

Универзитет у Београду  
Географски факултет



Географски информациони системи

## **Пројекат LIFED**

# **Избор локације за изградњу фотонапонске електране на општини Доњевац**

Ментор:  
Проф. Др Александар Пеулић

Студент:  
Лука Џомбић 50/20

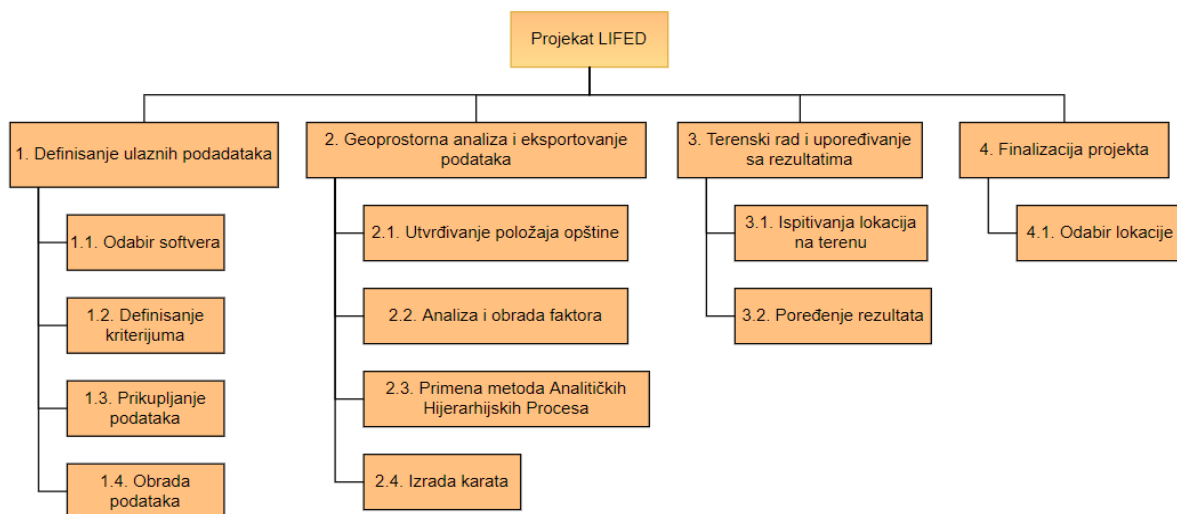
Београд, 2021. године

## САДРЖАЈ

1. Пројектни задатак и структурна шема пројекта.....	3
2. Увод.....	3
3. Употреба соларне енергије .....	5
4. Потенцијал соларне енергије у Србији.....	6
5. Простор истраживања.....	7
6. Методологија рада.....	9
7. Критеријуми.....	10
7.1. Начин коришћења земљишта.....	10
7.2. Глобално зрачење под оптималним нагибом.....	12
7.3. Потенцијална производња електричне енергије из соларних модула.....	14
7.4. Нагиб терена.....	16
7.5. Експозиција терена.....	18
7.6. Саобраћајна инфраструктура.....	20
7.7. Речна мрежа.....	22
8. Резултати.....	24
9. Закључак.....	26

## 1. ПРОЈЕКТНИ ЗАДАТАК И СТРУКТУРНА ШЕМА

Главни задатак пројекта је анализа различитих фактора и израада карата, коришћењем GIS алата као и примена АХП метода, које ће помоћи у одабиру адекватних локација за изградњу фотонапонске електране на територији општине Дољевац. Такође, неопходно је упоредити добијене резултате са стварним стањем на терену, да би одлука била што исправнија. На слици испод налази се структурна шема пројекта.



## 2. УВОД

Сунце је извор скоро вечите нуклеарне реакције којом се ослобађа огромна количина енергије у облику електромагнетног зрачења. Електромагнетна енергија је енергија која је садржана у  $x$  – зрацима, гама зрацима, светлости и нижим фреквенцијама радио – таласа. Добија се из различитих облика и извора енергије природно, као нуклеарна реакција Сунца, или путем уређаја који функционишу на бази коришћења светлосних и топлотних извора, као што су нуклеарни реактори.

