi.org/10.1002/qj.49705021008>
- Antonović, G. M. (1970). *Pedološka karta SFRJ* [List: Negotin 1]. Beograd: Institut za proučavanje zemljišta Topčider – Beograd.
- ARMINES, MINES ParisTech, TRANSVALOR, & ECMWF - COPERNICUS Atmosphere Monitoring Service. (2018). *Monthly and yearly average Global Horizontal Irradiation maps from CAMS Radiation Service over Europe – "AGATE" volume* [Database record]. Retrieved from <http://www.soda-pro.com/help/cams-services/cams-radiation-service/download-europe-volume>
- Atlas trajnostne energije [Web application] (n.d.). Retrieved from <http://borzen.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=9a8d05accff4a908f66de6958c9a3bc>
- Azizkhani, M., Vakili, A., Noorollahi, Y., & Naseri, F. (2016). Potential survey of photovoltaic power plants using Analytical Hierarchy Process (AHP) method in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1198–1206. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.103>

- Bagher, A. M., Vahid, M. M. A., & Mohsen, M. (2015). Types of solar cells and application. *American Journal of Optics and Photonics*, 3(5), 94–113. <https://doi.org/10.11648/j.ajop.20150305.17>
- Bajat, B., Blagojević, D., Kilibarda, M., Luković, J., & Tošić, I. (2015). Spatial analysis of the temperature trends in Serbia during the period 1961–2010. *Theoretical and applied climatology*, 121(1–2), 289–301. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1243-7>
- Bajat, B., Pejović, M., Luković, J., Manojlović, P., Ducić, V., & Mustafić, S. (2013). Mapping average annual precipitation in Serbia (1961–1990) by using regression kriging. *Theoretical and applied climatology*, 112(1–2), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0702-2>
- Barron-Gafford, G. A., Minor, R. L., Allen, N. A., Cronin, A. D., Brooks, A. E., & Pavao-Zuckerman, M. A. (2016). The Photovoltaic Heat Island Effect: Larger solar power plants increase local temperatures. *Scientific reports*, 6, 35070. <https://doi.org/10.1038/srep35070>
- Bathrellos, G. D., Gaki-Papanastassiou, K., Skilodimou, H. D., Skianis, G. A., & Chousianitis, K. G. (2013). Assessment of rural community and agricultural development using geomorphological–geological factors and GIS in the Trikala prefecture (Central Greece). *Stochastic environmental research and risk assessment*, 27(2), 573–588. <https://doi.org/10.1007/s00477-012-0602-0>
- Beware. (2015). *BEWARE Otvoreni podaci* [Baza podatka]. <http://geoliss.mre.gov.rs/beware/webgis/OpenData.php>
- Blazev, A. S. (2012). *Photovoltaics for commercial and utilities power generation*. Lilburn: Fairmont Press.
- Bognar, A. (1990). Geomorfološke i inženjersko-geomorfološke osobine otoka Hvara i ekološko vrednovanje reljefa. *Hrvatski geografski glasnik*, 52(1), 49–65. Preuzeto sa <https://hrcak.srce.hr/37480>
- Böhner, J., & Antonić, O. (2009). Chapter 8 Land-Surface Parameters Specific to Topo-Climatology. In T. Hengl & H. I. Reuter (Eds.), *Developments in Soil Science* (pp. 195–226). [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00008-1](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00008-1)
- Borojević, K., & Milešević, T. (2016). Menadžment obnovljivim izvorima energije. *SVAROG*, 12, 89–102. doi:10.7251/SVR1612089B
- Boxwell, M. (2015). *Solar Electricity Handbook: A Simple, Practical Guide to Solar Energy-Designing and Installing Photovoltaic Solar Electric Systems* (9th ed.). Coventry, UK: Greenstream Publishing.
- Boz, M. B., Calvert, K., & Brownson, J. R. (2015). An automated model for rooftop PV systems assessment in ArcGIS using LIDAR. *AIMS Energy*, 3(3), 401–420. <https://doi.org/10.3934/energy.2015.3.401>
- Brito, M. C., Gomes, N., Santos, T., & Tenedório, J. A. (2012). Photovoltaic potential in a Lisbon suburb using LiDAR data. *Solar Energy*, 86(1), 283–288. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.09.031>
- Brozen. (2019). Trajnostna energija [Web page]. Retrieved from <http://www.trajnostnaenergija.si/>
- Bunruamkaew, K., & Murayam, Y. (2011). Site suitability evaluation for ecotourism using GIS & AHP: A case study of Surat Thani province, Thailand. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 21, 269–278. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.07.024>
- Carrión, J. A., Estrella, A. E., Dols, F. A., & Ridao, A. R. (2008). The electricity production capacity of photovoltaic power plants and the selection of solar energy sites in Andalusia (Spain). *Renewable Energy*, 33(4), 545–552. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.05.041>
- Carrión, J. A., Estrella, A. E., Dols, F. A., Toro, M. Z., Rodríguez, M., & Ridao, 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>
- Chang, T. P. (2009). The Sun's apparent position and the optimal tilt angle of a solar collector in the northern hemisphere. *Solar energy*, 83(8), 1274–1284. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.02.009>
- Charabi, Y., & Gastli, A. (2011). PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy*, 36(9), 2554–2561. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.10.037>

- Chiabrandò, R., Fabrizio, E., & Garnerò, G. (2009). The territorial and landscape impacts of photovoltaic systems: Definition of impacts and assessment of the glare risk. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2441–2451. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.06.008>
- Chiabrandò, R., Fabrizio, E., & Garnerò, G. (2011). On the applicability of the visual impact assessment OAISPP tool to photovoltaic plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 845–850. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.030>
- China Energy Portal. (2016). Notice from the Poverty Alleviation Office of the State Council on allocation of the first batch of PV poverty alleviation projects. Retrieved from <https://chinaenergyportal.org/en/notice-poverty-alleviation-office-state-council-allocation-first-batch-pv-poverty-alleviation-projects/>
- China Energy Portal. (2017). Circular on 2018 pricing policy for PV power generation projects (NDRC Price Regulation [2017] No. 2196) [Web page]. Preuzeto sa <https://chinaenergyportal.org/en/circular-on-2018-pricing-policy-for-pv-power-generation-projects/>
- China Energy Portal. (2019a). Circular on improving the Feed-in Tariff mechanism for PV power generation (NDRC Pricing dept. [2019] No. 761) [Web page]. Dostupno na <https://chinaenergyportal.org/en/circular-on-improving-the-feed-in-tariff-mechanism-for-pv-power-generation/>
- China Energy Portal. (2019b). Second batch of PV poverty alleviation projects for the 13th FYP period (States to develop new energy [2019] No. 37) [Web page]. Retrieved from <https://chinaenergyportal.org/en/second-batch-of-pv-poverty-alleviation-projects-for-the-13th-fyp-period/>
- Cleff, T. (2014). *Exploratory Data Analysis in Business and Economics: An Introduction Using SPSS, Stata, and Excel*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing
- Clifton, J., & Boruff, B. J. (2010). Assessing the potential for concentrated solar power development in rural Australia. *Energy Policy*, 38(9), 5272–5280. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.05.036>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., . . . Boehner, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geosci. Model Dev.*, 8, 1991–2007. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>
- Conservation International. (2018). Trends.Earth (Version 0.63) [GIS Tool & Database]. Retrieved from <http://trends.earth/docs/en/index.html#>
- Cornes, R. C., van der Schrier, G., van den Besselaar, E. J., & Jones, P. D. (2018). An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Data Sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(17), 9391–9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>
- Cvetković, S., Radoičić, T. K., Vukadinović, B., & Kijevčanin, M. (2014). Potentials and status of biogas as energy source in the Republic of Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 407–416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.005>
- Dai, F. C., Lee, C. F., & Zhang, X. H. (2001). GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. *Engineering geology*, 61(4), 257–271. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00028-X](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00028-X)
- de Castro, C., Mediavilla, M., Miguel, L. J., & Frechoso, F. (2013). Global solar electric potential: A review of their technical and sustainable limits. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 824–835. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.040>
- Denholm, P., & Margolis, R. M. (2008). Land-use requirements and the per-capita solar footprint for photovoltaic generation in the United States. *Energy Policy*, 36(9), 3531–3543. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.05.035>
- Desa, M. M., Sapeai, S., Azhari, A. W., Sopian, K., Sulaiman, M. Y., Amin, N., & Zaidi, S. H. (2016). Silicon back contact solar cell configuration: A pathway towards higher efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1516–1532. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.004>

- Desideri, U., Proietti, S., Zepparelli, F., Sdringola, P., & Bini, S. (2012). Life Cycle Assessment of a ground-mounted 1778 kWp photovoltaic plant and comparison with traditional energy production systems. *Applied Energy*, 97, 930–943. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.01.055>
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C., & Martin, P. R. (2008). Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(18), 6668–6672. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709472105>
- Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. (2018). *Official Journal of the European Union*, L 328, p. 82–209. Retrieved from <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj>
- Djurdjevic, D. Z. (2011). Perspectives and assessments of solar PV power engineering in the Republic of Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2431–2446. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.025>
- Dolinar, M. (2006). Spatial interpolation of sunshine duration in Slovenia. *Meteorological Applications*, 13(4), 375–384. <https://doi.org/10.1017/S1350482706002362>
- Doll, C., & van Essen, H. (2008). *Road infrastructure cost and revenue in Europe. Produced within the study Internalisation Measures and Policies for all external cost of Transport (IMPACT) – Deliverable, 2*. Retrieved from https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/sustainable/studies/doc/2008_road_infrastructure_costs_and_revenues.pdf
- Doljak, D., & Samardzija, Dj. (2016). The Potential of Massive PV Installation in Serbia. In V. Martínez and J. González (Eds.), *Proceedings of the ISES EuroSun 2016 Conference* (pp. 1656–1663). Freiburg: International Solar Energy Society. <http://doi.org/10.18086/eurosun.2016.11.04>
- Doljak, D., & Stanojević, G. (2017). Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia. *Energy*, 127, 291–300. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.140>
- Doljak, D., Popović, D., & Kuzmanović, D. (2017). Photovoltaic potential of the City of Požarevac. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 460–467. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.154>
- Dubayah, R., & Rich, P. M. (1995). Topographic solar radiation models for GIS. *International journal of geographical information systems*, 9(4), 405–419. <https://doi.org/10.1080/02693799508902046>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes* (4th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Đukanović, S. (2009). *Obnovljivi izvori energije: ekonomska ocena*. Ub, Srbija: Gradska biblioteka “Božidar Knežević”.
- Easterling, D. R., Meehl, G. A., Parmesan, C., Changnon, S. A., Karl, T. R., & Mearns, L. O. (2000). *Climate extremes: observations, modeling, and impacts. science*, 289(5487), 2068–2074. <https://doi.org/10.1126/science.289.5487.2068>
- Eastman, J. R. (2016). *TerrSet Manual*. Retrieved from <http://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/Terrset-Manual.pdf>
- ECA&D. (2019). E-OBS v20.0e [Dataset]. Retrieved from <https://www.ecad.eu/download/ensembles/download.php>
- Eco global. (2017). Solarna elektrana Merdare [Web stranica]. Preuzeto sa <http://ecoglobalgreen.com/solarne-elektrane/?lang=sr>
- Eichhorn, M., Scheftelowitz, M., Reichmuth, M., Lorenz, C., Louca, K., Schiffler, A., . . . & Thrän, D. (2019). Spatial Distribution of Wind Turbines, Photovoltaic Field Systems, Bioenergy, and River Hydro Power Plants in Germany. *Data*, 4(1), 29. <https://doi.org/10.3390/data4010029>
- EJB TV. (2015, Avgust 6). *EJB TV solarna elektrana "Sajan"*. [Video fajl]. Preuzeto sa <https://www.youtube.com/watch?v=TiIoKWkX80s>

- Elektroistok–Projektni biro. (2017). Elektroenergetski objekti napona 110, 220 i 400 kV [Mapa]. Preuzeto sa https://www.ems.rs/media/uploads/2017/PZU/Mapa_prenosnog_sistema.pdf
- Energetski portal. (2016, June). Primer dobre prakse korišćenja obnovljivih izvora energije: male solarne elektrane „Solaris 1“ i „Solaris 2“. *Energetski magazine*, 4, 37. Preuzeto sa https://www.energetskiportal.rs/wp-content/uploads/2016/06/EnergetskiPortal_Bilten-br.4-Obnovljivi-izvori-energije-2016.pdf
- EnergieLandschaft Morbach*. (n.d.). Retrieved from <https://www.energielandschaft.de/startseite/>
- EnergyRegion. (2014). *Photovoltaic System “TASOLAR”*. Retrieved from https://www.energy-region.eu/images/best-practice/en/si/best-practice_A3_si.pdf
- ENGIS — Geografski informacijski sistem za područje obnovljivih virov energije [Web application] (n.d.). <http://www.engis.si/portal.html>
- Envidome. (2018). Solarna elektrana – Eurogradnja [Web stranica]. Preuzeto sa <http://envidome.com/projekat/solarna-elektrana-eurogradnja/>
- EPS magazin. (2013, Septembar). Rekonstrukcija dalekovoda najveće solarne elektrane u Srbiji [Blog post]. Preuzeto sa <http://eps-magazin.blogspot.com/2013/09/rekonstrukcija-dalekovoda-najvece.html>
- Erneuerbare-Energien-Gesetz (2017). Retrieved from http://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/EEG_2017.pdf
- EurObserv'ER. (2019). *The State of Renewable Energies in Europe, 2018 Edition* (18th EurObserv'ER Report). Retrieved from <https://www.eurobserv-er.org/18th-annual-overview-barometer/>
- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. (2019). ERA5 monthly averaged data on single levels from 1979 to present [Data set]. <https://doi.org/10.24381/cds.f17050d7>
- European Commission (2001-2016). Photovoltaic Geographical Information System (Version 5) [Interactive tools]. Retrieved from http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR
- European Environment Agency (2016b). *EU-Hydro River Network, EU-Hydro public beta* [ESRI Geodatabase]. Retrieved from <https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-hydro/eu-hydro-public-beta/eu-hydro-river-network?tab=download>
- European Environment Agency. (2016a). *European Digital Elevation Model (EU-DEM), version 1.1* [Dataset]. Retrieved from <http://land.copernicus.eu/pan-european/satellite-derived-products/eu-dem/eu-dem-v1.1/view>
- European Environment Agency. (2018a). *High Resolution Layer: Grassland (GRA) 2015* [Dataset]. Retrieved from <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/grassland/status-maps/2015>
- European Environment Agency. (2018b). *Corine Land Cover (CLC) 2018, Version 20b2* [Dataset]. Retrieved from <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>
- European Environment Agency. (2018c). *High Resolution Layer: Imperviousness Density (IMD) 2015* [Dataset]. Retrieved from <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness/status-maps/2015>
- Evans, A., Strezov, V., & Evans, T. J. (2009). Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(5), 1082–1088. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.03.008>
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Food and Agriculture Organization, International Fund For Agricultural Development, UNICEF, World Food Programme, & World Health Organization. 2018. *The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. Building climate resilience for food security and nutrition*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/i9553en/i9553en.pdf>
- Fraunhofer ISE. (2018). *Photovoltaics Report, updated: 27 August 2018*. Retrieved from <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>

- Fraunhofer ISE. (2019). *Recent Facts about Photovoltaics in Germany*. Retrieved from <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf>
- Friesen, G., Gottschalg, R., Beyer, H. G., Williams, S. R., van Sark, W. G. J. H. M., Guérin de Montgareuil, A., . . . & Niu, Y. (2007, September). Intercomparison of Different Energy Prediction Methods Within the European Project "Performance"-Results of the 1st Round Robin. In *22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference* (pp. 2659–2663). Retrived from <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/27298>
- Fthenakis, V. M. (2000). End-of-life management and recycling of PV modules. *Energy Policy*, 28(14), 1051–1058. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00091-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00091-4)
- Fthenakis, V. M., Kim, H. C., & Alsema, E. (2008). Emissions from photovoltaic life cycles. *Environmental science & technology*, 42(6), 2168–2174. <https://doi.org/10.1021/es071763q>
- Fthenakis, V., & Kim, H. C. (2010). Life-cycle uses of water in US electricity generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 2039–2048. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.008>
- Fu, P., & Rich, P. M. (1999, July). Design and implementation of the Solar Analyst: an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales. Paper presented at the 19th Annual ESRI User Conference, San Diego, USA. Retrived from: http://www.professorpaul.com/publications/fu_rich_1999_esri.pdf
- Gagnon, L., Belanger, C., & Uchiyama, Y. (2002). Life-cycle assessment of electricity generation options: The status of research in year 2001. *Energy policy*, 30(14), 1267–1278. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00088-5](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00088-5)
- García, J. L., Alvarado, A., Blanco, J., Jiménez, E., Maldonado, A. A., & Cortés, G. (2014). Multi-attribute evaluation and selection of sites for agricultural product warehouses based on an analytic hierarchy process. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.10.009>
- Gastli, A., & Charabi, Y. (2010). Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 790–797. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.08.018>
- Geist, H. J. (2015). *Fotonaponska postrojenja: planiranje, montaža, provera, održavanje* (S. Gavrilović, Prevod). Beograd: InfoElektronika.
- Georgiou, A., & Skarlatos, D. (2016). Optimal site selection for sitting a solar park using multi-criteria decision analysis and geographical information systems. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 5(2), 321–332. <http://dx.doi.org/10.5194/gi-5-321-2016>
- Gore, A. (2009). *Our Choice: A Plan to Solve the Climate Crisis*. Emmaus, PA: Rodale Books.
- Gradski zavod za zaštitu zdravlja Beograd. (2002). Ekološki atlas Beograda: Vol. B. Kartografski prikaz Eko atlasa [Karta 22: Energetski potencijal sunčevog zračenja]. Preuzeto sa <http://www.zdravlje.org.rs/ekoatlas/volb/22.gif>
- Gravetter, F. J., & Wallnau, L. B. (2013). *Statistics for the Behavioral Sciences* (9th ed.). Wadsworth, US: Cengage Learning
- Green, M. A. (2003). *Third generation photovoltaics: Advanced solar energy conversion*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Gul, M., Kotak, Y., & Muneer, T. (2016). Review on recent trend of solar photovoltaic technology. *Energy Exploration & Exploitation*, 34(4), 485–526. <https://doi.org/10.1177/0144598716650552>
- Gunerhan, H., Hepbasli, A., & Giresunlu, U. (2008). Environmental impacts from the solar energy systems. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 31(2), 131–138. <https://doi.org/10.1080/15567030701512733>
- Haghdadi, N., & Asaei, B. (2012, May). Multi-attribute decision making for new photovoltaic power plant establishment: Iran case study. In *2012 11th International Conference on Environment and Electrical Engineering* (pp. 166–169). <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2012.6221566>

- Hansen, A. D., Sorensen, P., Hansen, L. H., & Bindner, H. (2000). *Models for a stand-alone PV system* (Risoe-R, No. 1219(EN)). Retrieved from http://orbit.dtu.dk/files/7727175/ris_r_1219.pdf
- Hansen, J., Kharecha, P., Sato, M., Masson-Delmotte, V., Ackerman, F., Beerling, D. J., . . . & Rockstrom, J. (2013). Assessing “dangerous climate change”: required reduction of carbon emissions to protect young people, future generations and nature. *PloS one*, 8(12), e81648. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081648>
- Harley, C. D., Randall Hughes, A., Hultgren, K. M., Miner, B. G., Sorte, C. J., Thornber, C. S., ... & Williams, S. L. (2006). The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology letters*, 9(2), 228–241. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00871.x>
- Hengl, T. (2009). *A Practical Guide to Geostatistical Mapping* (2nd ed). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Hernandez, R. R., Easter, S. B., Murphy-Mariscal, M. L., Maestre, F. T., Tavassoli, M., Allen, E. B., . . . Allen, M. F. (2014). Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 766–779. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.041>
- Hofierka, J., Kaňuk, J., & Gallay, M. (2014): The Spatial distribution of photovoltaic power plants in relation to solar resource potential: the case of the Czech Republic and Slovakia. *Moravian Geographical Reports*, 22(2), 26–33. <https://doi.org/10.2478/mgr-2014-0009>
- Hou, J., Luo, S., & Cao, M. (2019). A review on China's current situation and prospects of poverty alleviation with photovoltaic power generation. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 11(1), 013503. <https://doi.org/10.1063/1.5048102>
- Huang, B., Li, Z., Zhao, Z., Wu, H., Zhou, H., & Cong, S. (2018). Near-ground impurity-free wind and wind-driven sand of photovoltaic power stations in a desert area. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 179, 483–502. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.06.017>Get rights and content
- Huld, T., & Gracia Amillo, A. M. (2015) Estimating PV module performance over large geographical regions: the role of irradiance, air temperature, wind speed and solar spectrum. *Energies*, 8(6), 5159–5181. <https://doi.org/10.3390/en8065159>
- Huld, T., Gottschalg, R., Beyer, H. G., & Topič, M. (2010). Mapping the performance of PV modules, effects of module type and data averaging. *Solar Energy*, 84(2), 324–338. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.12.002>
- Huld, T., Müller, R. & Gambardella, A. (2012). A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. *Solar Energy*, 86, 1803–1815. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.03.006>
- Huld, T., Pinedo Pascua, I., Gracia Amillo, A., Urraca Valle, R., & Dunlop, E. (2017). PVGIS Version 5: Improvements to Models and Features. In *33rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition* (pp. 2069–2074). <https://doi.org/10.4229/EUPVSEC20172017-6DO.6.1>
- Huld, T., Suri, M., Dunlop, E., Albuissou, M., & Wald, L. (2005). Integration of Helioclim-1 database into PV-GIS to estimate solar electricity potential in Africa. *Proceedings of the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition* (pp. 2989–2992). Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00091923/document>
- Hwang, G. H., Wei, L. S., Ching, K. B., & Lin, N. S. (2011, September). Wind farm allocation in Malaysia based on multi-criteria decision making method. In *National Postgraduate Conference (NPC), 2011* (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1109/NatPC.2011.6136445>
- Immissionsschutz, Städtebau, Umweltplanung. (2005). *Bebauungsplan, Morbacher Energielandschaft – MEL – Südbereich*. Kaiserslautern, Germany: Immissionsschutz, Städtebau, Umweltplanung
- Immissionsschutz, Städtebau, Umweltplanung. (2006a). *Bebauungsplan, Morbacher Energielandschaft – MEL – Südbereich 2'*. Kaiserslautern, Germany: Immissionsschutz, Städtebau, Umweltplanung
- Immissionsschutz, Städtebau, Umweltplanung. (2006b). *Bebauungsplan, Morbacher Energielandschaft – MEL – Zentralbereich, Teilgebiet 1'*. Kaiserslautern, Germany: Immissionsschutz, Städtebau, Umweltplanung