Многи извори енергије које користимо за производњу електричне енергије, потичу од Сунца, па се зато могу сматрати формама соларне енергије. На пример, хидроенергија, која се користи у хидроелектранама, је у ствари облик соларне енергије зато што испаравање под утицајем Сунца проузрокује појаву падавина које потом пуне резервоаре (кружење воде у природи). Соларна топлота иницира ветрове, чија снага се користи за покретање ветрогенератора у сврху производње механичке или електричне енергије.

Сунчева енергија има дневно – сезонску и географску зависност, тј не може се сматрати континуалним извором енергије. Међутим, тај недостатак је локалног карактера. На глобалном нивоу, распоред дан/ноћ, лето/зима, југ/север је природно усклађен и омогућава да сунчеве енергије буде сваког тренутка довољно за задовољење највећег дела енергетских потреба.

Сунчева енергија на Земљи представља део енергије сунчевог зрачења. То је огроман износ енергије од 174 000 TW сваке секунде. За практичну примену важнији је податак да је максималан износ по сунчаном дану 1 kWh/m<sup>2</sup> осунчане површине.

Добијање енергије путем соларних система зависи од више различитих параметара локације (географска ширина, осунчаност, температура, намена земљишта и тд.) Поред природних и створених услова локације важно је и друштвено (политичко, економско, социјално) окружење од чега зависи и време повраћаја инвестирања у ове системе.

### 3. УПОТРЕБА СОЛАРНЕ ЕНЕРГИЈЕ

Постоје три начина употребе соларне енергије:

- пасивни,
- активни и
- комбиновани (пасивни и активни) начин коришћења соларне енергије.

**Пасивно коришћење соларне енергије** подразумева коришћење физичке структуре и оријентације објекта. Суштина пасивних соларних система јесте у томе да се познавањем и применом физичких закона: загревања, хлађења, циркулације ваздуха и топлотне изолације, постигне то да се сама зграда понаша као регулатор топлотног протока. Код пасивне соларне архитектуре није присутна примена посебних уређаја за трансформацију соларне у друге облике енергије. Под посебним уређајима се овде подразумевају топлотни пријемници соларне енергије и фотонапонски системи, који се примењују код активног коришћења соларне енергије.

**Активно коришћење соларне енергије** подразумева претварање соларне енергије у друге видове енергије. Активни соларни системи се према начину конверзије сунчевог зрачења могу поделити на две групе:

- Системи код којих се енергија сунчевог зрачења директно трансформише у електричну енергију, тзв. фотонапонски системи
- Системи код којих се сунчево зрачење директно трансформише у топлоту, односно топлотни пријемници соларне енергије, са могућношћу даље енергетске трансформације топлотне енергије у електричну, у зависности од расположивих температурних услова ресурса.

Активне соларне системе је од почетка њихове примене пратио брз развој различитих технологија у областима које се односе на:

- Примену и испитивање различитих материјала.
- Постизање вишег степена конверзије сунчевог зрачења у топлотну, односно електричну енергију.
- Смањење трошкова производње.
- Испитивање нових начина акумулације конвертоване енергије.

**Комбиновано коришћење соларне енергије** одвија се помоћу постојеће зграде као пасивног пријемника и додатних уређаја (топлотних пријемника сунчевог зрачења и соларних ћелија), као активних пријемника сунчевог зрачења.

#### 4. ПОТЕНЦИЈАЛ СОЛАРНЕ ЕНЕРГИЈЕ У СРБИЈИ

Основни проблеми приликом коришћења соларне енергије су променљив интензитет сунчевог зрачења у зависности од доба године, доба дана, климатских услова и још увек релативно висока цена уређаја и система за њену конверзију у електричну и топлотну енергију.

Иако је на већини територије Србије број сунчаних дана знатно већи него у многим европским земљама (између 1500 и 2200 часова годишње), због високих трошкова пријемника сунчевог зрачења и пратеће опреме, примена овог извора енергије готово је занемарљива у Србији.

Србија спада у повољне зоне за коришћење соларне енергије. Насеља у Србији су мале густине насељености а објекти су слободностојећи, без већих препрека приступу сунчевим зрацима што омогућава повољно коришћење соларне енергије за грејање и производњу топле воде, чиме се може смањити потрошња класичних извора енергије. Коришћење соларне енергије за грејање воде у домаћинствима у Србији готово да не постоји.