- Immissionsschutz, Städtebau, Umweltplanung. (2012). *Bebauungsplan ‚Morbacher Energielandschaft – MEL – Zentralbereich, Teilgebiet 2‘*. Kaiserslautern, Germany: Immissionsschutz, Städtebau, Umweltplanung
- Immissionsschutz, Städtebau, Umweltplanung. (2019). *Bebauungsplan ‚Morbacher Energielandschaft – MEL – Südbereich 2, 1. Änderung‘*. Kaiserslautern, Germany: Immissionsschutz, Städtebau, Umweltplanung
- Institut für angewandtes Stoffstrommanagement. (2010). *Erarbeitung von Handlungsempfehlungen zur strategischen Einbindung regenerativer Energien zur Fortschreibung des Energiekonzeptes für die Region Trier im Rahmen des Modellvorhabens der Raumordnung (MORO) - Abschlussbericht* -. Retrieved from <https://d-nb.info/1081251255/34>
- Institute for Energy Economics and Financial Analysis. (2018). *Solar Is Driving A Global Shift In Electricity Markets*. Retrieved from http://holdfast.global/wp-content/uploads/2018/05/IEEFA_Global-Solar-Report_20May2018-1.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). *Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf
- International Energy Agency. (2018). *Key World Energy Statistics*. Retrieved from <https://webstore.iea.org/key-world-energy-statistics-2018>
- International Energy Agency. (2019a). Solar PV: Tracking Clean Energy Progress [Web page]. Retrieved from <https://www.iea.org/tcep/power/renewables/solarpv/>
- International Energy Agency. (2019b). Solar energy [Web page]. Retrieved from <https://www.iea.org/topics/renewables/solar/>
- International Finance Corporation. (2015). *Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants: A Project Developer's Guide*. Retrieved from http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/f05d3e00498e0841bb6fbb54d141794/IFC+Solar+Report_Web+_08+05.pdf?MOD=AJPERES
- International Renewable Energy Agency, International Energy Agency, & REN21. (2018). *Renewable Energy Policies in a Time of Transition*. Retrieved from https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/06/17-8622_Policy_FullReport_web_FINAL.pdf
- International Renewable Energy Agency. (2018). *Renewable Power Generation Costs in 2017*. Retrieved from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf
- International Renewable Energy Agency. (2019b). *Renewable Power Generation Costs in 2018*. Retrieved from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf
- International Renewable Energy Agency. (2019c). *Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2019*. Retrieved from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Jun/IRENA_RE_Jobs_2019-report.pdf
- International Renewable Energy Agency. (2019a). *Renewable capacity statistics 2019*. Retrieved from https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2019.pdf
- IstmediaSerbia. (2014, november 16). *Solaris Energy Kladovo* [Video fajl]. Preuzeto sa <https://www.youtube.com/watch?v=ms-J0O5g0V8>

- 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>
- Kalogirou, S. A. (2014). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems* (2nd ed.). Academic Press
- Kapetanakis, I. A., Kolokotsa, D., & Maria, E. A. (2014). Parametric analysis and assessment of the photovoltaics' landscape integration: *Technical and legal aspects*. *Renewable energy*, 67, 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.11.043>
- Kastanas, I., Georgiou, A., Zavros, P., & Akylas, E. (2014). An integrated GIS-based method for wind-power estimation: application to western Cyprus. *Open Geosciences*, 6(1), 79–87. <https://doi.org/10.2478/s13533-012-0162-3>
- Kenning, T. (2019, May 20). World's largest floating solar plant connected in China [Blog post]. Retrieved from <https://www.pv-tech.org/news/worlds-largest-floating-solar-plant-connected-in-china>
- Kilibarda, M., Hengl, T., Heuvelink, G. B. M., Gräler, B., Pebesma, E., Perčec Tadić, M., & Bajat, B. (2014). Spatio-temporal interpolation of daily temperatures for global land areas at 1 km resolution. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(5), 2294–2313. <https://doi.org/10.1002/2013JD020803>
- King, D. L., Boyson, W. E., & Kratochvill, J. A. (2004). *Photovoltaic Array Performance Model* (Report no. SAND2004-3535). New Mexico, Albuquerque: Sandia National Laboratories.
- Klein, S. A. (1977). Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces. *Solar energy*, 19(4), 325–329. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(77\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0038-092X(77)90001-9)
- Koenig, J. C., Billitti, J. W., & Tallon, J. M. (1979). Photovoltaic system criteria documents. Volume 3: Environmental issues and evaluation criteria for photovoltaic applications (Technical Report No. NASA-CR-183318, JPL-5250-3-VOL-3, NAS 1.26:183318). Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=19910011244>
- Kontos, T. D., Komilis, D. P., & Halvadakis, C. P. (2005). Siting MSW landfills with a spatial multiple criteria analysis methodology. *Waste management*, 25(8), 818–832. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.04.002>
- Kosorić, V. (2008). Aktivni solarni sistemi: primena u materijalizaciji omotača energetski efikasnih zgrada. Beograd: Građevinska knjiga.
- Kost, C., Shammugam, S., Jülch, V., Nguyen, H.-T., & Schlegl, T. (2018). *Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies*. Retrieved from https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/EN2018_Fraunhofer-ISE_LCOE_Renewable_Energy_Technologies.pdf
- Kostić, M., Jankes, G., Đurić, M., Stojkov, S., Saleta, M., Radosavljević, M., . . . & Krnetić, B. (2016). Solar PV plants in Serbia and practical experience for solar power plant “Solaris 1&2” in Kladovo. In A. Nikolic, K. Busawon, A. Maheri, & G. Jankes (Eds.), *Proceedings of the 2016 4th International Symposium on Environmental Friendly Energies and Applications (EFEA)* (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1109/EFEA.2016.7748818>
- Koven, C. D., Ringeval, B., Friedlingstein, P., Ciais, P., Cadule, P., Khvorostyanov, D., . . . & Tarnocai, C. (2011). Permafrost carbon-climate feedbacks accelerate global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(36), 14769–14774. <https://doi.org/10.1073/pnas.1103910108>
- Krebs, F. C., & Norrman, K. (2007). Analysis of the failure mechanism for a stable organic photovoltaic during 10 000 h of testing. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 15(8), 697–712. <https://doi.org/10.1002/pip.794>
- Kreith, F., & Kreider, J. F. (1978). Principles of solar engineering. New York: McGraw-Hill.
- Kriegler, E., Mouratiadou, I., Luderer, G., Bauer, N., Calvin, K., DeCian, E., . . . Edenhofer, O. (2013). *Roadmaps towards Sustainable Energy futures and climate protection: A synthesis of results from the RoSE project*. Retrieved from http://www.rose-project.org/Content/Public/RoSE_REPORT_310513_ES.pdf

- Kryza, M., Szymanowski, M., Migała, K., & Pietras, M. (2010). Spatial information on total solar radiation: Application and evaluation of the r.sun model for the Wedel Jarlsberg Land, Svalbard. *Polish Polar Research*, 31(1), pp. 17–32. <https://doi.org/10.4202/ppres.2010.02>
- Kymakis, E., Kalykakis, S., & Papazoglou, T. M. (2009). Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete. *Energy Conversion and Management*, 50(3), 433–438. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.12.009>
- Labudović, B., Elezović, M., Knežević, D., Kos, M., Matić, Z., Majdandžić, Lj., Martinčić, V., Papler, D., & Stojan, M. (2011). *Osnove primjene fotonaponskih sustava*. Zagreb: Energetika marketing
- Lalović, B. (1982). *Nasušno sunce: kako da iskoristimo sunčanu energiju*. Beograd: Nolit.
- Langanke, T. (2018). *Copernicus Land Monitoring Service – High Resolution Layer Grassland: Product Specifications Document*. Retrieved from <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/hrl-grassland-technical-document-prod-2015>
- Lee, A. H., Chen, H. H., & Kang, H.-Y. (2009). Multi-criteria decision making on strategic selection of wind farms. *Renewable Energy*, 34(1), 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.013>
- Lepotic Kovacević, B., & Lazarević, B. (2016). *Izgradnja postrojenja i proizvodnja električne energije u fotosolarnim elektranama u republici srbiji—Vodič za investiture* (Treće izdanje). Preuzeto sa http://www.rs.undp.org/content/serbia/sr/home/library/environment_energy/guides-for-investors-in-renewable-energy-in-serbia1.html
- Li, X., Wagner, F., Peng, W., Yang, J., & Mauzerall, D. L. (2017). Reduction of solar photovoltaic resources due to air pollution in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(45), 11867–11872. <https://doi.org/10.1073/pnas.1711462114>
- Liu, B. Y. H., & Jordan, R. C. (1961). Daily Insolation on Surfaces Tilted Toward the Equator. *ASHRAE Transactions*, 67, 526–541.
- Lokalna energetska agentura. & Občina Kidričevo. (2010). *Lokalni energetska koncept občine Kidričevo*. Retrieved from https://www.kidricevo.si/wp-content/uploads/2013/07/javno_lek_lek_kidricevo.pdf
- Lopez Ramirez, I. (2017). *Operating correction factor of PV system: Effects of temperature, angle of incidence and inverter in PV system performance*. Retrieved from <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1076486/FULLTEXT01.pdf>
- Loveday, D. L., & Taki, A. H. (1996). Convective heat transfer coefficients at a plane surface on a full-scale building facade. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 39(8), 1729–1742. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(95\)00268-5](https://doi.org/10.1016/0017-9310(95)00268-5)
- Lovich, J. E., & Ennen, J. R. (2011). Wildlife conservation and solar energy development in the desert southwest, United States. *BioScience*, 61(12), 982–992. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.12.8>
- Lukić, M. (1994). *Solarna arhitektura*. Beograd: Naučna knjiga.
- Luković, J., Bajat, B., Kilibarda, M., & Filipović, D. (2015). High resolution grid of potential incoming solar radiation for Serbia. *Thermal Science*, 19(Suppl. 2), 427–435. <https://doi.org/10.2298/TSCI150430134L>
- Maksimović, B., & Majstorović, D. [Slobodan KCOB] (2014, septembar 10). *Beocin, 10 septembar 2014 Otvorena solarna elektrana* [Video fajl]. Preuzeto sa <https://www.youtube.com/watch?v=8cN1o-Oa5V4>
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703–726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
- MapSoft. (n.d.). LiDAR snimanje (skeniranje) [Web page]. Retrieved from <https://www.mapsoft.rs/index.php/sr/fotogrametrija/lidar>
- Mardani, A., Jusoh, A., Zavadskas, E. K., Cavallaro, F., & Khalifah, Z. (2015). Sustainable and renewable energy: An overview of the application of multiple criteria decision making

- techniques and approaches. *Sustainability*, 7(10), 13947–13984. <https://doi.org/10.3390/su71013947>
- Marion, B. (2008). *Comparison of Predictive Models for PV Module Performance* (Presentation) (No. NREL/PO-520-43288). Presented at the 33rd IEEE Photovoltaic Specialist Conference, 11-16 May 2008, San Diego, California. Retrieved from <https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43288.pdf>
- Martin, N., & Ruiz, J. M. (2001). Calculation of the PV modules angular losses under field conditions by means of an analytical model. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 70(1), 25–38. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(00\)00408-6](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(00)00408-6)
- Martin, N., Ruiz, J. M., & Bione, J. (2010). Angular and Soiling Losses of PV modules in tracking systems. In *Proceedings of the 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition / 5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion* (pp. 4301–4303). <http://www.eupvsec-proceedings.com/proceedings?paper=6558>
- Martín-Chivelet, N. (2016). Photovoltaic potential and land-use estimation methodology. *Energy*, 94, 233–242. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.108>
- Martinez-Lozano, J. A., Tena, F., Onrubia, J. E., & De La Rubia, J. (1984). The historical evolution of the Ångström formula and its modifications: review and bibliography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 33(2–3), 109–128. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(84\)90064-9](https://doi.org/10.1016/0168-1923(84)90064-9)
- Massimo, A., Dell'Isola, M., Frattolillo, A., & Ficco, G. (2014). Development of a Geographical Information System (GIS) for the integration of solar energy in the energy planning of a wide area. *Sustainability*, 6(9), 5730–5744. <https://doi.org/10.3390/su6095730>
- Mckenney, D. W. (1999). Calibration and sensitivity analysis of a spatially-distributed solar radiation model. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(1), 49–65. <https://doi.org/10.1080/136588199241454>
- McMichael, A. J., Woodruff, R. E., & Hales, S. (2006). Climate change and human health: present and future risks. *The Lancet*, 367(9513), 859–869. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68079-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68079-3)
- McNaughton, S. (2009, September). Endless Potential. *National Geographic Magazine*, 216(3), 40–41.
- Mészáros, I., Miklánek, P., & Parajka, J. (2002). Solar energy income modelling in mountainous areas. In L. Holko & P. Miklanek (Eds.), *Interdisciplinary Approaches in Small Catchment Hydrology: Monitoring and Research – Proceedings of the 9th Conference of the European Network of Experimental and Representative Basins* (pp. 127–135). Paris: UNESCO/IHP.
- Meteotest. (2019). *Meteonorm* (Version 7.3.1) [Computer software]. Retrieved from <https://meteonorm.com/en/download>
- Miljković N. S. (1996). *Osnovi pedologije*. Novi Sad: Prirodno-matematički fakultet, Institut za geografiju.
- Minelli, A., Marchesini, I., Taylor, F. E., De Rosa, P., Casagrande, L., & Cenci, M. (2014). An open source GIS tool to quantify the visual impact of wind turbines and photovoltaic panels. *Environmental Impact Assessment Review*, 49, 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.07.002>
- MINES ParisTech – Armines (2014-2019). *HelioClim-1* [Database record]. Retrieved from <http://www.soda-pro.com/web-services/radiation/helioclim-1>
- Ministarstvo rudarstva i energetike, & Program Ujedinjenih nacija za razvoj. (2016). *Vodič za investitore za projekte u oblasti obnovljivih izvora energije*. Preuzeto sa <http://www.mre.gov.rs/doc/efikasnost-izvori/Vodic%20za%20OIE%202016%20A4.pdf>
- Ministrstvo za infrastrukturu. (2010). *Akcijski načrt za obnovljive vire energije 2010-2020 (AN-OVE)*. Retrieved from https://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/an_ove/an_ove_2010-2020_final.pdf
- Moskowitz, P. D., & Fthenakis, V. M. (1991). Environmental, health and safety issues associated with the manufacture and use of II–VI photovoltaic devices. *Solar cells*, 30(1–4), 89–99. [https://doi.org/10.1016/0379-6787\(91\)90041-M](https://doi.org/10.1016/0379-6787(91)90041-M)
- Mrvić, V., Antonović, G., Čakmak, D., Perović, V., Maksimović, S., Saljnikov, E., & Nikoloski, M. (2013). Pedological and pedogeochemical map of Serbia. In E. R. Saljnikov (Ed.) *Proceedings, the 1st International Congress on Soil Science, XIII National Congress in Soil*

- Science, Soil – Water – Plant* (pp. 93–104). Retrieved from http://data.sfb.bg.ac.rs/sftp/olivera.kosanin/book_of_proceedings.pdf
- Mrvić, V., Stevanović, D., Sikirić, B., Čakmak, D., & Nikoloski, M. (2011). Effect of Al and amelioration measures on properties of Pseudogleys and the mass of barley. *Zemljište i biljka*, 60(3), 140–147. Retrieved from https://library.wur.nl/isric/fulltext/isricu_i33782_001.pdf
- Eta, N. (2008). The Mann-Whitney U: A test for assessing whether two independent samples come from the same distribution. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*, 4(1), 13–20. <https://doi.org/10.20982/tqmp.04.1.p013>
- Nacionalni centar za digitalizaciju. (n.d.). *Elektronski katalog nepokretnih spomenika kulture u Srbiji*. Preuzeto sa <http://spomenickulture.mi.sanu.ac.rs/mapa.php>
- Nasehi, S., Birak Olia, S. S., Karimi, S., & Heydari, S. (2017). Modelling site selection for solar power establishment by fuzzy logic and ordered weighted averaging methods in arid and semi-arid regions (Case study Yazd province-IRAN). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* 10(5), 177–192. Retrieved from <http://www.inns.pub.net/jbes/modelling-site-selection-solar-power-establishment-fuzzy-logic-ordered-weighted-averaging-methods-arid-semi-arid-regions-case-study-yazd-province-iran/>
- Naspetti, S., Mandolesi, S., & Zanolli, R. (2016). Using visual Q sorting to determine the impact of photovoltaic applications on the landscape. *Land Use Policy*, 57, 564–573. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.06.021>
- National Association of Clean Air Agencies (n.d.). *Reduce Losses in the Transmission and Distribution System*. Retrieved from http://www.4cleanair.org/sites/default/files/Documents/Chapter_10.pdf
- National Renewable Energy Laboratory. (2012). Award-Winning PV Cell Pushes Efficiency Higher [Web page]. Retrieved October 25, 2018 from <https://www.nrel.gov/news/features/2012/2055.html>
- Nemet, G. F. (2009). Net radiative forcing from widespread deployment of photovoltaics. *Environmental Science & Technology*, 43(6), 2173–2178. <https://doi.org/10.1021/es801747c>
- Nguyen, H. T., & Pearce, J. M. (2010). Estimating potential photovoltaic yield with r. sun and the open source geographical resources analysis support system. *Solar Energy*, 84(5), 831–843. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2010.02.009>
- Nigim, K., Munier, N., & Green, J. (2004). Pre-feasibility MCDM tools to aid communities in prioritizing local viable renewable energy sources. *Renewable Energy*, 29(11), 1775–1791 <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.02.012>
- Nikolski, M., & Antonović, G. (2011). Pedološka karta [Listovi: Kriva Palanka 1; Kriva Palanka 2; Kumanovo 2; Leskovac 1; Leskovac 2 ; Vlasotince 3]. Beograd: Institut za zemljište – Beograd.
- Nixon, J. D., Dey, P. K., & Davies, P. A. (2010). Which is the best solar thermal collection technology for electricity generation in north-west India? Evaluation of options using the analytical hierarchy process. *Energy*, 35(12), 5230–5240. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.07.042>
- Noorollahi, E., Fadai, D., Akbarpour Shirazi, M., & Ghodsipour, S. H. (2016). Land Suitability Analysis for Solar Farms Exploitation Using GIS and Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)—A Case Study of Iran. *Energies*, 9(8), 643. <https://doi.org/10.3390/en9080643>
- OECD/IEA. (2014). *World Development Indicators: Power and communications* [WDI tables]. Retrieved from <http://wdi.worldbank.org/table/5.11>
- Oikon. (2010). *Studija mogućnosti korištenja prostora za izgradnju sunčanih elektrana na području PGŽ*. Preuzeto sa <https://zavod.pgz.hr/docs/zzpuHR/documents/239/Original.pdf>
- OpenStreetMap. (n.d.). *OpenStreetMap Data Extracts*. Retrieved from <https://download.geofabrik.de/>
- Pallant, J. (2011). *SPSS: priručnik za preživljavanje* (M. Šućur & O. Milanko, prevod 4. izdanja) Beograd: Mikro knjiga.
- Palz, W., Greif, J., & Commission of the European Communities. (Eds.). (1996). *European solar radiation atlas: solar radiation on horizontal and inclined surfaces*. Berlin: Springer. (Original work published 1984).

- Pavan, A. M., Mellit, A., & De Pieri, D. (2011). The effect of soiling on energy production for large-scale photovoltaic plants. *Solar energy*, 85(5), 1128–1136. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.03.006>
- Pavlović, T. M. & Čabrić, B. D. (2006). *Fizika i tehnika solarne energetike* (drugo izmenjeno i dopunjeno izdanje). Beograd: Građevinska knjiga
- Pavlović, T. M., Milosavljević, D. D., & Pirs, D. S. (2013). Simulation of photovoltaic systems electricity generation using homer software in specific locations in Serbia. *Thermal Science*, 17(2), 333–347. <https://doi.org/10.2298/TSCI120727004P>
- Pavlović, T., Milosavljević, D., Radonjić, I., Pantić, L., Radivojević, A., & Pavlović, M. (2013). Possibility of electricity generation using PV solar plants in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 201–218. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.070>
- Pavlović, T. M., Mirosavljević, D. D., & Mirjanić, D. Lj. (2013). *Obnovljivi izvori energije*. Banja Luka: Akademija nauka i umetnosti Republike Srpske.
- Peschel, T. (2010). Solar park—Opportunities for biodiversity: A report on biodiversity in and around ground-mounted photovoltaic plants. *Renews Special*, 45. Retrieved from https://unendlich-viel-energie.de/media/file/298.45_Renews_Special_Biodiv-in-Solarparks_EN.pdf
- Peterseim, J. H., White, S., Tadros, A., & Hellwig, U. (2013). Concentrated solar power hybrid plants, which technologies are best suited for hybridisation? *Renewable Energy*, 57, 520–532. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.02.014>
- Phillips, J. (2013). Determining the sustainability of large-scale photovoltaic solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 435–444. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.003>
- Piazena, H. (1996). The effect of altitude upon the solar UV-B and UV-A irradiance in the tropical Chilean Andes. *Solar energy*, 57(2), 133–140. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(96\)00049-7](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(96)00049-7)
- Pisinaras, V., Wei, Y., Barring, L., & Gemitzi, A. (2014). Conceptualizing and assessing the effects of installation and operation of photovoltaic power plants on major hydrologic budget constituents. *Science of the Total Environment*, 493, 239–250. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.132>
- Planungsgemeinschaft Region Trier. (2014). *Regionaler Raumordnungsplan Region Trier – Entwurf Januar 2014*. Retrieved from https://www.plg-region-trier.de/images/phocadownload/ROPneu-E/Textband_kpl070214.pdf
- Potić, I., Golić, R., & Joksimović, T. (2016). Analysis of insolation potential of Knjaževac Municipality (Serbia) using multi-criteria approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.056>
- Pouran, H. M. (2018). From collapsed coal mines to floating solar farms, why China's new power stations matter. *Energy policy*, 123, 414–420. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.09.010>
- Prescott, J. A. (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Trans. Roy. Soc. S. Aust.*, 46, 114–118.
- Price, S. (2010). *2008 Solar Technologies Market Report*. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/5f24h660>
- Protić, D. D., Kilibarda, M. S., Nenković-Riznić, M. D., & Nestorov, I. Dj. (2018). Three-dimensional urban solar potential maps: Case study of the i-Scope project. *Thermal Science*, 22(1), 663–673. <https://doi.org/10.2298/TSCI170715213P>
- Pucar, M. (2006). *Bioklimatska arhitektura: zastakljeni prostori i pasivni solarni sistemi*. Beograd: Institut za arhitekturu i urbanizam Srbije.
- Pucar, M., & Nenković-Riznić, M. (2011). Uticaj obnovljivih izvora energije na prostorni razvoj naselja u Srbiji u svetlu klimatskih promena. U V. Zlatanović-Tomašević, R. Gajić & F. Kaić (Ur.), *Budućnost razvoja naselja u svetlu klimatskih promena*. Beograd: Društvo urbanista Beograda.
- Pucar, M., Pajević, M., & Jovanović Popović, M. (1994). *Bioklimatsko planiranje i projektovanje: urbanistički parametric*. Beograd: Zavet.

- PVportal. (2019). Sončne elektrarne v Sloveniji [Web page]. Retrieved from <http://pv.fe.uni-lj.si/SEvSLO.aspx>
- QGIS (Version 2.18) [Computer software]. (2017). Retrieved from <http://www.qgis.org/en/site/index.html>
- Radonjić, I. S., Pavlović, T. M., Mirjanić, D. L., Radović, M. K., Milosavljević, D. D., & Pantić, L. S. (2017). Investigation of the impact of atmospheric pollutants on solar module energy efficiency. *Thermal Science*, 21(5), 2021–2030. <https://doi.org/10.2298/TSCI160408176R>
- Raji, S. (2017, June). Modelling Potential Sites for Solar PV Plants in Northwest Nigeria Using Geoinformation Tools. In *Meeting the Energy Demands of Emerging Economies, 40th IAEE International Conference, June 18–21, 2017*. Retrieved from <https://www.iaee.org/en/publications/proceedingsabstractpdf.aspx?id=14357>
- Rajković, S. (2019). RES LEGAL Europe: Slovenia [Web page]. Retrieved from <http://www.res-legal.eu/search-by-country/slovenia/>
- Ramanujam, J., & Singh, U. P. (2017). Copper indium gallium selenide based solar cells—a review. *Energy & Environmental Science*, 10(6), 1306–1319. <https://doi.org/10.1039/C7EE00826K>
- Raugei, M., & Frankl, P. (2009). Life cycle impacts and costs of photovoltaic systems: current state of the art and future outlooks. *Energy*, 34(3), 392–399. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.01.001>
- Razvojna agencija Srbije. (n.d). *Baza investicionih lokacija*. Dostupno na <http://crm.siepa.gov.rs/locations-srb/index.php?>
- Rediske, G., Siluk, J. C. M., Gastaldo, N. G., Rigo, P. D., & Rosa, C. B. (2018). Determinant factors in site selection for photovoltaic projects: A systematic review. *International Journal of Energy Research*, 43(5), 1689–1701. <https://doi.org/10.1002/er.4321>
- Regionalni centar za životnu sredinu za Centralnu i Istočnu Evropu (2015). *Registar i rezultati analize organizacija civilnog društva iz oblasti zaštite životne sredine u Srbiji*. Preuzeto sa: http://documents.rec.org/publications/serbian_ngo_2015_FINAL.pdf
- REN21. (2016). *Renewables 2016 Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat
- REN21. (2019). *Renewables 2019 Global Status Report*. Retrieved from https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf
- Ribeyron, P. J. (2017). Crystalline silicon solar cells: Better than ever. *Nature Energy*, 2(5). 17067. <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.67>
- Rietveld, M. R. (1978). A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. *Agricultural Meteorology*, 19(2–3), 243–252. [https://doi.org/10.1016/0002-1571\(78\)90014-6](https://doi.org/10.1016/0002-1571(78)90014-6)
- Ritchie, H., & Roser, M. (2018). *CO2 and other greenhouse gas emissions*. Retrieved from <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
- Rodrigues, M., Montañés, C., & Fueyo, N. (2010). A method for the assessment of the visual impact caused by the large-scale deployment of renewable-energy facilities. *Environmental Impact Assessment Review*, 30(4), 240–246. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2009.10.004>
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1), 9–26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Saaty, T. L. (2005). The analytic hierarchy and analytic network processes for the measurement of intangible criteria and for decision-making. In G. Salvatore (Ed.), *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys* (pp. 345–405). New York, NY: Springer.
- Sahu, A., Yadav, N., & Sudhakar, K. (2016). Floating photovoltaic power plant: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 815–824. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051>
- Sánchez-Lozano, J. M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P. L., & García-Cascales, M. S. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain.

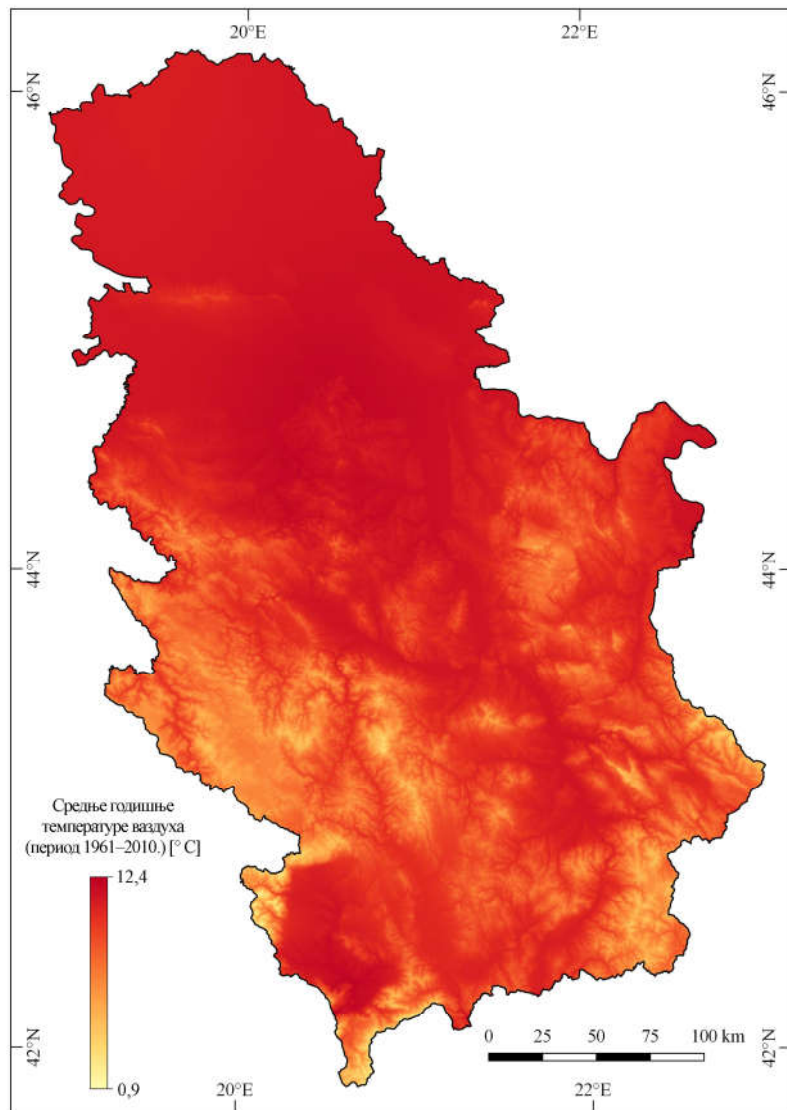
- Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 544–556. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.019>
- Sander + Partner (2016). *Wind Atlas Balkan* [Dataset]. Retrieved from <http://balkan.wind-index.com>
- Santos, T., Gomes, N., Freire, S., Brito, M. C., Santos, L., & Tenedório, J. A. (2014). Applications of solar mapping in the urban environment. *Applied Geography*, 51, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.03.008>
- Savić, N., Katić, V., Milićević, D., Dumnić, B., & Katić, N. (2017). Techno-economic analysis of rooftop PV power plants in the Republic of Serbia. In *2017 International Symposium on Power Electronics (Ee)* (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1109/PEE.2017.8171711>
- Scharmer, K., & Greif, J. (2000). *The European solar radiation atlas* (Vol. 1 & 2). Paris: Presses des MINES.
- Scognamiglio, A. (2016). ‘Photovoltaic landscapes’: Design and assessment. A critical review for a new transdisciplinary design vision. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 629–661. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.072>
- Şener, B., Süzen, M. L., & Doyuran, V. (2006). Landfill site selection by using geographic information systems. *Environmental geology*, 49(3), 376–388. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-0075-2>
- Shafiee, S., & Topal, E. (2009). When will fossil fuel reserves be diminished?. *Energy policy*, 37(1), 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.08.016>
- Skoplaki, E., & Palyvos, J. A. (2009). On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. *Solar energy*, 83(5), 614–624. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.008>
- Skoplaki, E., Boudouvis, A. G., & Palyvos, J. A. (2008). A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92(11), 1393–1402. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2008.05.016>
- Smets, A., Jäger, K., Isabella, O., van Swaaij, R., & Zeman, M. (2016). *Solar Energy: Fundamentals, Technology and Systems*. UIT Cambridge.
- Solaris Energy. (2011). Lokacija [Web stranica]. Preuzeto sa <http://www.solarisenergy.co.rs/lokacija/>
- SolarPower Europe. (2019). *Global Market Outlook 2019-2023*. Retrieved from <http://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/05/SolarPower-Europe-Global-Market-Outlook-2019-2023.pdf>
- Stameniċ, Lj. (2009). Koriscenje solarne fotonaponske energije u Srbiji. Washington: Jefferson Institute.
- Statistiċni urad Republike Slovenije. (n.d.). SiStat [Database]. <https://pxweb.stat.si/SiStat/>
- Stevanović, S., & Pucar, M. (2012). Financial measures Serbia should offer for solar water heating systems. *Energy and Buildings*, 54, 519–526. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.054>
- Stojkov, B. (1999). *Metode prostornog planiranja*. Beograd: Geografski fakultet.
- StonePower AB. (2004). *Cost effective electrical networks* [Web page]. Retrieved July 8, 2018, from <http://www.stonepower.se/Lowcostnetworks.htm>
- Suh, J., & Brownson, J. (2016). Solar farm suitability using geographic information system fuzzy sets and analytic hierarchy processes: Case study of ulleung island, Korea. *Energies*, 9(8), 648. <https://doi.org/10.3390/en9080648>
- Sun, Y. W., Hof, A., Wang, R., Liu, J., Lin, Y. J., & Yang, D. W. (2013). GIS-based approach for potential analysis of solar PV generation at the regional scale: A case study of Fujian Province. *Energy Policy*, 58, 248–259. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.03.002>
- Supriyasilp, T., Pongput, K., & Boonyasirikul, T. (2009). Hydropower development priority using MCDM method. *Energy Policy*, 37(5), 1866–1875. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.01.023>
- Sustainable Energy Handbook – Module 5.5 Grid Loss Reduction* (2016). Retrieved from: https://europa.eu/capacity4dev/sites/default/files/fiche_5.5_grid_loss.pdf
- Suuronen, A., Lensu, A., Kuitunen, M., Andrade-Alvear, R., Celis, N. G., Miranda, M., . . . & Kukkonen, J. V. (2017). Optimization of photovoltaic solar power plant locations in northern Chile. *Environmental Earth Sciences*, 76(24), 824. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7170-z>

- Szalai, S., Bihari, Z., Szentimrey, T., & Lakatos, M. (Eds.). (2007). *COST Action 719 —The Use of Geographic Information Systems in Climatology and Meteorology. Proceedings from the Conference on spatial interpolation in climatology and meteorology*. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Šljivac, D., Nakomčić-Smaragdakis, B., Vukobratović, M., Topić, D., & Čepić, Z. (2014). Cost-benefit comparison of on-grid photovoltaic systems in Pannonian parts of Croatia and Serbia. *Tehnički vjesnik*, *21*(5), 1149–1157. Retrieved from <https://hrcak.srce.hr/12913>
- Šuri, M., & Hofierka, J. (2004). A new GIS-based solar radiation model and its application to photovoltaic assessments. *Transactions in GIS*, *8*(2), 175–190. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2004.00174.x>
- Šuri, M., Huld, T. A., Dunlop, E. D., & Ossenbrink, H. A. (2007). Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. *Solar Energy*, *81*(10), 1295–1305. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.12.007>
- Taha, H. (2013). The potential for air-temperature impact from large-scale deployment of solar photovoltaic arrays in urban areas. *Solar Energy*, *91*, 358–367. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.09.014>
- Tahri, M., Hakdaoui, M., & Maanan, M. (2015). The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *51*, 1354–1362. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.054>
- Tanasijević Đ. M. (1970). *Pedološka karta SFRJ* [Listovi: Dobra 4; D. Milanovac 2; Kladovo 4]. Beograd: Institut za proučavanje zemljišta Topčider – Beograd.
- Tanjug. (2014, septembar 10). Prva solarna elektrana u Vojvodini [Web stranica]. Preuzeto sa <http://rs.n1info.com/Biznis/a928/Prva-solarna-elektrana-u-Vojvodini.html>
- Tasić, N. (2017). *Sinteza i procesiranje nanostrukturnog titan(IV)-oksida za primenu u solarnim ćelijama sa fotoosetljivom bojom* (Doktorska disertacija). Preuzeto sa <http://uvidok.rcub.bg.ac.rs/bitstream/handle/123456789/2036/Doktorat.pdf?sequence=1>
- TheSolarSpark. (2011, May 20). Dye-Sensitised Solar Cells: Animation (captions) [Video file]. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=3KRHJSOgzcw>
- Tomić, A., & Labović, D. (2012). Primena obnovljivih izvora energije u funkciji društveno-ekonomskog razvoja republike Srbije. *Socioeconomica—The Scientific Journal for Theory and Practice of Socioeconomic Development*, *1*(2), 223–234. Preuzeto sa <https://ssrn.com/abstract=2220442>
- Torres-Sibille, A. C., Cloquell-Ballester, V. A., Cloquell-Ballester, V. A., & Ramírez, M. Á. A. (2009). Aesthetic impact assessment of solar power plants: An objective and a subjective approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *13*(5), 986–999. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.03.012>
- Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., & Gekas, V. (2005). Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy*, *33*(3), 289–296. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00241-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00241-6)
- Turjačanin, V., & Čekrlija, Đ. (2006). *Osnovne statističke metode i tehnike u SPSS-u*. Banja Luka: Centar za kulturu i socijalni oporavak.
- Turney, D., & Fthenakis, V. (2011). Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(6), 3261–3270. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.023>
- U.S. Energy Information Administration. (2019). *Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2019*. Retrieved from https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf
- United Nations Development Programme. (n.d.). Panda Solar Stations - Youth Engagement and Innovation to Promote Sustainable Development [Web page]. Retrieved from http://www.cn.undp.org/content/china/en/home/ourwork/our_campaigns/panda-solar-stations--youth-engagement-and-innovation-to-promot.html

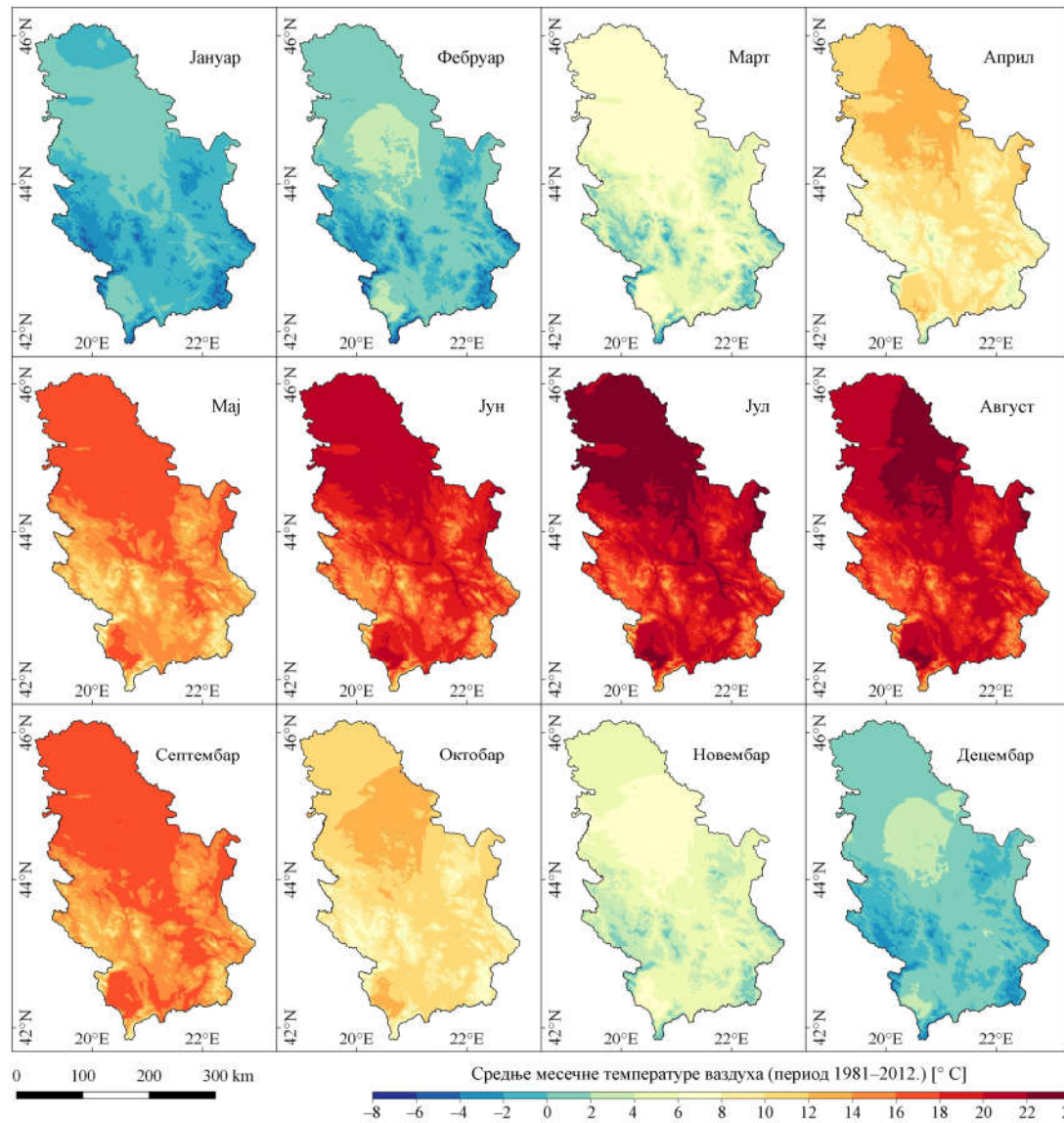
- United Nations. (2015). *Paris Agreement*. Retrieved from https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- Ustrnul, Z., & Czekierda, D. (2005). Application of GIS for the development of climatological air temperature maps: an example from Poland. *Meteorol. Appl.* 12, 43–50. <https://doi.org/10.1017/S1350482705001507>
- Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.042>
- Uyan, M. (2014). MSW landfill site selection by combining AHP with GIS for Konya, Turkey. *Environmental earth sciences*, 71(4), 1629–1639. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2567-9>
- Van den Besselaar, E. J., Haylock, M. R., Van der Schrier, G., & Klein Tank, A. M. G. (2011). A European daily high-resolution observational gridded data set of sea level pressure. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D11), 1–11. <https://doi.org/10.1029/2010JD015468>
- Vasilić, D. [Darko Vasilic]. (2014, Septembar 12). *Mini solarna elektrana – Čačak* [Video fajl]. Preuzeto sa <https://www.youtube.com/watch?v=PZNkCDItxHs>
- Vojnogeografski institut. (1972). *Topografska karta 1:25.000* [Listovi: Bor 2-1, Bor 2-2, Negotin 1-1, Oršava 4-1, Oršava 4-2, Oršava 4-3, Oršava 4-4, Kladovo 3-1, Kladovo 3-3, Kladovo 3-4, Kladovo 4-3]. Beograd: Vojnogeografski institut.
- Wang, G., Qin, L., Li, G., & Chen, L. (2009). Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: a case study in Beijing, China. *Journal of environmental management*, 90(8), 2414–2421 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.12.008>
- Watson, J. J., & Hudson, M. D. (2015). Regional Scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation. *Landscape and urban planning*, 138, 20–31. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.001>
- Wiginton, L. K., Nguyen, H. T., & Pearce, J. M. (2010). Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(4), 345–357. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2010.01.001>
- Wilson, J. P., & Gallant, J. C. (Eds.). (2000). *Terrain analysis: principles and applications*. New York: John Wiley and Sons.
- Wolfe, P. R. (2012). Chapter IIE-2—Solar Parks and Solar Farms. In A. McEvoy, T. Markvart, & L. Castaner (Eds.), *Practical Handbook of Photovoltaics* (2nd ed., pp. 943–962). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385934-1.00030-1>
- World Bank Group (2016). *Global Solar Atlas* [Database record]. Retrieved from <https://globalsolaratlas.info/>
- Xiao, J., Yao, Z., Qu, J., & Sun, J. (2013). Research on an optimal site selection model for desert photovoltaic power plants based on analytic hierarchy process and geographic information system. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5(2), 023132. <http://dx.doi.org/10.1063/1.4801451>
- Ying, X., Zeng, G.-M., Chen, G.-Q., Tang, L., Wang, K.-L., & Huang, D.-Y. (2007). Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality—A case study of Hunan Province, China. *Ecological modelling*, 209(2), 97–109. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.06.007>
- Yushchenko, A., de Bono, A., Chatenoux, B., Patel, M. K., & Ray, N. (2018). GIS-based assessment of photovoltaic (PV) and concentrated solar power (CSP) generation potential in West Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(2), 2088–2103. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.021>
- Zakšek, K., Oštir, K., & Kokalj, Ž. (2011). Sky-view factor as a relief visualization technique. *Remote sensing*, 3(2), 398–415. <https://doi.org/10.3390/rs3020398>
- Zavod za zaštitu prirode Srbije. (n.d.). *GIS ZZPS*. Preuzeto sa: <https://cloud.gdi.net/visios/zzps>
- Zhang, S., & He, Y. (2013). Analysis on the development and policy of solar PV power in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 393–401. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.002>

- Zoghi, M., Ehsani, A. H., Sadat, M., javad Amiri, M., & 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, 986–996. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.014>
- Zoltan, Č. (2017). *Fotonaponsko pretvaranje solarne energije i fotonaponske elektrane*. Novi Sad: Fakultet tehničkih nauka.
- Zorić, J., & Hrovatin, N. (2012). Household willingness to pay for green electricity in Slovenia. *Energy Policy*, 47, 180–187. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.055>
- Zrnić & Čuluma. (1988). *Grejanje i klimatizacija sa primenom solarne energije*. Beograd: Naučna knjiga.