Потенцијал соларне енергије у Србији износи 0,64 милиона тое годишње (тј. око 16,7% укупног потенцијала). Просечно сунчево зрачење у Србији је за око 40% веће од европског просека, и износи око 1400 kWh/m<sup>2</sup> годишње. Највећи потенцијал за коришћење соларне енергије имају градови у јужном делу Србије – Ниш, Куршумлија, Врање. Искоришћавањем укупног потенцијала соларне енергије за загревање воде би се смањила и емисија угљен – диоксида за 6,5 милиона тона годишње. Незванични подаци говоре да се у Србији годишње угради око 15000m<sup>2</sup> соларних колектора, што је мало. Опште предности сунчеве енергије:

- Сунчева енергија је бесплатна и доступна;
- Најчистији облик енергије (нема продуката сагоревања CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>.);
- Припада обновљивим изворима енергије и не може доћи до њеног исцрпљивања;
- Доприноси одрживом развоју;
- У комбинацији са класичним изворима енергије повећава ефикасност постројења;
- Предвиђени пораст цене фосилних горива повољно утиче на већу примену сунчеве енергије и на краћи период отплате инвестиције у соларно постројење.

Недостаци и ограничења:

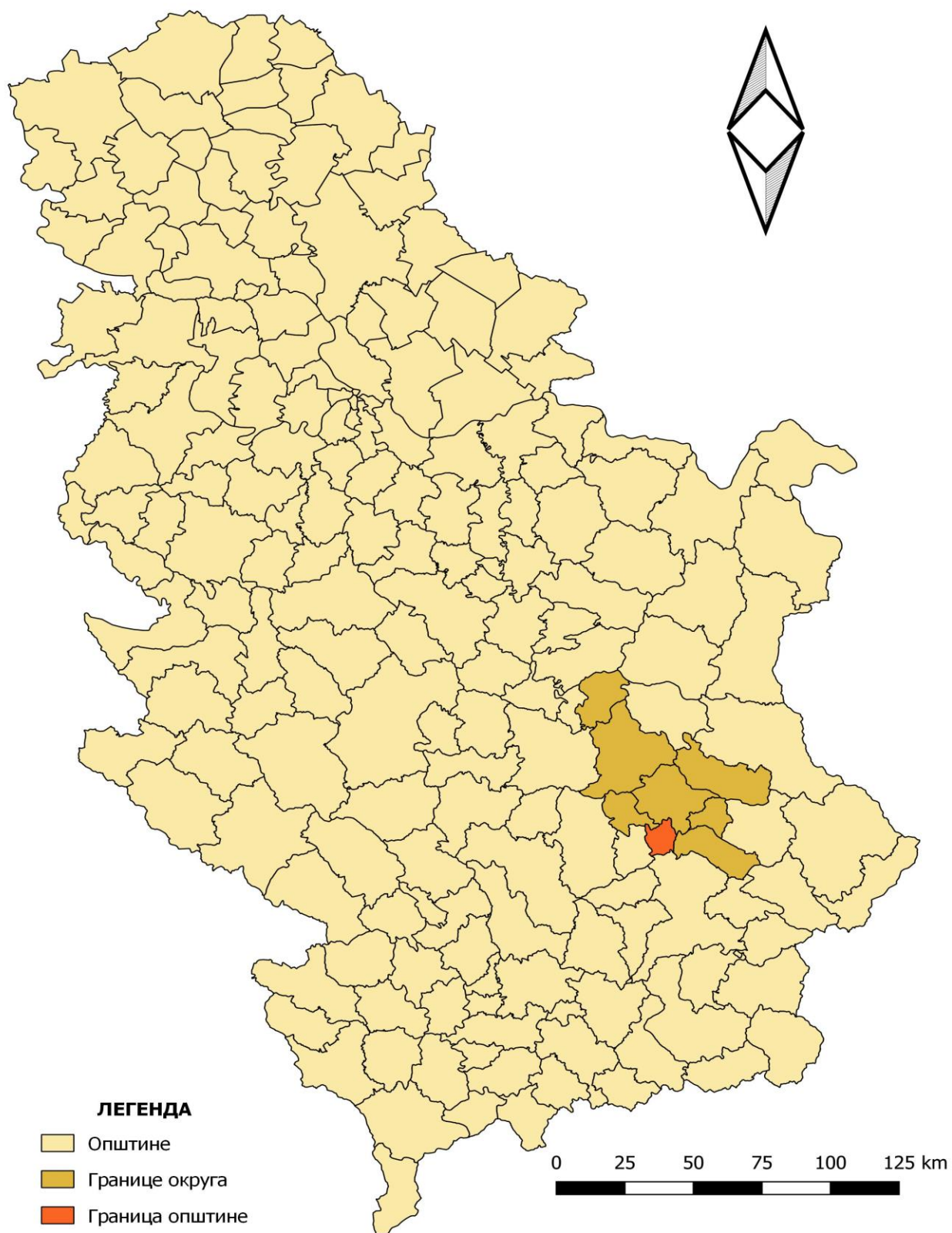
- Сунчево зрачење је изразито променљивог карактера ( и по правцу и по интензитету, и током дана и током ноћи).
- Са опадањем спољне температуре смањује се ефикасност термалних пријемника.
- Током зимског периода може доћи до замрзавања инсталација.
- Недостају прописи и пројектни параметри који би омогућили веће коришћење сунчеве енергије у даљинском грејању у Србији.