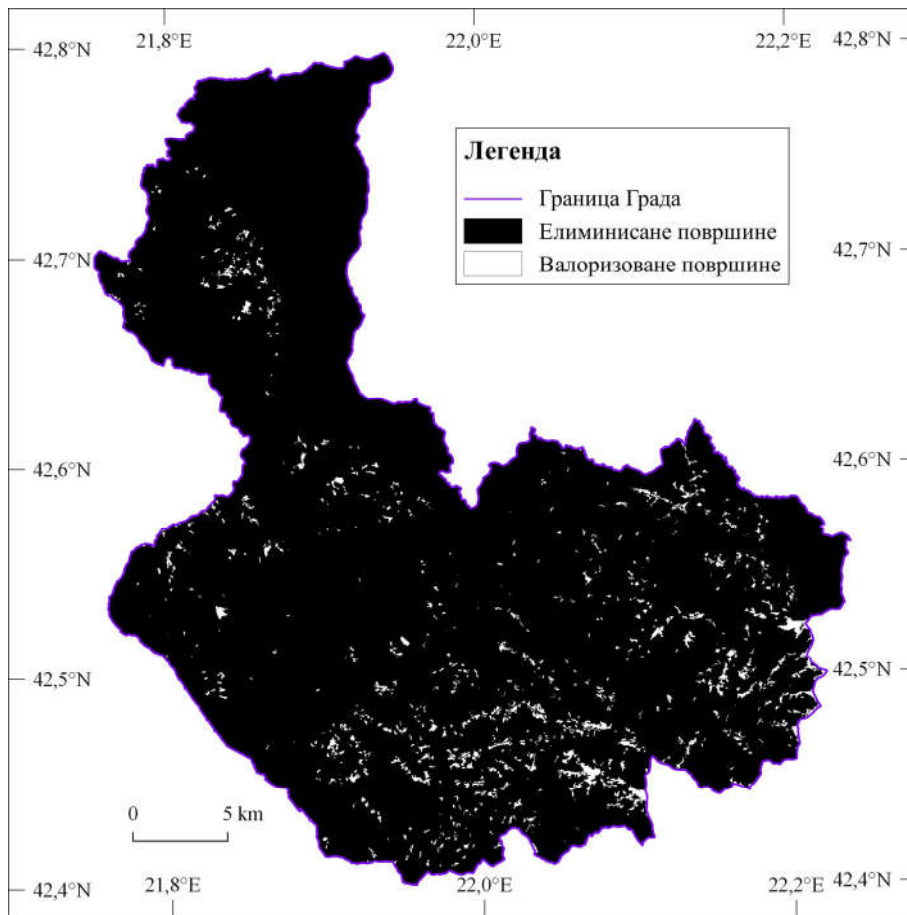
ПРИЛОГ А



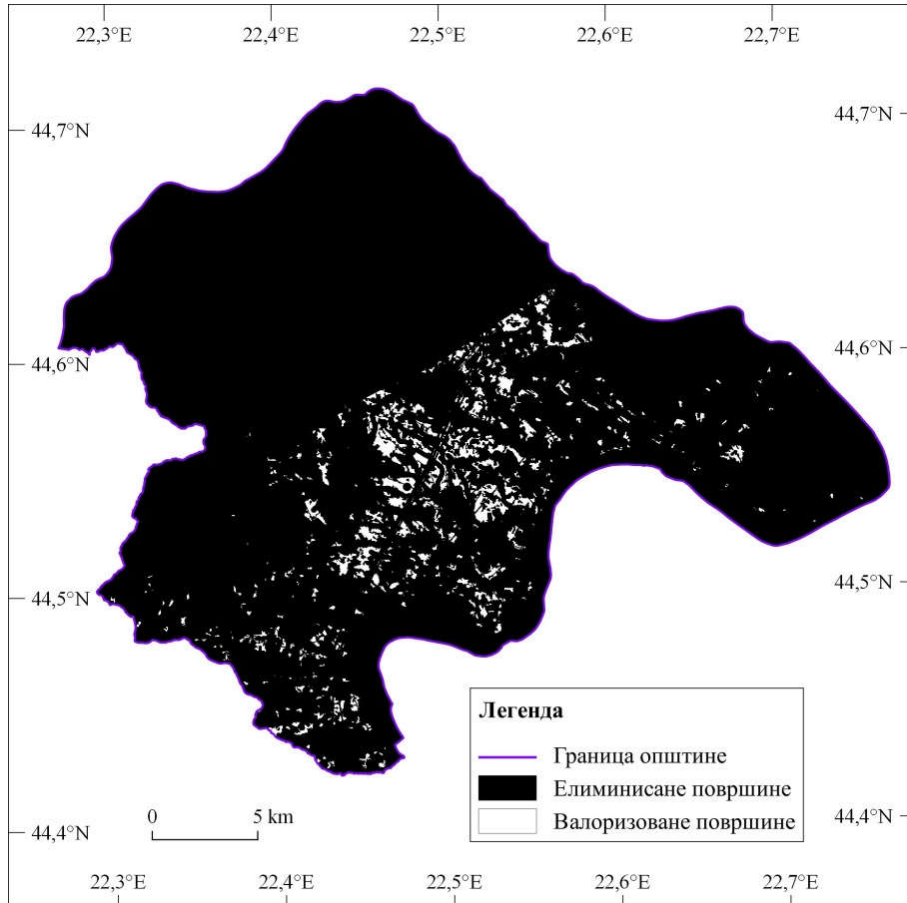
Слика А1. Средње годишње температуре ваздуха (°C) у Србији (период 1961–2010.)



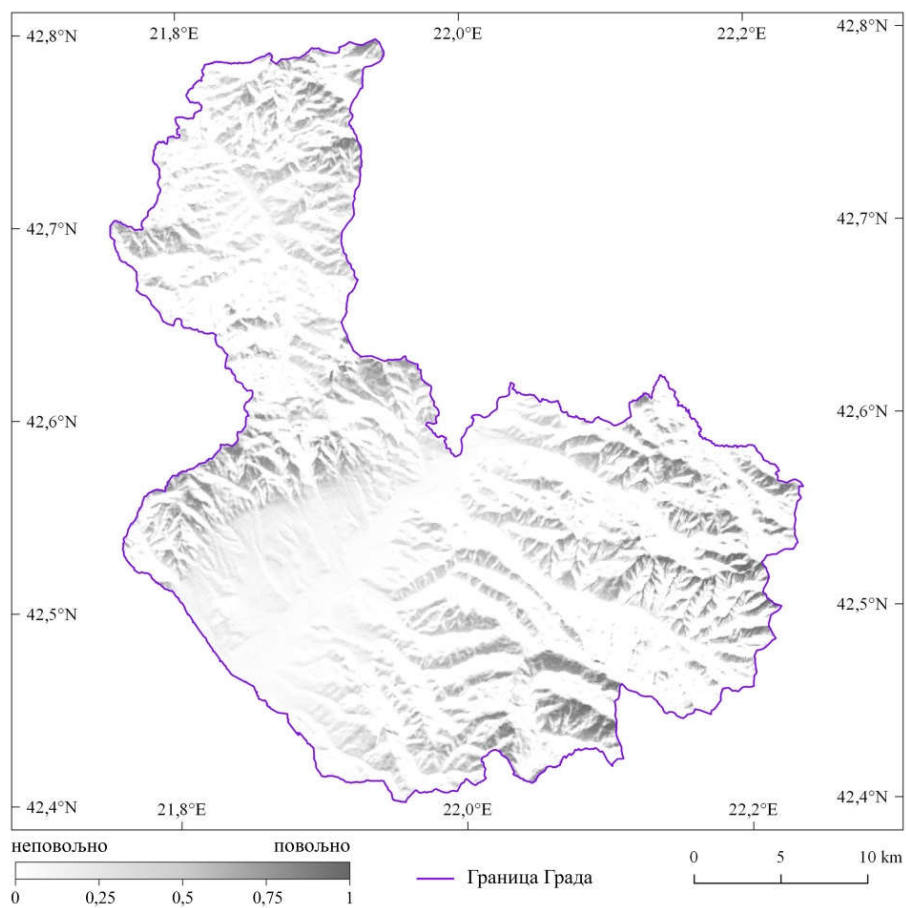
Слика А2. Средње месечне температуре ваздуха (°C) у Србији (период 1981–2012.)



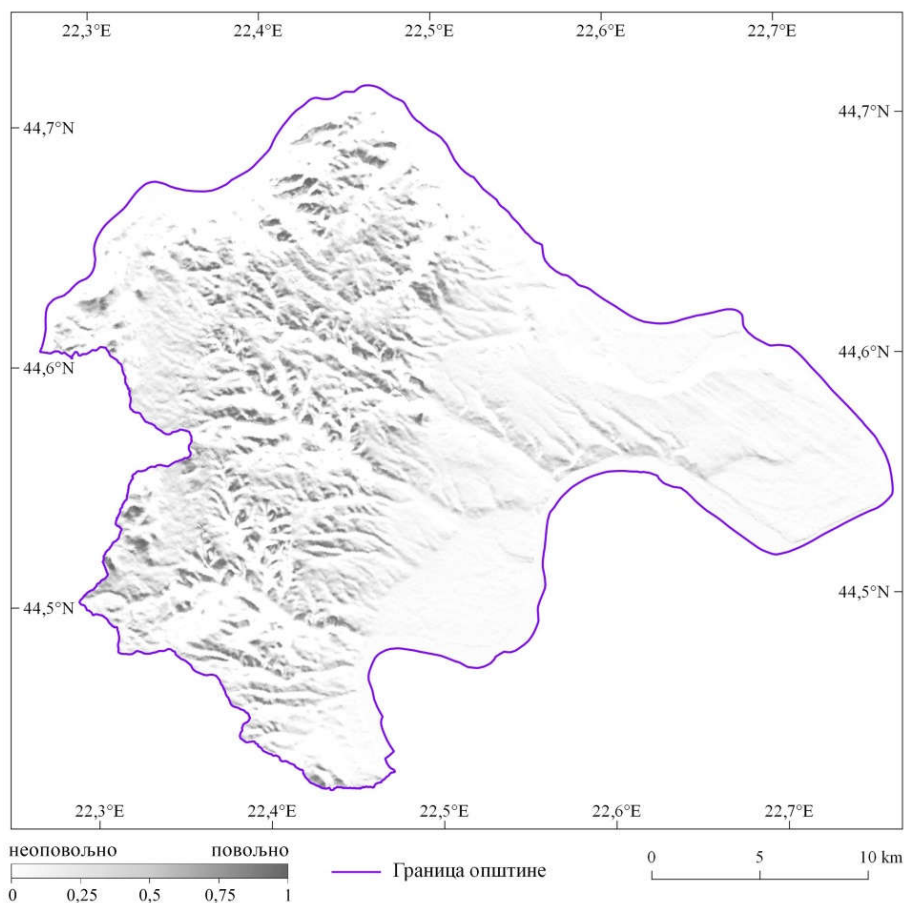
Слика А3. Елиминисане и валоризоване површине на територији Града Врања



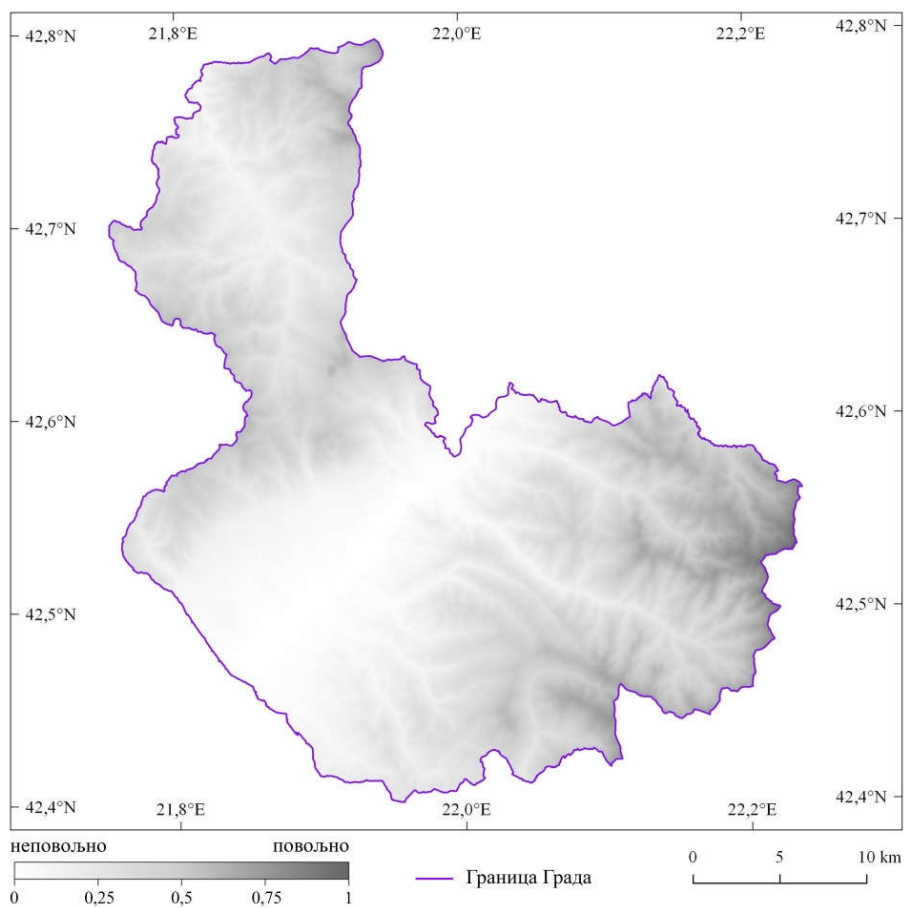
Слика А4. Елиминисане и валоризоване површине на територији општине Кладово



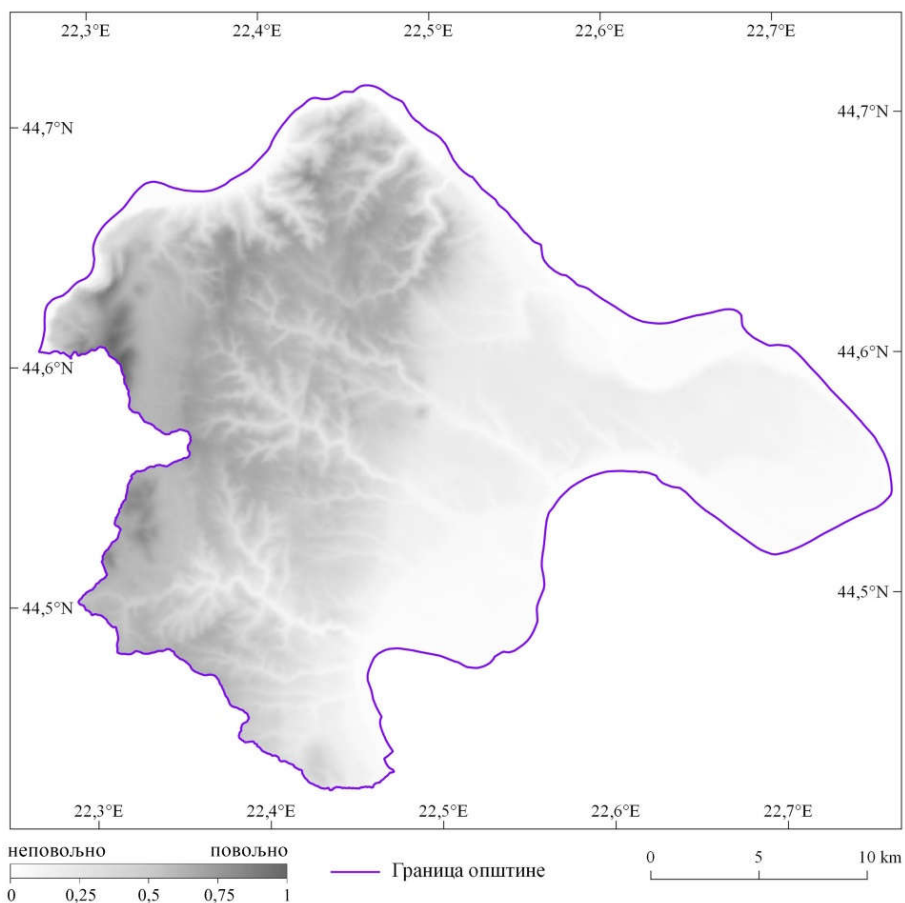
Слика А5. Нормализоване вредности ирадијације на територији Града Врања.



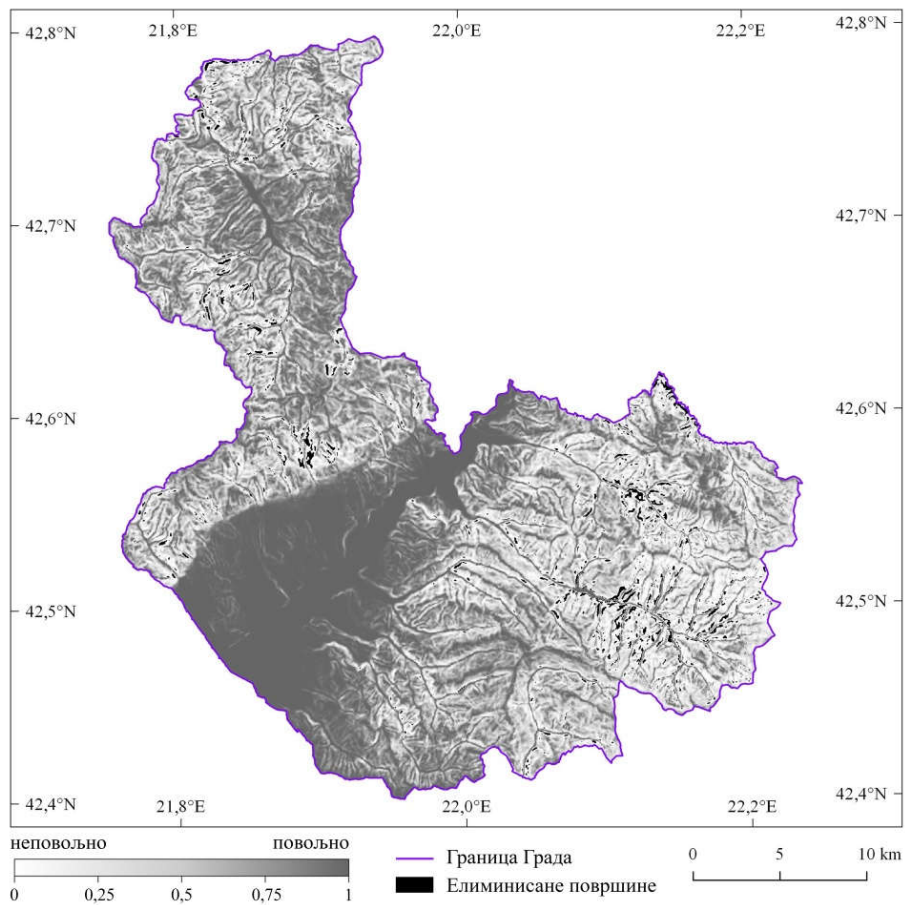
Слика А6. Нормализоване вредности ирадијације на територији општине Кладово.



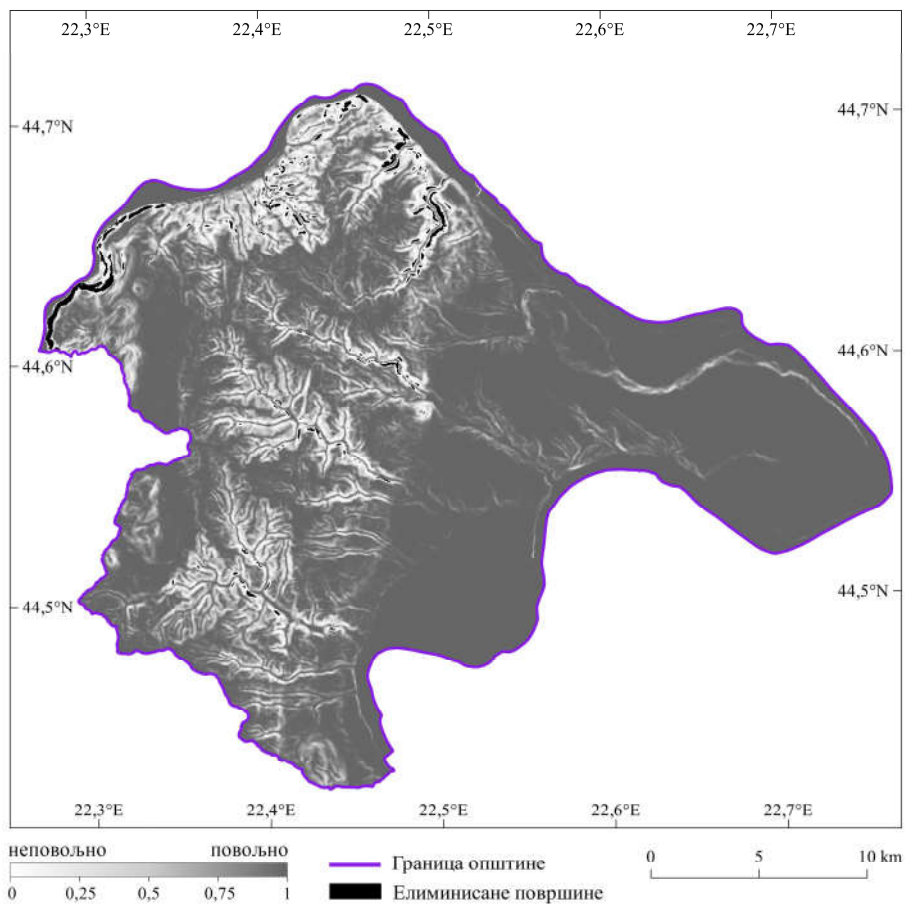
Слика А7. Нормализоване вредности температуре ваздуха на територији Града Врања



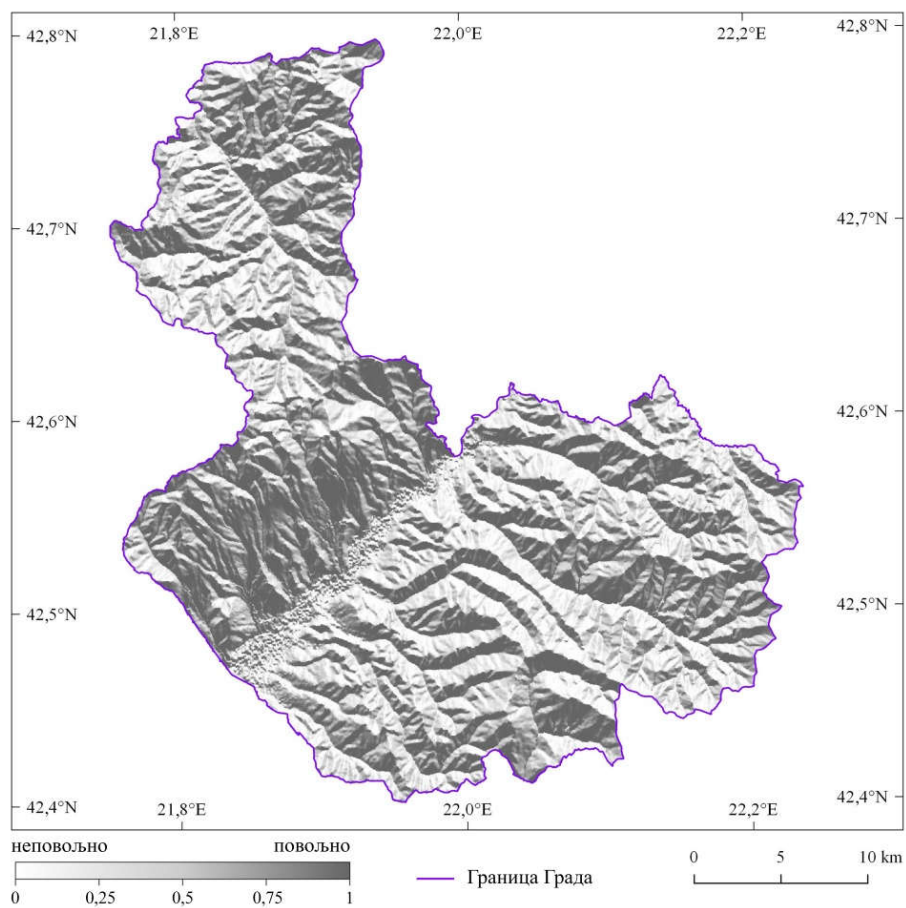
Слика А8. Нормализоване вредности температуре ваздуха на територији општине Кладово.



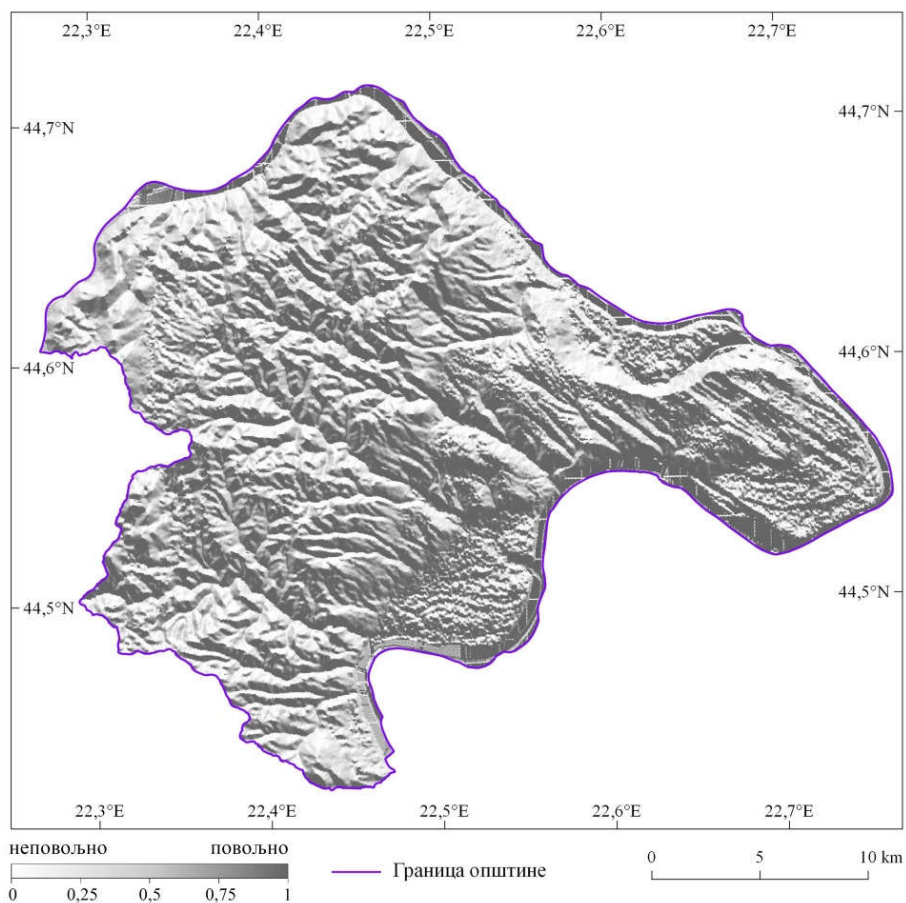
Слика А9. Нормализоване вредности нагиба терена на територији Града Врања



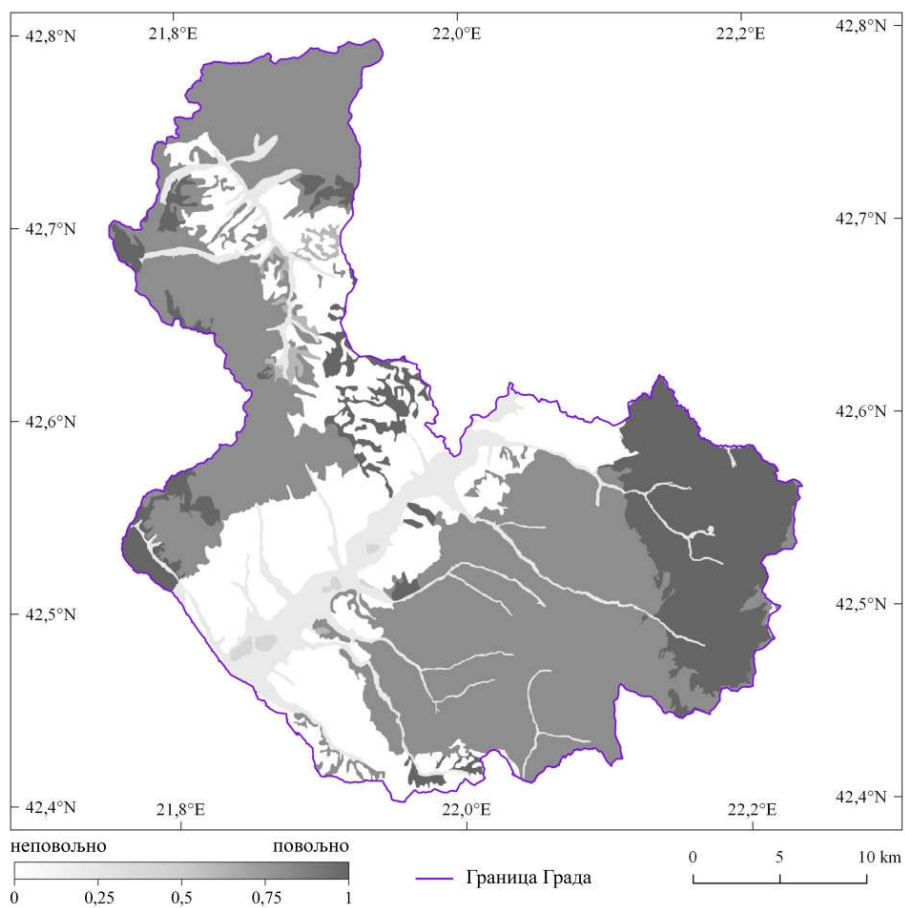
Слика А10. Нормализоване вредности нагиба терена на територији општине Кладово.



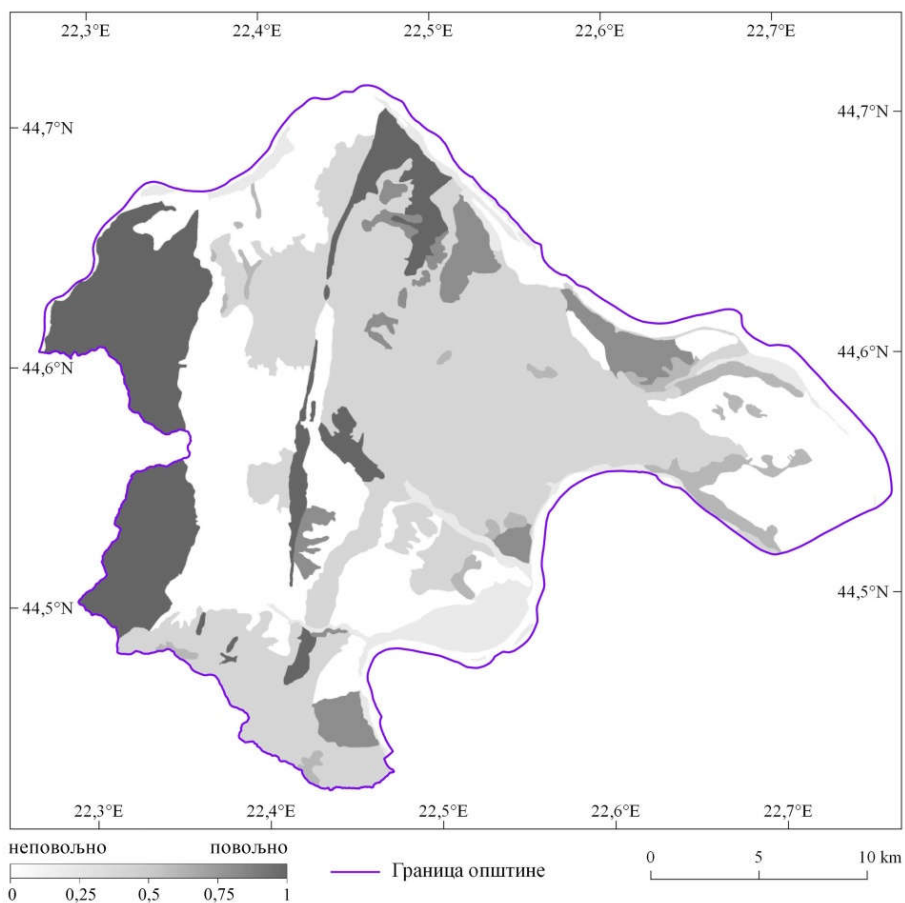
Слика А11. Нормализоване вредности експозиција терена на територији Града Врања



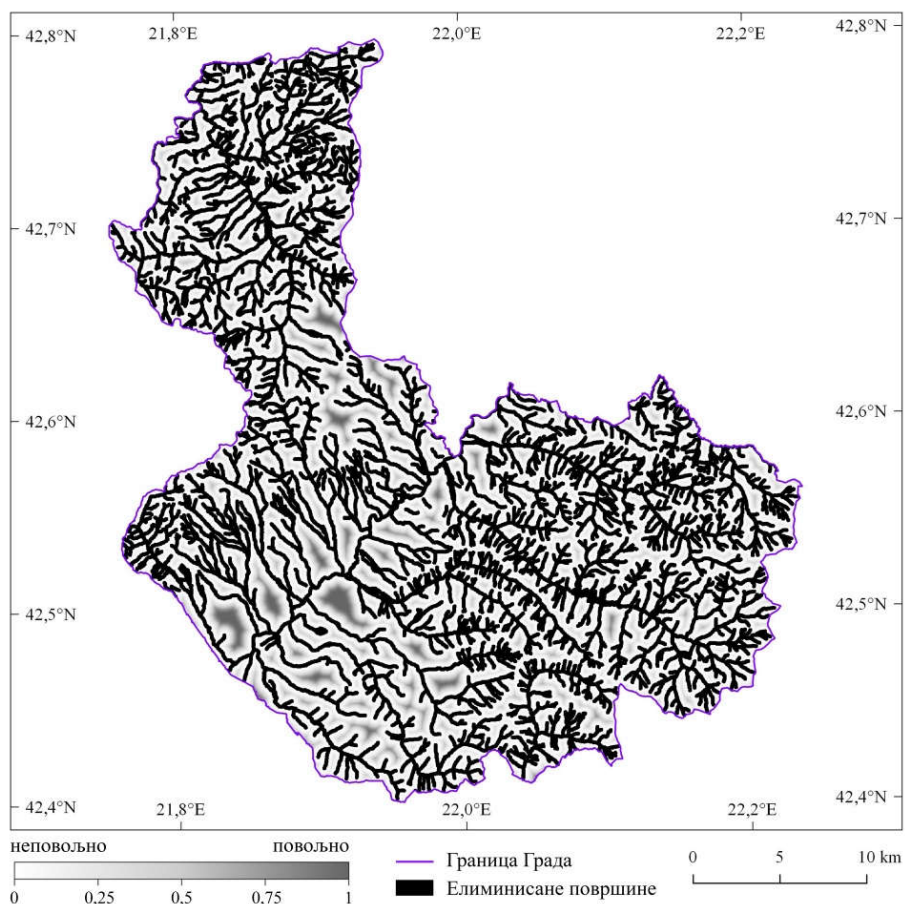
Слика А12. Нормализоване вредности експозиција терена на територији општине Кладово



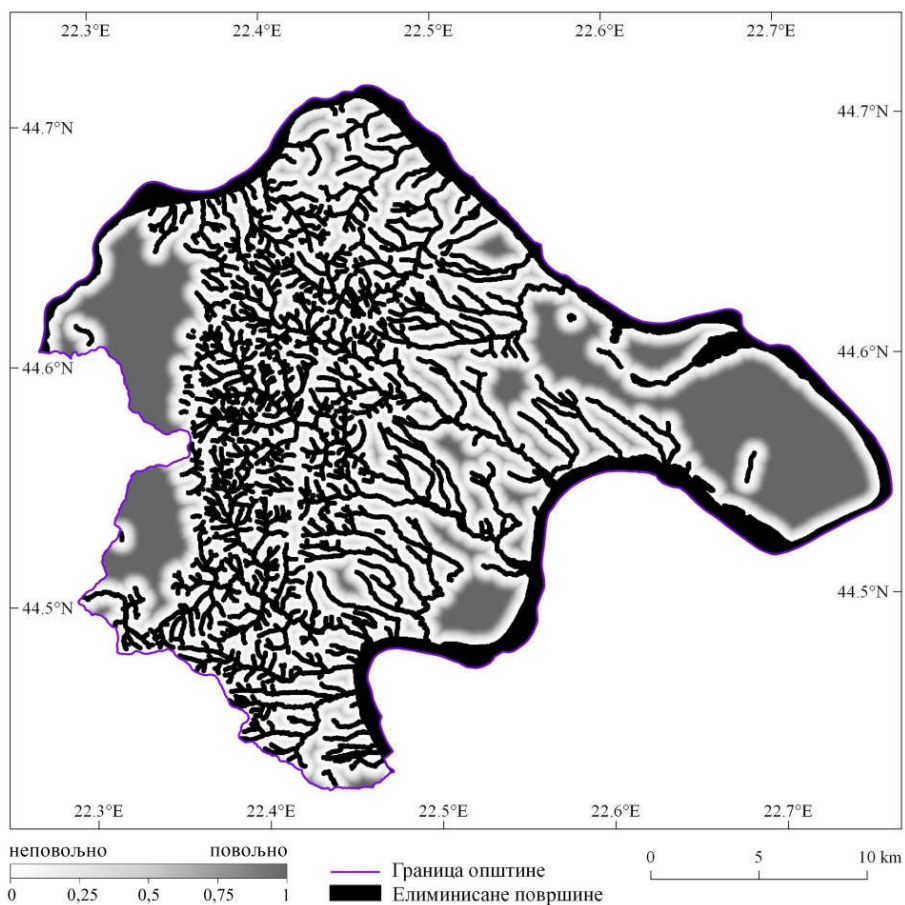
Слика А13. Нормализоване вредности педолошког састава на територији Града Врања



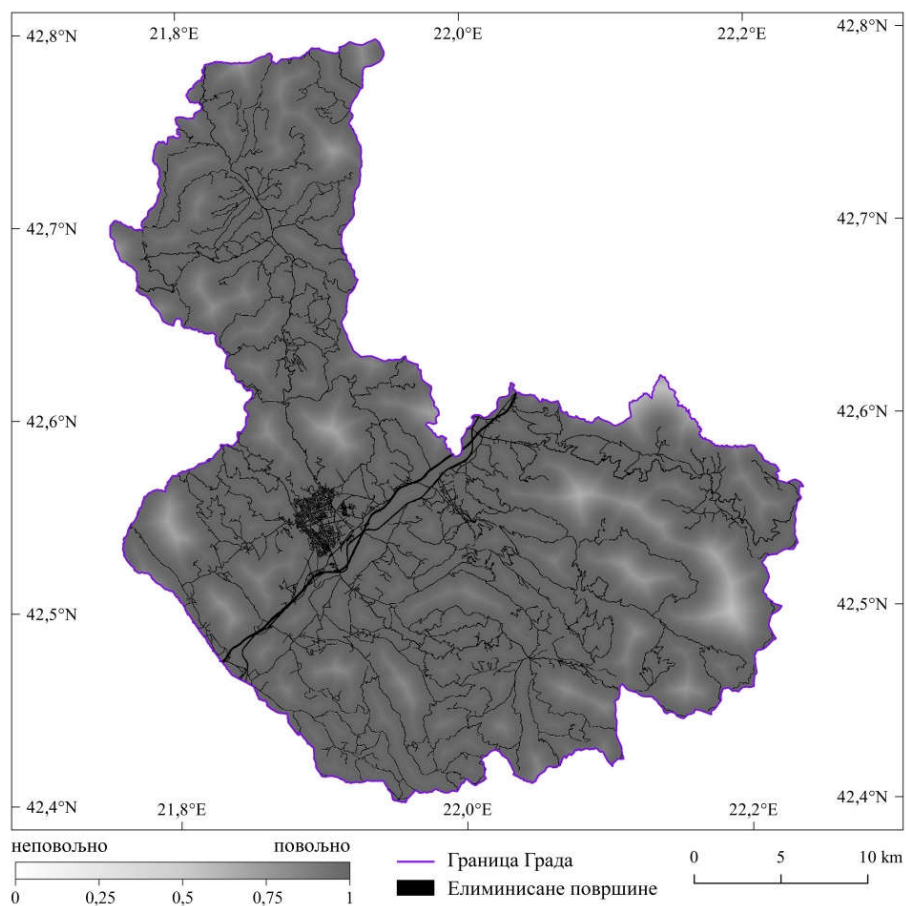
Слика А14. Нормализоване вредности педолошког састава на територији општине Кладово



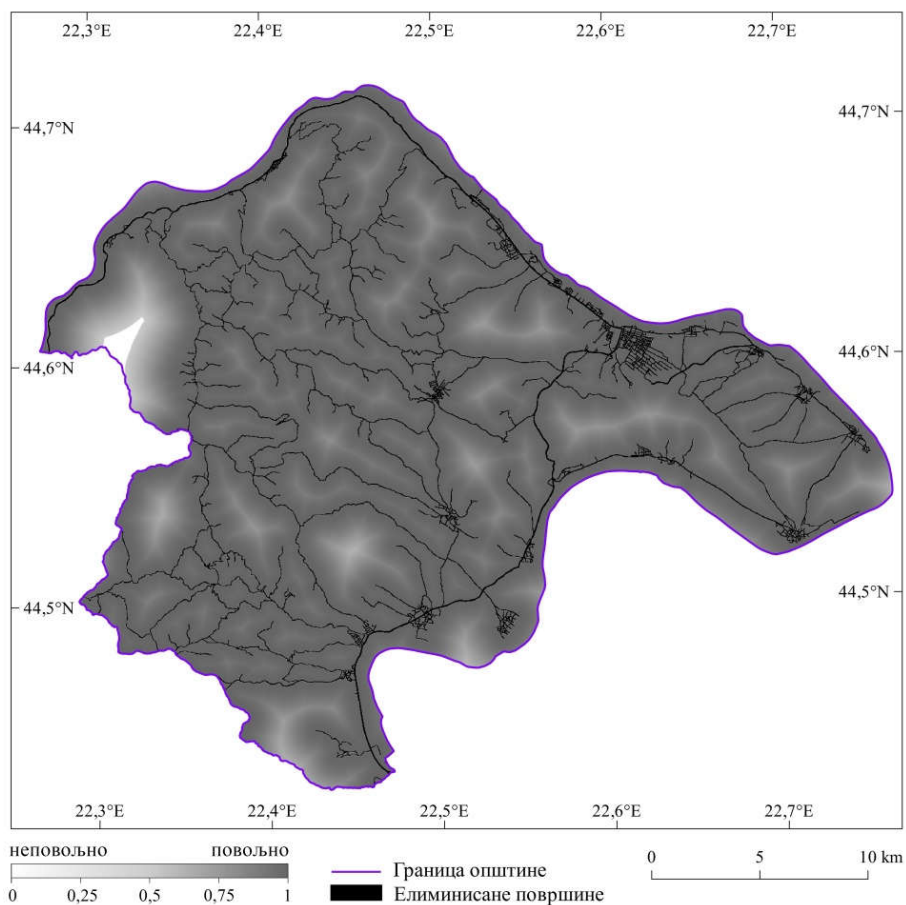
Слика А15. Нормализоване вредности удаљености од површинских вода на територији Града Врања