## 5. ПРОСТОР ИСТРАЖИВАЊА

Подручје општине Доњевац, налази се у југоисточном делу Србије на северу Лесковачке котлине захватајући северне, западне и јужне обронке Селечевице. Општина Доњевац простире се на плодној алувијалној равни Јужне Мораве и доњих токова Топлице, Југбогдановачке и Пусте реке. Овај простор је уједно и најнижи део Лесковачке котлине, где су надморске висине између 188 м (кота истека Ј. Мораве са територије Општине) и 805 м (врх Црно Језеро). По климатским карактеристикама општина Доњевац се налази у зони умерено континенталне климе, са топлим летима и умерено хладним зимама, и са израженим прелазним периодима (пролеће и јесен). Границе општине налазе се између 43°11'46" северне географске ширине и 21°49'49" источне географске дужине.

Рељеф карактерише комбинација брдско-планинског у средишњем и источном делу, и равничарског у осталим деловима општине. Административно, заједно са општинама Алексинац, Сврљиг, Ражањ, Меровина и Гадзин Хан и подручјем града Ниша припада Нишавском округу. Општина Доњевац је саобраћајно извориште из кога се са главног међународног пута и пруге Београд-Ниш-Скопље-Солун одваја пруга и пут ка Прокупљу и Куршумлији.

Општина заузима површину од 121 km<sup>2</sup>, према попису из 2011. године, у 16 насеља са 5450 домаћинстава живи 18.463 становника. По површини спада у ред најмањих општина у Србији, што са бројем становника и густином насељености није случај. Сапросечном густином насељености од 153 становника по km<sup>2</sup> сврстава се у ред густо насељених подручја и општина.



Слика 1. Карта географског положаја општине Дољевац



## 6. МЕТОДОЛОГИЈА РАДА

Географски информациони систем (ГИС) је систем за креирање и управљање просторним подацима са припадајућим атрибутима. Дефиниције ГИС-а заснованих на организацији: ГИС представља институционалну целину, која одражава организациону структуру која интегрише технологију са базама података, експертска и стална финансијска подршка у току времена. ГИС је систем подршке у одлучивању који обухвата интеграцију просторно референцираних података у окружење за решавање проблема.

Предност картографског метода је што се помоћу карте на најједноставнији и најпрегледнији начин могу саопштити резултати истраживања животне средине и што боље него и једним другим методом могу бити изражени просторни односи међу појединим деловима животне средине.