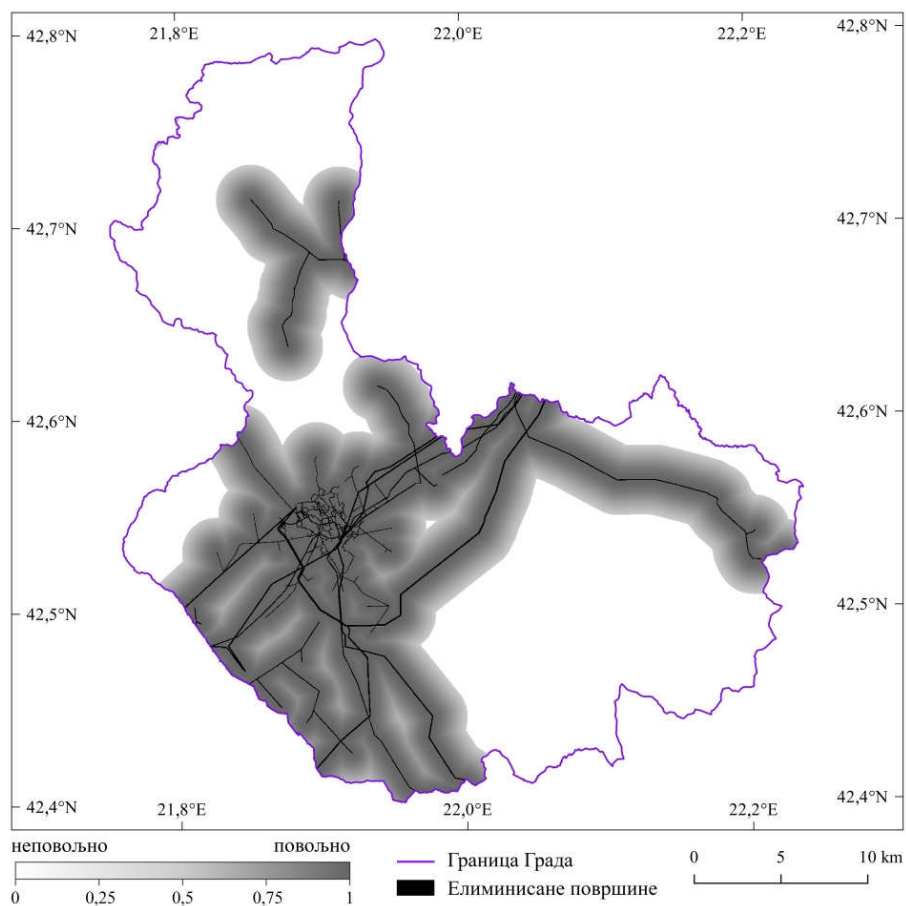
Слика А16. Нормализоване вредности удаљености од површинских вода на територији општине Кладово



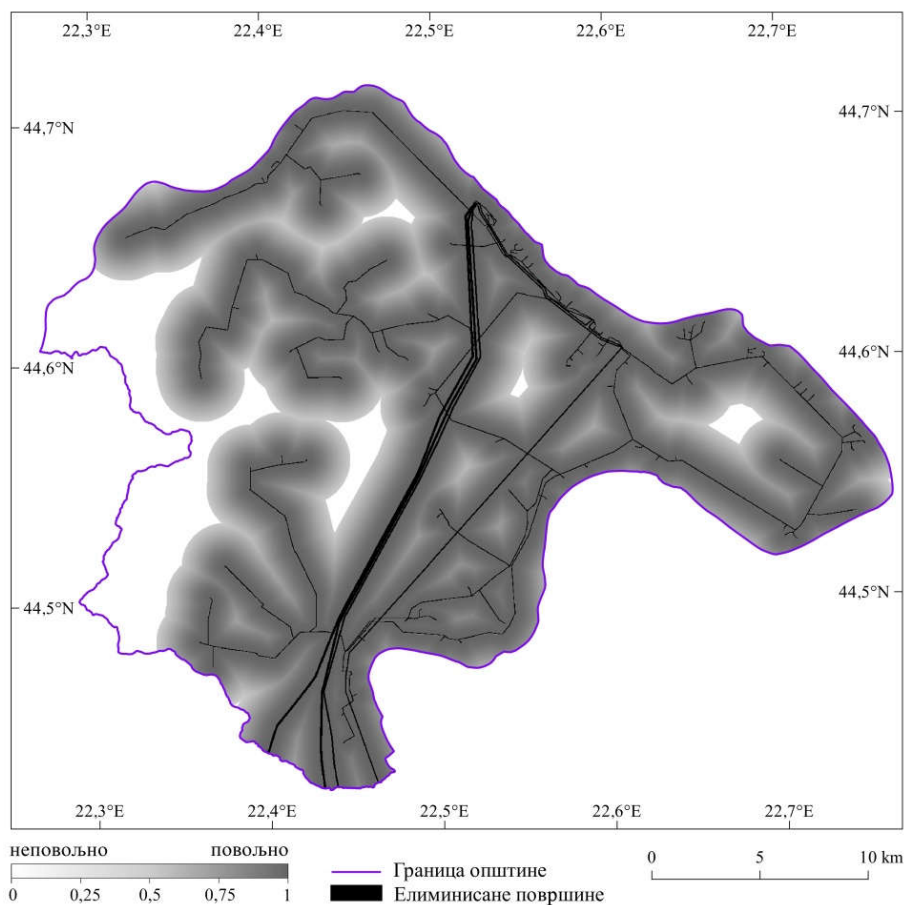
Слика А17. Нормализоване вредности близине путне и железничке инфраструктуре на територији Града Врања



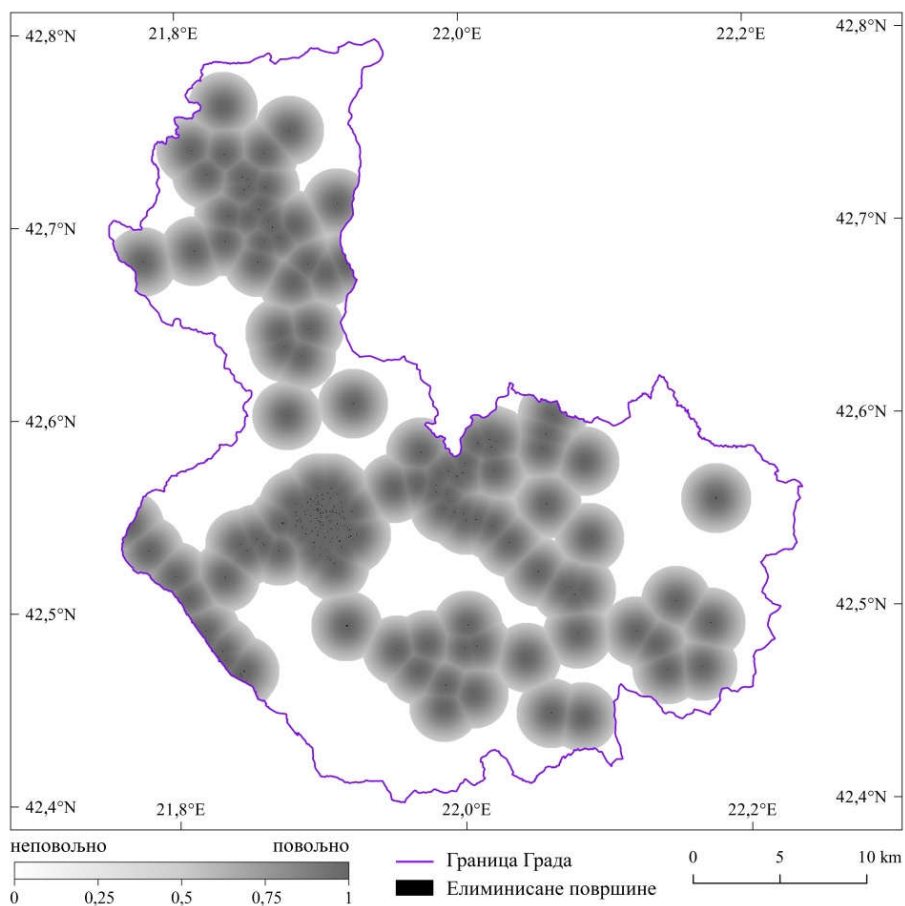
Слика А18. Нормализоване вредности близине путне и железничке инфраструктуре на територији општине Кладово



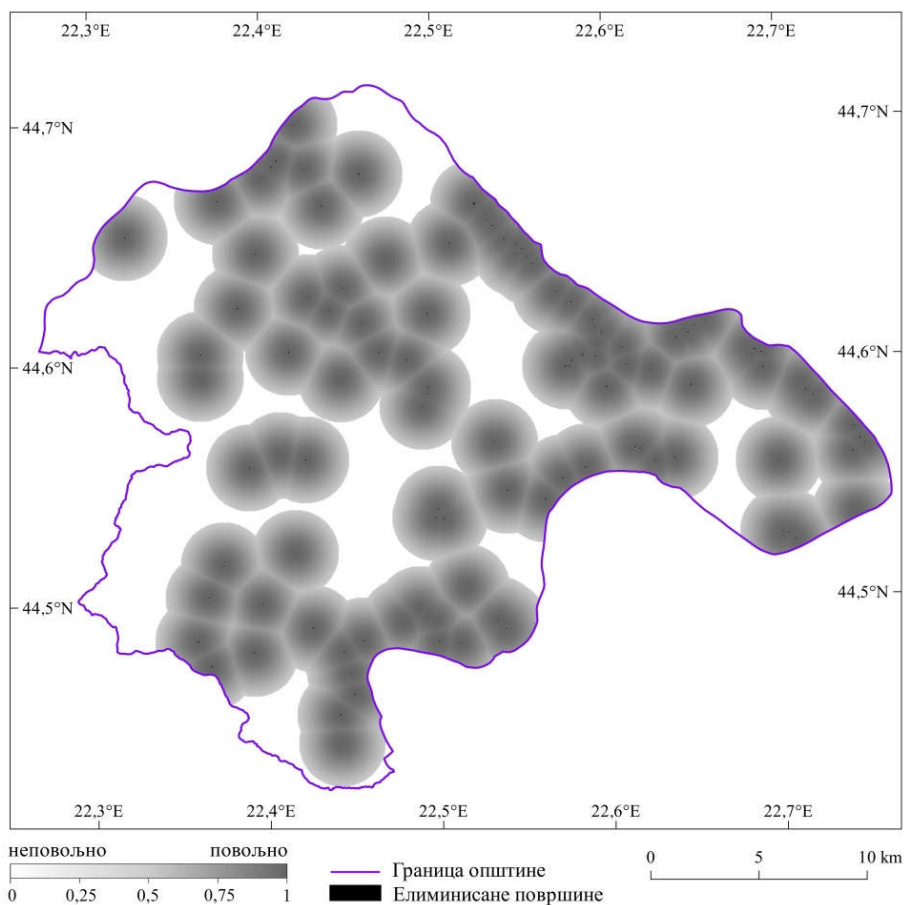
Слика А19. Нормализоване вредности близине електроенергетских водова на територији Града Врања



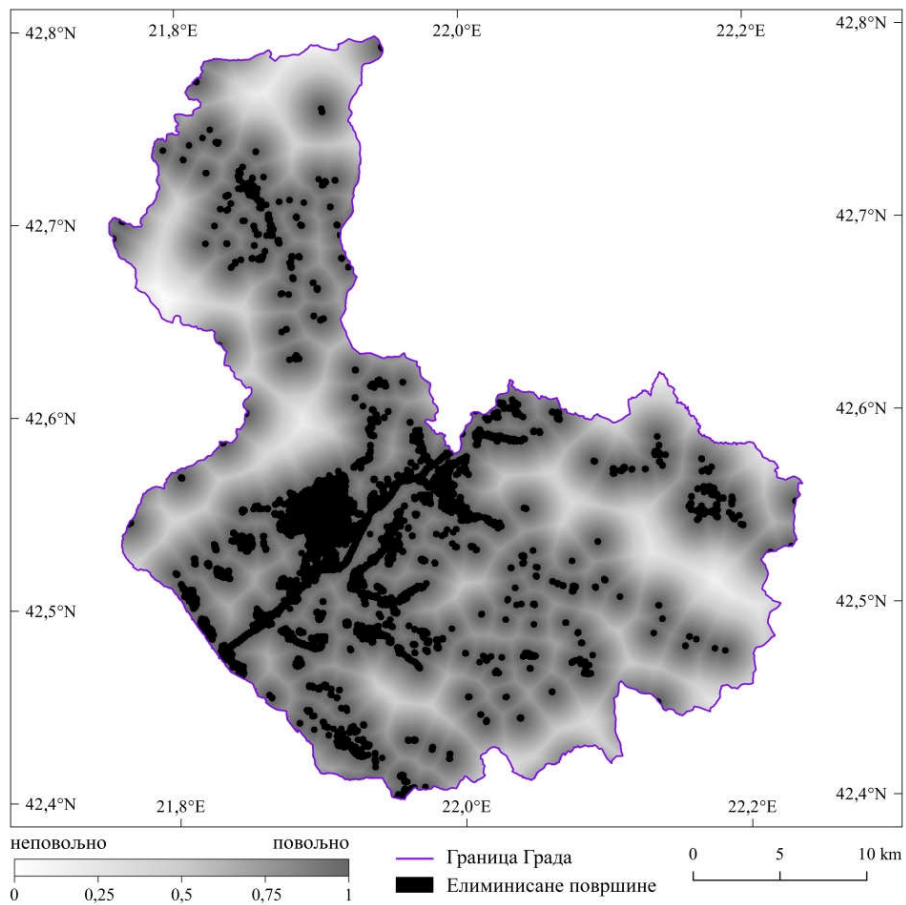
Слика А20. Нормализоване вредности близине електроенергетских водова на територији општине Кладово



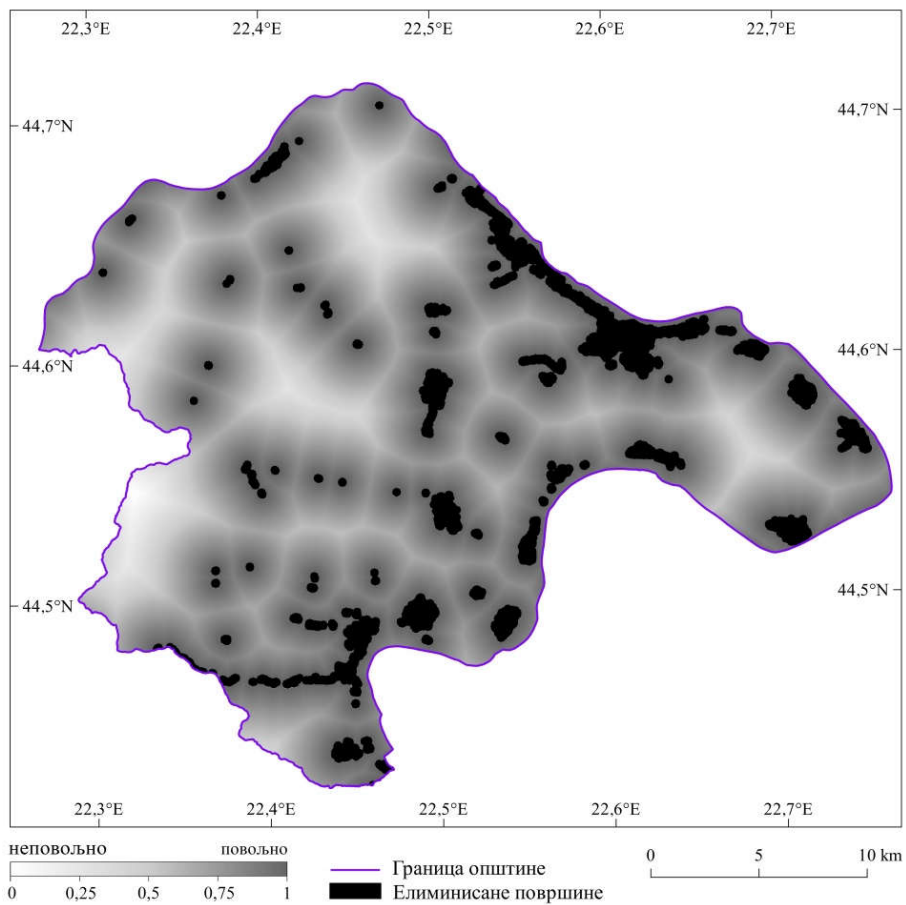
Слика А21. Нормализоване вредности близине трансформаторских станица на територији Града Врања



Слика А22. Нормализоване вредности близине трансформаторских станица на територији Града Врања



Слика А23. Нормализоване вредности близине места потрошње на територији Града Врања



Слика А24. Нормализоване вредности близине места потрошње на територији Града Врања



Слика А25. Заступљеност одговора на скали слагања испитаника у погледу појединих исказа везаних за утицаје фотонапонских електрана на животну средину.

ПРИЛОГ Б

Табела Б1. Компарација добијених резултата на две локације са другим базама података о ирадијацији на месечном нивоу.

Месец	Моделоване вредности		PVGIS ^a								AGATE ^b		Meteonorm ^c		HelioClim-1 ^{*k}	
			CMSAF ^b		SARAH ^b		ERA5 ^r		COSMO ^d		Л1	Л2	Л1	Л2	Л1	Л2
	Л1	Л2	Л1	Л2	Л1	Л2	Л1	Л2	Л1	Л2						
Јан	39,0	33,7	44,1	39,3	44,6	39,7	52,5	45,3	46,4	41,6	47,0	40,0	49,0	44,0	50,8	42,4
Феб	56,6	50,7	65,8	53,7	62,9	51,1	68,3	61,1	65,6	59,0	62,0	53,0	62,0	56,0	67,8	62,8
Мар	105,9	95,7	108,7	108,2	101,4	101,3	114,9	109,7	105,2	101,0	103,0	100,0	105,0	101,0	110,3	107,6
Апр	145,7	137,6	149,0	152,6	139,5	144,6	149,3	149,1	139,2	137,1	140,0	145,0	141,0	142,0	128,0	126,3
Мај	190,2	178,5	178,9	185,1	174,2	182,6	174,3	175,9	162,8	166,6	189,0	190,0	172,0	180,0	161,2	164,7
Јун	206,2	201,0	203,9	200,8	199,6	197,8	194,1	187,9	177,4	179,3	207,0	203,0	187,0	194,0	190,1	180,5
Јул	220,7	209,8	224,9	214,1	217,8	210,3	203,3	198,1	190,7	187,1	218,0	210,0	204,0	211,0	186,6	178,9
Авг	195,5	182,7	201,9	187,3	192,0	181,2	184,9	175,9	167,5	159,8	191,0	177,0	178,0	171,0	185,0	167,7
Сеп	136,9	123,9	134,1	128,1	131,8	125,6	130,7	123,0	114,3	108,3	130,0	125,0	132,0	130,0	136,3	119,6
Окт	88,0	76,5	91,6	76,2	91,2	77,4	85,8	72,9	79,5	71,4	91,0	77,0	92,0	85,0	98,1	86,3
Нов	45,9	39,4	55,7	43,3	57,3	44,3	59,1	48,4	49,9	42,4	55,0	43,0	53,0	48,0	56,7	49,6
Дец	32,7	28,4	41,3	36,8	40,5	37,0	47,5	41,8	37,6	33,9	41,0	36,0	38,0	39,0	42,3	36,2
Год	1.463,3	1.357,9	1.499,9	1.425,5	1.452,8	1.392,8	1.464,7	1.389,1	1.336,1	1.287,5	1.474,0	1.399,0	1.413,0	1.401,0	1.413,2	1.322,6

Напомена. Вредности у табели изражене су у kWh/m². Л1 = метеоролошка станица Врање (42,55°N, 21,917°E); Л2 = соларна електрана „Соларис 1” (44,553°N, 22,543°E).

^aПреузето од „Photovoltaic Geographical Information System”, European Communities, 2001-2016, (http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR). ^bПросечне месечне вредности ирадијације за период 2007–2016, просторне резолуције 0,025° × 0,025°, преузете из базе податка Climate Monitoring Satellite Application Facility (CM SAF). ^cПросечне месечне вредности ирадијације за период 2005–2016, просторне резолуције 0,05° × 0,05°, преузете из базе податка Surface Solar Radiation Data Set - Heliosat (SARAH). ^rПросечне месечне вредности ирадијације за период 2010–2016, просторне резолуције 30 km × 30 km, преузете из базе податка ECMWF ReAnalysis 5 (ERA5). ^dПросечне месечне вредности ирадијације за период 2005–2015, просторне резолуције 0,05° × 0,05°, преузете из базе податка Consortium for Small-scale Modeling (COSMO). ^eПросечне месечне вредности ирадијације за период 2005–2017, просторне резолуције 0,2° × 0,2°, преузете из базе податка ARMINES / MINES ParisTech / TRANSVALOR / ECMWF - COPERNICUS Atmosphere Monitoring Service – Monthly and yearly average Global Horizontal Irradiation maps from CAMS Radiation Service over Europe – "AGATE" volume – April 2018 (<http://www.soda-pro.com/help/cams-services/cams-radiation-service/download-europe-volume>). ^fПросечне месечне вредности ирадијације за период 1991–2010, добијене помоћу софтвера Meteonorm (Version 7.3.1). ^{*k}Просечне месечне вредности ирадијације за период 1985–2005, просторне резолуције 0,25° × 0,25°, преузете из базе података HelioClim-1 (<http://www.soda-pro.com/web-services/radiation/helioclim-1>).

Табела Б2. Апсолутно и процентуално учешће одговора према квалификацији испитаника на питање: У којој мери наведени разлози, утичу на развој обновљивих извора енергије?

Разлози	Скала	Квалификовани испитаници						Укупно	
		Да			Не			Учесталост	% испитаника
		Учесталост	% у оквиру разлога	% у групи	Учесталост	% у оквиру разлога	% у групи		
Борба против климатских промена	Нимало	4	36,4	1,4	7	63,6	2,6	11	1,9
	Мало	14	38,9	4,7	22	61,1	8,1	36	6,4
	Умерено	37	51,4	12,5	35	48,6	12,9	72	12,7
	Довољно	75	49,7	25,4	76	50,3	28,0	151	26,7
	Много	165	55,7	55,9	131	44,3	48,3	296	52,3
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0
Очување животне средине	Нимало	3	42,9	1,0	4	57,1	1,5	7	1,2
	Мало	2	18,2	0,7	9	81,8	3,3	11	1,9
	Умерено	36	61,0	12,2	23	39,0	8,5	59	10,4
	Довољно	49	48,0	16,6	53	52,0	19,6	102	18,0
	Много	205	53,0	69,5	182	47,0	67,2	387	68,4
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0
Регулатива	Нимало	3	30,0	1,0	7	70,0	2,6	10	1,8
	Мало	14	35,0	4,7	26	65,0	9,6	40	7,1
	Умерено	53	44,2	18,0	67	55,8	24,7	120	21,2
	Довољно	95	56,5	32,2	73	43,5	26,9	168	29,7
	Много	130	57,0	44,1	98	43,0	36,2	228	40,3
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0
Исцрпљивање необновљивих извора	Нимало	3	30,0	1,0	7	70,0	2,6	10	1,8
	Мало	13	54,2	4,4	11	45,8	4,1	24	4,2
	Умерено	50	59,5	16,9	34	40,5	12,5	84	14,8
	Довољно	71	52,2	24,1	65	47,8	24,0	136	24,0
	Много	158	50,6	53,6	154	49,4	56,8	312	55,1
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0
Нова радна места	Нимало	11	30,6	3,7	25	69,4	9,2	36	6,4
	Мало	42	44,7	14,2	52	55,3	19,2	94	16,6
	Умерено	96	54,9	32,5	79	45,1	29,2	175	30,9
	Довољно	84	55,6	28,5	67	44,4	24,7	151	26,7
	Много	62	56,4	21,0	48	43,6	17,7	110	19,4
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0

Табела Б2. Наставак

Разлози	Скала	Квалификовани испитаници						Укупно	
		Да			Не			Учесталост	% испитаника
		Учесталост	% у оквиру разлога	% у групи	Учесталост	% у оквиру разлога	% у групи		
Друштвени притисци	Нимало	14	40,0	4,7	21	60,0	7,7	35	6,2
	Мало	55	62,5	18,6	33	37,5	12,2	88	15,5
	Умерено	94	50,5	31,9	92	49,5	33,9	186	32,9
	Довољно	87	53,4	29,5	76	46,6	28,0	163	28,8
	Много	45	47,9	15,3	49	52,1	18,1	94	16,6
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0
Финансијски разлози	Нимало	9	47,4	3,1	10	52,6	3,7	19	3,4
	Мало	25	49,0	8,5	26	51,0	9,6	51	9,0
	Умерено	56	46,3	19,0	65	53,7	24,0	121	21,4
	Довољно	85	54,1	28,8	72	45,9	26,6	157	27,7
	Много	120	55,0	40,7	98	45,0	36,2	218	38,5
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0

Табела Б3. Апсолутно и процентуално учешће одговора према квалификацији испитаника на питање: У којој мери наведени обновљиви извори енергије, према вашем мишљењу, имају потенцијал за коришћење на територији Републике Србије?

Врсте обновљивих извора енергије (ОИЕ)	Скала	Квалификовани испитаници						Укупно	
		Да			Не			Учесталост	% испитаника
		Учесталост	% у оквиру врсте ОИЕ	% у групи	Учесталост	% у оквиру врсте ОИЕ	% у групи		
Соларна енергија	Нимало	2	40,0	0,7	3	60,0	1,1	5	0,9
	Мало	12	41,4	4,1	17	58,6	6,3	29	5,1
	Умерено	71	59,7	24,1	48	40,3	17,7	119	21,0
	Довољно	126	50,0	42,7	126	50,0	46,5	252	44,5
	Много	84	52,2	28,5	77	47,8	28,4	161	28,4
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0
Енергија ветра	Нимало	4	50,0	1,4	4	50,0	1,5	8	1,4
	Мало	22	66,7	7,5	11	33,3	4,1	33	5,8
	Умерено	85	55,2	28,8	69	44,8	25,5	154	27,2
	Довољно	117	52,0	39,7	108	48,0	39,9	225	39,8
	Много	67	45,9	22,7	79	54,1	29,2	146	25,8
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0

Табела Б3. Наставак

Врсте обновљивих извора енергије (ОИЕ)	Скала	Квалификовани испитаници						Укупно	
		Да			Не			Учесталост	% испитаника
		Учесталост	% у оквиру врсте ОИЕ	% у групи	Учесталост	% у оквиру врсте ОИЕ	% у групи		
Енергија из малих хидроелектрана	Нимало	4	40,0	1,4	6	60,0	2,2	10	1,8
	Мало	15	48,4	5,1	16	51,6	5,9	31	5,5
	Умерено	88	59,5	29,8	60	40,5	22,1	148	26,1
	Довољно	117	52,2	39,7	107	47,8	39,5	224	39,6
	Много	71	46,4	24,1	82	53,6	30,3	153	27,0
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0
Геотермална енергија	Нимало	8	53,3	2,7	7	46,7	2,6	15	2,7
	Мало	31	55,4	10,5	25	44,6	9,2	56	9,9
	Умерено	71	43,3	24,1	93	56,7	34,3	164	29,0
	Довољно	112	55,4	38,0	90	44,6	33,2	202	35,7
	Много	73	56,6	24,7	56	43,4	20,7	129	22,8
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0
Енергија из биомасе	Нимало	2	33,3	0,7	4	66,7	1,5	6	1,1
	Мало	7	23,3	2,4	23	76,7	8,5	30	5,3
	Умерено	63	43,8	21,4	81	56,3	29,9	144	25,4
	Довољно	114	56,2	38,6	89	43,8	32,8	203	35,9
	Много	109	59,6	36,9	74	40,4	27,3	183	32,3
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0
Енергија из отпада	Нимало	1	10,0	0,3	9	90,0	3,3	10	1,8
	Мало	18	56,3	6,1	14	43,8	5,2	32	5,7
	Умерено	43	51,2	14,6	41	48,8	15,1	84	14,8
	Довољно	102	57,0	34,6	77	43,0	28,4	179	31,6
	Много	131	50,2	44,4	130	49,8	48,0	261	46,1
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0

Табела Б4. Апсолутно и процентуално учешће одговора према квалификацији испитаника и изворима информисаности

Извор информисаности	Скала	Квалификовани испитаници						Укупно	
		Да			Не			Учесталост	% испитаника
		Учесталост	% у оквиру извора инф,	% у групи	Учесталост	% у оквиру извора инф,	% у групи		
Породица, пријатељи и колеге	Нимало	31	47,7	10,5	34	52,3	12,5	65	11,5
	Мало	94	53,1	31,9	83	46,9	30,6	177	31,3
	Умерено	96	56,8	32,5	73	43,2	26,9	169	29,9
	Довољно	49	44,5	16,6	61	55,5	22,5	110	19,4
	Много	25	55,6	8,5	20	44,4	7,4	45	8,0
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0
Образовне установе	Нимало	17	41,5	5,8	24	58,5	8,9	41	7,2
	Мало	39	33,3	13,2	78	66,7	28,8	117	20,7
	Умерено	83	52,9	28,1	74	47,1	27,3	157	27,7
	Довољно	88	62,4	29,8	53	37,6	19,6	141	24,9
	Много	68	61,8	23,1	42	38,2	15,5	110	19,4
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0
Конгреси, конференције, семинари и обуке	Нимало	18	25,4	6,1	53	74,6	19,6	71	12,5
	Мало	33	32,7	11,2	68	67,3	25,1	101	17,8
	Умерено	70	47,3	23,7	78	52,7	28,8	148	26,1
	Довољно	87	64,4	29,5	48	35,6	17,7	135	23,9
	Много	87	78,4	29,5	24	21,6	8,9	111	19,6
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0
Радијски и телевизијски програм	Нимало	39	52,0	13,2	36	48,0	13,3	75	13,3
	Мало	86	50,6	29,2	84	49,4	31,0	170	30,0
	Умерено	115	57,2	39,0	86	42,8	31,7	201	35,5
	Довољно	42	46,7	14,2	48	53,3	17,7	90	15,9
	Много	13	43,3	4,4	17	56,7	6,3	30	5,3
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0
Новине и часописи	Нимало	25	39,7	8,5	38	60,3	14,0	63	11,1
	Мало	91	54,8	30,8	75	45,2	27,7	166	29,3
	Умерено	94	54,3	31,9	79	45,7	29,2	173	30,6
	Довољно	66	52,8	22,4	59	47,2	21,8	125	22,1
	Много	19	48,7	6,4	20	51,3	7,4	39	6,9
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0

Табела Б4. Наставак

Извор информисаности	Скала	Квалификовани испитаници						Укупно	
		Да			Не			Учесталост	% испитаника
		Учесталост	% у оквиру извора инф.	% у групи	Учесталост	% у оквиру извора инф.	% у групи		
Књиге и енциклопедије	Нимало	11	50,0	3,7	11	50,0	4,1	22	3,9
	Мало	39	44,3	13,2	49	55,7	18,1	88	15,5
	Умерено	76	44,7	25,8	94	55,3	34,7	170	30,0
	Довољно	102	58,3	34,6	73	41,7	26,9	175	30,9
	Много	67	60,4	22,7	44	39,6	16,2	111	19,6
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0
Интернет	Нимало	2	50,0	0,7	2	50,0	0,7	4	0,7
	Мало	6	27,3	2,0	16	72,7	5,9	22	3,9
	Умерено	37	46,8	12,5	42	53,2	15,5	79	14,0
	Довољно	101	52,9	34,2	90	47,1	33,2	191	33,7
	Много	149	55,2	50,5	121	44,8	44,6	270	47,7
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0
Пропагандни материјал	Нимало	62	50,0	21,0	62	50,0	22,9	124	21,9
	Мало	95	52,8	32,2	85	47,2	31,4	180	31,8
	Умерено	85	58,2	28,8	61	41,8	22,5	146	25,8
	Довољно	44	52,4	14,9	40	47,6	14,8	84	14,8
	Много	9	28,1	3,1	23	71,9	8,5	32	5,7
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0
Невладине организације и удружења грађана	Нимало	54	45,0	18,3	66	55,0	24,4	120	21,2
	Мало	94	52,5	31,9	85	47,5	31,4	179	31,6
	Умерено	66	51,6	22,4	62	48,4	22,9	128	22,6
	Довољно	57	62,6	19,3	34	37,4	12,5	91	16,1
	Много	24	50,0	8,1	24	50,0	8,9	48	8,5
	Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0

Табела Б5. Апсолутно и процентуално учешће одговора према квалификацији на питање: Да ли сте знали да Република Србија издваја одређену своту новца како би стимулисала производњу електричне енергије из обновљивих извора?

Одговор на питање	Квалификовани испитаници						Укупно	
	Да			Не			Учесталост	% испитаника
	Учесталост	% у одговору	% у групи испитаника	Учесталост	% у одговору	% у групи испитаника		
Да	215	66,2	72,9	110	33,8	40,6	325	57,4
Не	80	33,2	27,1	161	66,8	59,4	241	42,6
Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0

Табела Б6. Апсолутно и процентуално учешће одговора према квалификацији на питање: Да ли сматрате да би човечанство могло да обезбеди целокупне потребе за електричном енергијом на основу соларне технологије којом тренутно располаже?

Одговор на питање	Квалификовани испитаници						Укупно	
	Да			Не			Учесталост	% испитаника
	Учесталост	% у одговору	% у групи испитаника	Учесталост	% у одговору	% у групи испитаника		
Да	76	50,3	25,8	75	49,7	27,7	151	26,7
Не	136	64,5	46,1	75	35,5	27,7	211	37,3
Нисам сигуран/на	83	40,7	28,1	121	59,3	44,6	204	36,0
Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0

Табела Б7. Апсолутно и процентуално учешће одговора према квалификацији на питање: Да ли сте чули за фотонапонске системе (енг. photovoltaic systems)?

Одговор на питање	Квалификовани испитаници						Укупно	
	Да			Не			Учесталост	% испитаника
	Учесталост	% у одговору	% у групи испитаника	Учесталост	% у одговору	% у групи испитаника		
Да	225	68,6	76,3	103	31,4	38,0	328	58,0
Не	70	29,4	23,7	168	70,6	62,0	238	42,0
Укупно	295	52,1	100,0	271	47,9	100,0	566	100,0

Табела Б8. Апсолутно и процентуално учешће одговора према квалификацији на питање У којој мери сматрате да сте информисани о начину рада и тенденцијама развоја фотонапонских система?

Скала информисаности	Квалификовани испитаници						Укупно	
	Да			Не			Учесталост	% испитаника
	Учесталост	% у одговору	% у групи испитаника	Учесталост	% у одговору	% у групи испитаника		
1 = Лоше	16	61,5	7,1	10	38,5	9,7	26	7,9
2	35	49,3	15,6	36	50,7	35,0	71	21,6
3	71	65,7	31,6	37	34,3	35,9	108	32,9
4	64	81,0	28,4	15	19,0	14,6	79	24,1
5 = Добро	39	88,6	17,3	5	11,4	4,9	44	13,4
Укупно	225	68,6	100,0	103	31,4	100,0	328	100,0

Табела Б9. Апсолутно и процентуално учешће одговора о привлачности предела са фотонапонским системима према старосним групама

Скала квалитета	Старосне групе								Укупно	
	0–19 година		20–29 година		30–64 година		65 и више година		Учесталост	%
	<i>n</i>	% у групи	<i>n</i>	% у групи	<i>n</i>	% у групи	<i>n</i>	% у групи		
<i>Фотографија предела са фотонапонским системима на земљи</i>										
1 = Непривлачан	0	0,0	4	3,0	34	18,4	1	11,1	39	11,9
2	1	50,0	17	12,9	22	11,9	1	11,1	41	12,5
3	0	0,0	43	32,6	48	25,9	2	22,2	93	28,4
4	1	50,0	36	27,3	42	22,7	3	33,3	82	25,0
5 = Привлачан	0	0,0	32	24,2	39	21,1	2	22,2	73	22,3
Укупно	2	100,0	132	100,0	185	100,0	9	100,0	328	100,0
<i>Фотографија предела са фотонапонским системима на објектима</i>										
1 = Непривлачан	0	0,0	3	2,3	13	7,0	1	11,1	17	5,2
2	0	0,0	9	6,8	19	10,3	1	11,1	29	8,8
3	1	50,0	34	25,8	61	33,0	2	22,2	98	29,9
4	1	50,0	44	33,3	47	25,4	3	33,3	95	29,0
5 = Привлачан	0	0,0	42	31,8	45	24,3	2	22,2	89	27,1
Укупно	2	100,0	132	100,0	185	100,0	9	100,0	328	100,0

ПРИЛОГ В

АНКЕТА: „СТАВОВИ И ПЕРЦЕПЦИЈЕ ОДРЕЂЕНИХ ДРУШТВЕНИХ ГРУПА О ОБНОВЉИВИМ ИЗВОРИМА ЕНЕРГИЈЕ”

Поштовани,

У циљу истраживања ставова и перцепције друштва о обновљивим изворима енергије, са нагласком на системе за експлоатацију соларне енергије и њихов утицај на животну средину, осмишљена је анкета која се налази испред вас, а чији ће резултати бити употребљени за израду докторске дисертације.

Анкета је анонимна и потребно је издвојити десетак минута за њену реализацију.

* Обавезан одговор

I СОЦИО-ДЕМОГРАФСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ИСПИТАНИКА

1. Пол:

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Мушки
- б) Женски

2. Старост:*

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) 0–19 година
- б) 20–29 година
- в) 30–64 година
- г) 65 и више година

3. Занимање:*

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Ученик <После последњег питања у овом одељку пређите на 6. питање>
- б) Студент <После последњег питања у овом одељку пређите на 9. питање>
- в) Незапослено лице <После последњег питања у овом одељку пређите на 6. питање>
- г) Запослено лице <После последњег питања у овом одељку пређите на 6. питање>
- д) Пензионер <После последњег питања у овом одељку пређите на 6. питање>

4. Место становања (Град/општина):*

5. Висина месечних прихода:

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Без прихода (издржавано лице)
- б) < 25.000,00 РСД
- в) 25.000,00–50.000,00 РСД
- г) 50.000,00–100.000,00 РСД
- д) > 100.000,00 РСД

Информације о стеченом образовању

6. Степен образовања:*

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Основна школа <Пређите на 8. питање>
- б) Средња школа <Пређите на 7. питање>
- в) Виша/висока школа <Пређите на 8. питање>
- г) Факултет <Пређите на 8. питање>

<Пређите на 13. питање>

Информације о стеченом средњошколском образовању

7. Тип средње школе*

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Гимназија <Пређите на 8. питање>
- б) Средња стручна школа <Пређите на 8. питање>
- в) Уметничка школа <Пређите на 8. питање>

<Пређите на 13. питање.>

Информације о квалификацији

8. Да ли сте на основу вашег стеченог звања и/или радног искуства квалификовани за рад (едукација, производња, планирање, пројектовање, управљање, заштита и сл.) у домену обновљивих извора енергије?*

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Да
- б) Не

<Пређите на 13. питање>

Информације о студенту

9. Који факултет студирате? *

10. Степен студија:*

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Основне студије <После последњег питања у овом одељку пређите на 8. питање>
- б) Мастер студије <После последњег питања у овом одељку пређите на 8. питање>
- в) Докторске студије <После последњег питања у овом одељку пређите на 8. питање>

11. Којој групацији наука ваш факултет припада? *

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Друштвено-хуманистичким наукама
- б) Природно-математичким наукама
- в) Медицинским наукама
- г) Техничко-технолошким наукама

12. Студијски програм (смер):

<Пређите на 13. питање>

II ОБНОВЉИВИ ИЗВОРИ ЕНЕРГИЈЕ

13. Да ли знате шта представља термин обновљиви извори енергије?*

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Да
- б) Не
- в) Нисам сигуран/на

14. У којој мери сматрате да је важно користити обновљиве изворе енергије?*

<Означите само један круг за неку од понуђених опција>

	1	2	3	4	5	
Неважно	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Важно

15. У којој мери наведени разлози, утичу на развој обновљивих извора енергије?*

<Означите само један квадрат, за сваки ред, за неку од понуђених опција>

	Много	Довољно	Умерено	Мало	Нимало
Борба против климатских промена	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Очување животне средине	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Регулатива (стратегије, закони, директиве, прописи, конвенције, споразуми, и сл.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Исцрпљивање необновљивих извора (угаљ, нафта, гас)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Отварање нових радних места	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Друштвени притисци	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Финансијски разлози	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

16. У којој мери наведени обновљиви извори енергије, према вашем мишљењу, имају потенцијал за коришћење на територији Републике Србије?*

<Означите само један квадрат, за сваки ред, за неку од понуђених опција>

	Много	Довољно	Умерено	Мало	Нимало
Соларна енергија	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Енергија ветра	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Енергија из малих хидроелектрана	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Геотермална енергија	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Енергија из биомасе	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Енергија из отпада	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

17. У којој мери сматрате да сте информисани о начину рада и тенденцијама развоја система за експлоатацију обновљивих извора енергије?*

<Означите само један круг за неку од понуђених опција>

	1	2	3	4	5	
Лоше	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Добро

18. Колико наведени извори утичу на вашу информисаност о обновљивим изворима енергије?*

<Означите само један квадрат, за сваки ред, за неку од понуђених опција>

	Много	Довољно	Умерено	Мало	Нимало
Породица, пријатељи и колеге	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Образовне установе	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Конгреси, конференције, семинари и обуке	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Радијски и телевизијски програм	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Новине и часописи	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Књиге и енциклопедије	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Интернет	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Пропагандни материјал (флајери, брошуре, плакати)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Невладине организације и удружења грађана	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

19. Да ли сте некада у Србији видели системе за експлоатацију обновљивих извора енергије?*

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Да <После последњег питања у овом одељку пређите на 23. питање>
- б) Не <После последњег питања у овом одељку пређите на 24. питање>
- в) Нисам сигуран/на <После последњег питања у овом одељку пређите на 24. питање>

20. Да ли сте знали да Република Србија издваја одређену своту новца како би стимулисала производњу електричне енергије из обновљивих извора?*

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Да
- б) Не

Занимљивост

Просечна потрошња енергије у домаћинству месечно износи око 350 kWh, па је за плаћање рачуна потребно издвојити додатних 32,55 динара који иду у фонд за стимулисање производње из обновљивих извора.

21. Да ли бисте пристали да уз сваки рачун издвојите већу накнаду за стимулисање производње енергије из обновљивих извора од оне која тренутно износи 0,093 дин/kWh?*

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Пристао/ла бих на два пута већу накнаду од тренутно дефинисане.
- б) Пристао/ла бих на пет пута већу накнаду од тренутно дефинисане.
- в) Пристао/ла бих на десет пута већу накнаду од тренутно дефинисане
- г) Не бих пристао/ла на већу накнаду, од оне која је тренутно дефинисана.
- д) Не бих плаћао/ла никакву накнаду.