Аналитичко хијерархијски процес (АХП) – је теоријско-методолошки концепт за подршку процеса индивидуалног и групног одлучивања и представља један од најчешће коришћених метода вишекритеријумске анализе у свету. Метод АХП захтева добро структуриран проблем одлучивања, приказан у виду хијерархије. На врху хијерархије се налази циљ, следећи ниво садржи критеријуме, док се на дну налазе алтернативе. Поређење сваког елемента у односу на надређени: критеријума у односу на циљ и алтернатива у односу на критеријуме најчешће се врши помоћу Сатијеве скале релативног значаја.

Критеријуми су распоређени као у табели. У софтверу QGIS, су у Raster Calculator-у унете вредности редом и изражавају предност, односно битност једног критеријума у односу на други. У току обраде у додатку је дошло до квадрирања матрице, а затим до сабирања вредности сваке колоне, и поновног квадрирања са матрицом а затим су добијени тежински коефицијенти (Табеле 1 и 2).

	<b>PVOUT</b>	<b>GTI</b>	<b>CLC</b>	<b>Saobracajnice</b>	<b>Ekspozicija</b>	<b>Nagib</b>	<b>Reke</b>
<b>PVOUT</b>	1	1	1.3	1.5	1.6	1.8	2
<b>GTI</b>	1	1	1.3	1.5	1.6	1.8	2
<b>CLC</b>	0.77	0.77	1	1.3	1.5	1.6	1.8
<b>Saobracajnice</b>	0.67	0.67	0.77	1	1.4	1.5	1.7
<b>Ekspozicija</b>	0.625	0.625	0.67	0.714	1	1.1	1.5
<b>Nagib</b>	0.5555	0.5555	0.625	0.67	0.909	1	1.5
<b>Reke</b>	0.5	0.5	0.5555	0.588	0.67	0.67	1

Табела 1: Критеријуми за општину Дољевац

Критеријуми	Тежински коефицијент
Потенцијална производња електричне Е из соларних модула	0.193
Глобално зрачење под оптималним нагибом	0.193
CORINE Land Cover	0.162
Саобраћајна инфраструктура	0.141
Експозиција терена	0.115
Нагиб терена	0.106
Речна мрежа	0.085