22. За које од наведених механизма сматрате да доприносе широј примени обновљивих извора енергије?*

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Регулаторни механизми (закони, уредбе, сертификати и сл.)
- б) Фискални подстицаји и јавно финансирање (порези, кредити, субвенције и сл.)
- в) Оба претходно понуђена одговора
- г) Ниједан од понуђених одговора

<Пређите на 24. питање>

Системи за експлоатацију обновљивих извора енергије из вашег окружења

23. Означите системе које сте видели на територији Републике Србије.*

<Изаберите све што важи>

- а) Соларне системе
- б) Ветрогенераторе
- в) Мале хидроелектране
- г) Геотермалне системе (топлотне пумпе, геотермалне електране)
- д) Постројење за производњу биогаса и биогорива

Соларна енергија

24. Да ли сматрате да би човечанство могло да обезбеди целокупне потребе за електричном енергијом на основу соларне технологије којом тренутно располаже?*

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Да
- б) Не
- в) Нисам сигуран/на

25. Где видите највећи потенцијал за коришћење соларне енергије?*

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Саобраћај
- б) Индустрија
- в) Стамбени објекти
- г) Услужне делатности
- д) Остало

26. Да ли сте чули за фотонапонске системе (енг. photovoltaic systems)*

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Да <Пређите на 27. питање>
- б) Не <Престаните са попуњавањем овог упитника>

III ФОТОНАПОНСКИ СИСТЕМИ

27. У којој мери сматрате да сте информисани о начину рада и тенденцијама развоја фотонапонских система?*

<Означите само један круг за неку од понуђених опција>

	1	2	3	4	5	
Лоше	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Добро

28. Који од наведених типова фотонапонских система, према начину инсталације, је за вас прихватљив, имајући у виду утицај на животну средину?*

<Означите само једну од понуђених опција.>

- а) Системи инсталирани на крововима/настрешницама и/или интегрисани са објектима
- б) Системи инсталирани на земљи
- в) Оба претходно понуђена одговора
- г) Ниједан од понуђених одговора

29. Који од наведених типова фотонапонских система, према начину складиштења енергије, је за вас прихватљив, имајући у виду утицај на животну средину?*

<Означите само једну од понуђених опција>

- а) Мрежни фотонапонски системи
- б) Самостални фотонапонски системи (системи који нису прикључени на електро мрежу)
- в) Оба претходно понуђена одговора
- г) Ниједан од понуђених одговора

30. Наведен је низ исказа који се тичу утицаја фотонапонских електрана на животну средину. Молим вас да прочитате сваки исказ, и да у зависности колико се слажете означите један од понуђених одговора.*

<Означите само један квадрат, за сваки ред, за неку од понуђених опција>

	Уопште се неслажем	Не слажем се	Немам мишљење	Слажем се	Потпуно се слажем
Промене и губитак површинског слоја земљишта због инсталације фотонапонске електране.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Потрошња воде (за чишћење панела) и промена квалитета водних ресурса (применом токсичних супстанци).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Уопште се неслажем	Не слажем се	Немам мишљење	Слажем се	Потпуно се слажем
Промене микроклиме и мезоклиме (ефекат „острво топлоте”, смањење брзине ветра и повећање облачности) под утицајем фотонапонских панела.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Повећање прашине у ваздуху (као последица уклањања вегетације).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Фотонапонске електране доприносе смањењу емисије гасова са ефектом стаклене баште и токсичних гасова (сумпор-диоксид, суспендоване честице, итд.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Губитак флоре и фауне као последица уклањања вегетације, формирања препрека, применом токсичних супстанци и пестицида и сл.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Паралелно коришћење простора фотонапонске електране нпр. за испашу, као природни резерват, у едукативне и/или туристичке сврхе.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Конфликт коришћења простора фотонапонске електране са активностима које су везане за пољопривредну производњу и археолошка истраживања.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Деградиција визуелних карактеристика природних и културних предела.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Код фотонапонских електрана постоји ризик од избијања пожара услед чега се ослобађају производи сагоревања различитих супстанци.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Изградња Фотонапонских електрана на деградираним површинама (депоније, површински копови, brownfields—раније изграђено или коришћено земљиште које је због економских или других разлога напуштено, и сл.) доприноси побољшању стања животне средине и умањује потребу за нову пренамену земљишта.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ризик од акумулација отпада са токсичним материјама (кадмијум, арсен, селен, олово, силикатна прашина и сл.) и грађевинског отпада.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ризик од пожара, струјног удара, удара грома, појава заразних болести, одсјаја или блеска панела може угрозити здравље и животе људи.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Током рада фотонапонски панели не емитују буку или је она минимална, док је ниво буке повећан у фази изградње и уклањања електране.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Фотонапонски системи омогућују електрификацију руралних и тешко приступачних крајева, доприносе јачању независности и поузданости у снабдевању енергијом, и утичу на отварање нових радних места.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

31. Оцените визуелни квалитет предела са фотографије.*



<Означите само један круг за неку од понуђених опција>

	1	2	3	4	5	
Непривлачан	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Привлачан

32. Оцените визуелни квалитет предела са фотографије.*



<Означите само један круг за неку од понуђених опција>

	1	2	3	4	5	
Непривлачан	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Привлачан

Хвала на учешћу!

СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 1. Подстицајне откупне цене за електричну енергију производну у фотонапонским електранама у Кини	22
Табела 2. Висина подстицајне откупне цене и максимално ефективно време рада за различите врсте соларних електрана.....	51
Табела 3. Основна скала за утврђивање значаја између елемената у матрици поређења.....	54
Табела 4. Вредности индекса случајне коегзистенције	55
Табела 5. Преглед критеријума за елиминацију површина за изградњу фотонапонских електрана	57
Табела 6. Преглед критеријума за вредновање простора за изградњу фотонапонских електрана	58
Табела 7. Просечне вредности за прозрачност атмосфера на територији истраживаних административних јединица	61
Табела 8. Параметри за дефинисање функције припадности коришћене у поступку нормализације факторских варијабила	68
Табела 9. Класе и вредности дефинисане за потребе вредновања простора за изградњу фотонапонских електрана.....	69
Табела 10. Вредности тежинских коефицијената за факторе.....	70
Табела 11. Просечан дан за сваки месец и деклинација Сунца за тај дан.	72
Табела 12. Параметри храпавости земљишта додељене за CLC класе	75
Табела 13. Стандарди за тумачење Крамеровог показатеља V за величину утицаја	81
Табела 14. Расподела валоризованих и елиминисаних површина	91
Табела 15. Процена производње електричне енергије на одабраним парцелама.....	105
Табела 16. Учешће валоризованих површина у укупној површини парцела које су просторним планом Града Врања одређене као потенцијалне локације за изградњу соларних електрана.	107
Табела 17. Средња вредност рангова за разлоге који утичу на развој обновљивих извора енергије према Фридмановом тесту.....	110
Табела 18. Разлике у одговорима испитаника, према њиховој квалификацији, у погледу значаја појединих разлога на развој обновљивих извора енергије	110
Табела 19. Средња вредност рангова за обновљиве изворе енергије.....	111
Табела 20. Разлике у одговорима испитаника, према њиховој квалификацији, у погледу потенцијала обновљивих извора енергије у Србији	111
Табела 21. Средње вредности рангова за различите изворе информације о ОИЕ добијени на основу Фридмановог теста.	113
Табела 22. Разлике у одговорима квалификованих и неквалификованих испитаника у погледу извора информација о обновљивим изворима енергије	113
Табела 23. Средња вредност рангова за различите исказе о утицајима фотонапонских електрана на животну средину добијени на основу Фридмановог теста.	118
Табела 24. Разлике у одговорима испитаника, према њиховој квалификацији, у погледу значаја појединих исказа о утицајима фотонапонских електрана на животну средину.	119
Табела 25. Разлике у одговорима студената природно-математичких и техничко-технолошких наука у погледу појединих исказа о утицајима фотонапонских електрана на животну средину.	119
Табела 26. Апсолутно и процентуално учешће студената природно-математичких и техничко-технолошких наука на скали слагања у погледу појединих исказа о утицајима фотонапонских електрана на животну средину.	120
Табела 27. Резултати Ман-Витнијевог теста за откривање разлика независних узорака у погледу оцењивања предела са фотонапонским системима	121

Табела 28. Учесталост и процентуално учешће одговора на скали квалитета предела са фотонапонским електранама на земљи.....	121
Табела 29. Резултати Крускал-Волисовог теста на скали квалитета предела за четири различите старосне групе.	122
Табела 30. Резултати Крускал-Волисовог теста на скали квалитета предела за старосне групе 20–29 година и 30–65 година.....	122
Табела Б1. Компарација добијених резултата на две локације са другим базама података о ирадијацији на месечном нивоу.	175
Табела Б2. Апсолутно и процентуално учешће одговора према квалификацији испитаника на питање: У којој мери наведени разлози, утичу на развој обновљивих извора енергије?.....	176
Табела Б3. Апсолутно и процентуално учешће одговора према квалификацији испитаника на питање: У којој мери наведени обновљиви извори енергије, према вашем мишљењу, имају потенцијал за коришћење на територији Републике Србије? .	177
Табела Б4. Апсолутно и процентуално учешће одговора према квалификацији испитаника и изворима информисаности.....	179
Табела Б5. Апсолутно и процентуално учешће одговора према квалификацији на питање: Да ли сте знали да Република Србија издваја одређену своту новца како би стимулисала производњу електричне енергије из обновљивих извора?.....	181
Табела Б6. Апсолутно и процентуално учешће одговора према квалификацији на питање: Да ли сматрате да би човечанство могло да обезбеди целокупне потребе за електричном енергијом на основу соларне технологије којом тренутно располаже?	181
Табела Б7. Апсолутно и процентуално учешће одговора према квалификацији на питање: Да ли сте чули за фотонапонске системе (енг. photovoltaic systems)?.....	181
Табела Б8. Апсолутно и процентуално учешће одговора према квалификацији на питање У којој мери сматрате да сте информисани о начину рада и тенденцијама развоја фотонапонских система?.....	182
Табела Б9. Апсолутно и процентуално учешће одговора о привлачности предела са фотонапонским системима према старосним групама.....	182

СПИСАК СЛИКА

Слика 1. Структура Сунца.....	7
Слика 2. Промене интензитета екстратерестричког зрачења.. ..	8
Слика 3. Енергетске зоне код полупроводника <i>n</i> -типа (а) и <i>p</i> -типа (б).	10
Слика 4. Структура и принцип рада соларне ћелије.....	11
Слика 5. Шематски приказ редног (а) и паралелног (б) повезивања соларних ћелија у фотонапонске панеле.	15
Слика 6. Заштита фотонапонских панела од осенчености ћелија помоћу преносних и гранских диода.	15
Слика 7. Попречни пресек фотонапонског панела.	16
Слика 8. Дијаграм века трајања оловних соларних акумулатора.	17
Слика 9. Соларно зрачење у Кини.	20
Слика 10. Мапа зона према којима су дефинисане подстицајне откупне цене за електричну енергију произведену у фотонапонским електранама.....	21
Слика 11. Datong Panda Power Plant, Кина (39.975798°N, 113.482959°E).....	24
Слика 12. Соларно зрачење у Немачкој.....	25
Слика 13. Соларне електране изграђене на земљи (Немачка).	26

Слика 14. Подстицајне откупне цене за електричну енергију произведену из фотонапонских (ФН) система на дан пуштања у погон, просечна накнада на тендерима и цена електричне енергије.	27
Слика 15. Потенцијалне локације за изградњу фотонапонских електрана на земљи, територија управног округа Трир (Немачка).....	29
Слика 16. BNP у Енергетском пределу Морбах, Немачка (49.829813°N, 7.109197°E).	30
Слика 17. Соларно зрачење у Словенији.	32
Слика 18. Соларне електране према месту изградње и њихове инсталисане снаге у Словенији.	33
Слика 19. Годишња енергија глобалног зрачења на хоризонталну површину (лево) и на површину оријентисану према југу, под углом нагиба од 30° (десно).....	35
Слика 20. Просечне дневне вредности енергије глобалног зрачења на хоризонталну површину у јануару (лево) и јулу (десно).	35
Слика 21. Соларне електране које су стекле статус повлашћеног произвођача електричне енергије или произвођача електричне енергије из обновљивих извора енергије....	37
Слика 22. Соларна електрана „Матарова”, Србија (42.954505°N, 21.256642°E).....	38
Слика 23. Соларна електрана „Соларис 1” и „Соларис 2”, Србија (44.553609°N, 22.542285°E).	39
Слика 24. Соларна електрана „Prima Energy”, Србија (45.202077°N, 19.700433°E).....	40
Слика 25. Просторни обухват и подела на урбанистичке целине у Плану детаљне регулације за фотонапонску електрану у к.о. Сајан.	41
Слика 26. Соларна електрана „Сајан”, Србија (45.833441°N, 20.283857°E).	42
Слика 27. Соларна електрана „НОЛЕКО ВРАНИЋИ”, Србија (43.942499°N, 20.331361°E).	43
Слика 28. Соларна електрана „Даница”, Србија (43.200556°N, 21.351819°E).....	44
Слика 29. Соларна електрана „Еуроградња”, Србија (43.244482°, 21.638400°).....	45
Слика 30. Соларна електрана „Врбовац”, Србија (43.324170°N, 21.299270°E).....	46
Слика 31. Просечне и екстремне вредности ирадијације на хоризонталну површину за територију Града Врање	85
Слика 32. Просечне и екстремне вредности ирадијације на хоризонталну површину за територију општине Кладово	85
Слика 33. Просторна расподела месечних вредности ирадијације за територију Града Врања.	86
Слика 34. Просторна расподела месечних вредности ирадијације за територију општине Кладово.....	87
Слика 35. Просторна расподела ирадијације на територији Града Врања	88
Слика 36. Просторна расподела ирадијације на територији општине Кладово	88
Слика 37. Компарација моделованих вредности глобалног зрачења на хоризонталну површину са вредностима из седам различитих база за метеоролошку станицу Врање (42,55°N, 21,917°E).....	89
Слика 38. Компарација моделованих вредности глобалног зрачења на хоризонталну површину са вредностима из седам различитих база за соларну електрану „Соларис 1” (44,553°N, 22,543°E).	89
Слика 39. Разлика између моделованих вредности глобалног зрачења на хоризонталну површину и вредности из девет различитих база на две одабране локације.....	90
Слика 40. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији Града Врања према С1.	92
Слика 41. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији општине Кладово према С1.	93
Слика 42. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији Града Врања према С2.	94
Слика 43. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији општине Кладово према С2.	95
Слика 44. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији Града Врања према С3.	96

Слика 45. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији општине Кладово према С3.....	97
Слика 46. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији Града Врања према С4.....	98
Слика 47. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији општине Кладово према С4.....	99
Слика 48. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији Града Врања према С5.....	100
Слика 49. Повољност простора за изградњу фотонапонских електрана на територији општине Кладово према С5.....	101
Слика 50. Апсолутно (број пиксела) и релативно (%) учешће валоризованих површина према класама просторне повољности на територији Града Врања, за пет различитих сценарија.....	102
Слика 51. Апсолутно (број пиксела) и релативно (%) учешће валоризованих површина према класама просторне повољности на територији општине Кладово, за пет различитих сценарија.....	102
Слика 52. Одступања индекса просторне повољности на територији Града Врања, између С1 и С2.....	103
Слика 53. Одступања индекса просторне повољности на територији општине Кладово, између С1 и С2.....	104
Слика 54. Процењена и остварена производња електричне енергије фотонапонске електране „СОЛАРИС 1”.....	108
Слика 55. Учешће испитаника према старосним групама.....	109
Слика 56. Учешће испитаника према занимању.....	109
Слика 57. Учешће одговора у погледу разлога који утичу на развој обновљивих извора енергије.....	109
Слика 58. Учешће одговора у погледу потенцијала за коришћење обновљивих извора енергије.....	111
Слика 59. Учешће одговора о информисаности испитаника о начину рада и тенденцијама развоја система за експлоатацију обновљивих извора енергије изражена у апсолутним вредностима.....	112
Слика 60. Учешће одговора у погледу утицаја појединих извора на информисаност о обновљивим изворима енергије.....	113
Слика 61. Апсолутно и процентуално учешће квалификованих и неквалификованих испитаника према броју опажених различитих врста система за експлоатацију обновљивих извора енергије.....	114
Слика 62. Учешће различитих система за експлоатацију ОИЕ у укупном броју опажених система на територији Србије.....	114
Слика 63. Учешће одговора у погледу механизма који доприносе широј примени обновљивих извора енергије.....	115
Слика 64. Учешће одговора у погледу супституције целокупних потреба за електричном енергијом применом соларне технологије.....	115
Слика 65. Учешће одговора у погледу потенцијала за коришћење соларне енергије према појединим категоријама делатности.....	116
Слика 66. Учешће одговора о информисаности испитаника о начину рада и тенденцијама развоја фотонапонских система изражена у апсолутним вредностима.....	116
Слика 67. Учешће одговора у погледу прихватљивости различитих типова фотонапонских система према начину инсталације.....	117
Слика 68. Учешће одговора у погледу прихватљивости различитих типова фотонапонских система према начину складиштења енергије.....	117
Слика 69. Учешће одговора о привлачности предела са фотонапонским (ФН) системима изражена у апсолутним вредностима.....	120

Слика А1. Средње годишње температуре ваздуха (°C) у Србији (период 1961–2010.).....	162
Слика А2. Средње месечне температуре ваздуха (°C) у Србији (период 1981–2012.)	162
Слика А3. Елиминисане и валоризоване површине на територији Града Врања	163
Слика А4. Елиминисане и валоризоване површине на територији општине Кладово	163
Слика А5. Нормализоване вредности ирадијације на територији Града Врања.	164
Слика А6. Нормализоване вредности ирадијације на територији општине Кладово.	164
Слика А7. Нормализоване вредности температуре ваздуха на територији Града Врања	165
Слика А8. Нормализоване вредности температуре ваздуха на територији општине Кладово.	165
Слика А9. Нормализоване вредности нагиба терена на територији Града Врања.....	166
Слика А10. Нормализоване вредности нагиба терена на територији општине Кладово.....	166
Слика А11. Нормализоване вредности експозиција терена на територији Града Врања.....	167
Слика А12. Нормализоване вредности експозиција терена на територији општине Кладово..	167
Слика А13. Нормализоване вредности педолошког састава на територији Града Врања....	168
Слика А14. Нормализоване вредности педолошког састава на територији општине Кладово	168
Слика А15. Нормализоване вредности удаљености од површинских вода на територији Града Врања.....	169
Слика А16. Нормализоване вредности удаљености од површинских вода на територији општине Кладово.....	169
Слика А17. Нормализоване вредности близине путне и железничке инфраструктуре на територији Града Врања.....	170
Слика А18. Нормализоване вредности близине путне и железничке инфраструктуре на територији општине Кладово.....	170
Слика А19. Нормализоване вредности близине електроенергетских водова на територији Града Врања.....	171
Слика А20. Нормализоване вредности близине електроенергетских водова на територији општине Кладово.....	171
Слика А21. Нормализоване вредности близине трансформаторских станица на територији Града Врања.....	172
Слика А22. Нормализоване вредности близине трансформаторских станица на територији Града Врања.....	172
Слика А23. Нормализоване вредности близине места потрошње на територији Града Врања	173
Слика А24. Нормализоване вредности близине места потрошње на територији Града Врања	173
Слика А25. Заступљеност одговора на скали слагања испитаника у погледу појединих исказа везаних за утицаје фотонапонских електрана на животну средину.....	174

БИОГРАФИЈА АУТОРА

Дејан Дољак рођен је 30. јула 1988. године у Београду, где је завршио основну и средњу школу. Географски факултет, смер Просторно планирање, уписује 2007. године. Трогодишње студије завршава у року, са просечном оценом 9,24. Дипломирао је код проф. др Дејана Филиповића, са завршним радом под називом: „Перспективе коришћења обновљивих извора енергије – планерски приступ”, са оценом 10. Након тога уписује мастер студије, у трајању од две године, на истом факултету и смеру. Мастер студије завршава у року, са просечном оценом 10, одбранивши мастер рад под називом: „Геопросторни услови за лоцирање соларних система”, код проф. др Дејана Филиповића. Институт за архитектуру и урбанизам Србије (ИАУС) доделио му је, 28. јануара 2013. године, годишњу награду „Димитрије Перишић” за најбољи мастер рад у 2012. години.

Године 2012. уписује докторске студије „Геонаука” на Географском факултету, након чега добија стипендију Министарства просвете, науке и технолошког развоја и укључује се у научно-истраживачки пројекат „Географија Србије” (ев. бр. III 47007) на Географском институту „Јован Цвијић” САНУ.

У периоду од 2011. до 2017. године обављао је послове демонстратора, на Универзитету у Београду – Географском факултету, на следећим предметима: Планирање и уређење туристичких подручја, Туризам и просторно планирање и Стратегија развоја туризма. Током школске 2013/2014. године био је ангажован и на предмету Урбанистичка регулација насеља.

Од 1. јуна 2017. године запослен је у Географском институту „Јован Цвијић” САНУ, најпре као истраживач-приправник, а затим као истраживач-сарадник. До сада је објавио 28 радова, од којих је пет у часописима на SCI листи. Учесник је на више научних скупова у земљи и иностранству, као и у реализацији три пројекта.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Дејан Дољак

Број индекса 7/2012

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

„Вредновање геопростора за потребе планирања фотонапонских електрана у Србији”

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

У Београду, 27. 01. 2020.

Потпис аутора

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Дејан Дољак

Број индекса 7/2012

Студијски програм геонауке

Наслов рада „Вредновање геопростора за потребе планирања фотонапонских електрана у Србији”

Ментор др Дејан Филиповић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

У Београду, 27. 01. 2020.

Потпис аутора

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

„Вредновање геопростора за потребе планирања фотонапонских електрана у Србији”

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

У Београду, 27. 01.2020.

Потпис аутора

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.