**Табела 2:** Тежински коефицијенти за општину Дољевац

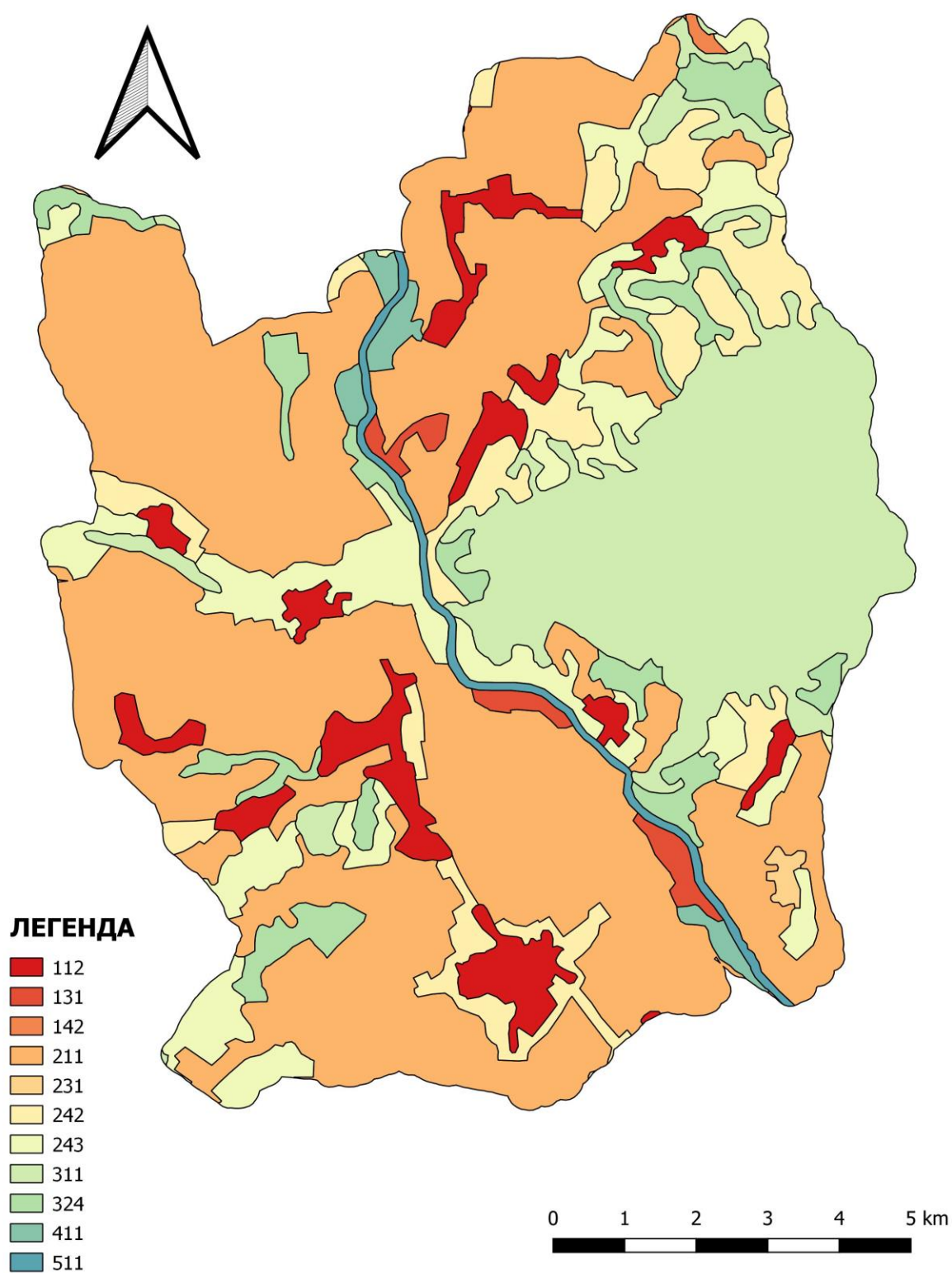
Потенцијална производња електричне Е из соларних модула и Глобално зрачење под оптималним нагибом су подједнако узета као главни и полазни фактор за избор најповољније локације за изградњу соларне електране. Следећи критеријум је намена земљишта који има већи тежински фактор од саобраћајне инфраструктуре, експозиције и нагиба терена, и речне мреже.

## 7. КРИТЕРИЈУМИ

Коначна карта је изведена применом вишекритеријумске анализе и аналитичко хијерархијског процеса. Узето је седам критеријума за вредновање простора: Подаци о коришћењу простора (CORINE Land Cover); Глобално зрачење под оптималним нагибом-GTI (Global irradiance at optimum tilt); Потенцијална производња електричне енергије из соларних модула-PVOUT (Potential photovoltaic electricity production); Нагиб; Експозиција; Удаљеност од путева; Удаљеност од Јужне Мораве и елиминаторни фактор, податак о коришћењу простора.

### 7.1. Начин коришћења земљишта

Начин коришћења земљишта је изведен из CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover – геопросторна база података о начину коришћења земљишта Европске агенције за заштиту животне средине (EEA). Након извршене анализе, подаци показују да се на територији Дољевац пољопривредне површине издвајају као доминантне са уделом од 49.73%. На основу добијених података такође су елиминисане све територије прекривене минералним сировинама, спортски и забавни садржаји, мочваре и водене површине.



Слика 2: CORINE Land Cover класе за општину Дољевац

Шифра	Намена земљишта	Површина (km <sup>2</sup> )	Удео у укупној површини (%)	Оцена
112	Индустријска зона	7.53	5.65	1
131	Области екстракције минералних сировина	1.31	0.98	0
142	Спортски и забавни садржаји	0.14	0.11	0
211	Пољопривредне површине	66.23	49.73	3
231	Ливаде	0.32	0.24	2
242	Комплекс пољопривредних површина	9.73	7.31	4
243	Пољопривредне површине са значајним уделом природне вегетације	12.8	9.61	3
311	Листопадна шума	25.57	19.2	1
324	Прелазне жбунасте области	6.65	4.99	1
411	Мочваре	1.35	1.01	0
511	Водене површине	1.54	1.16	0
	Укупно	133.17	100	

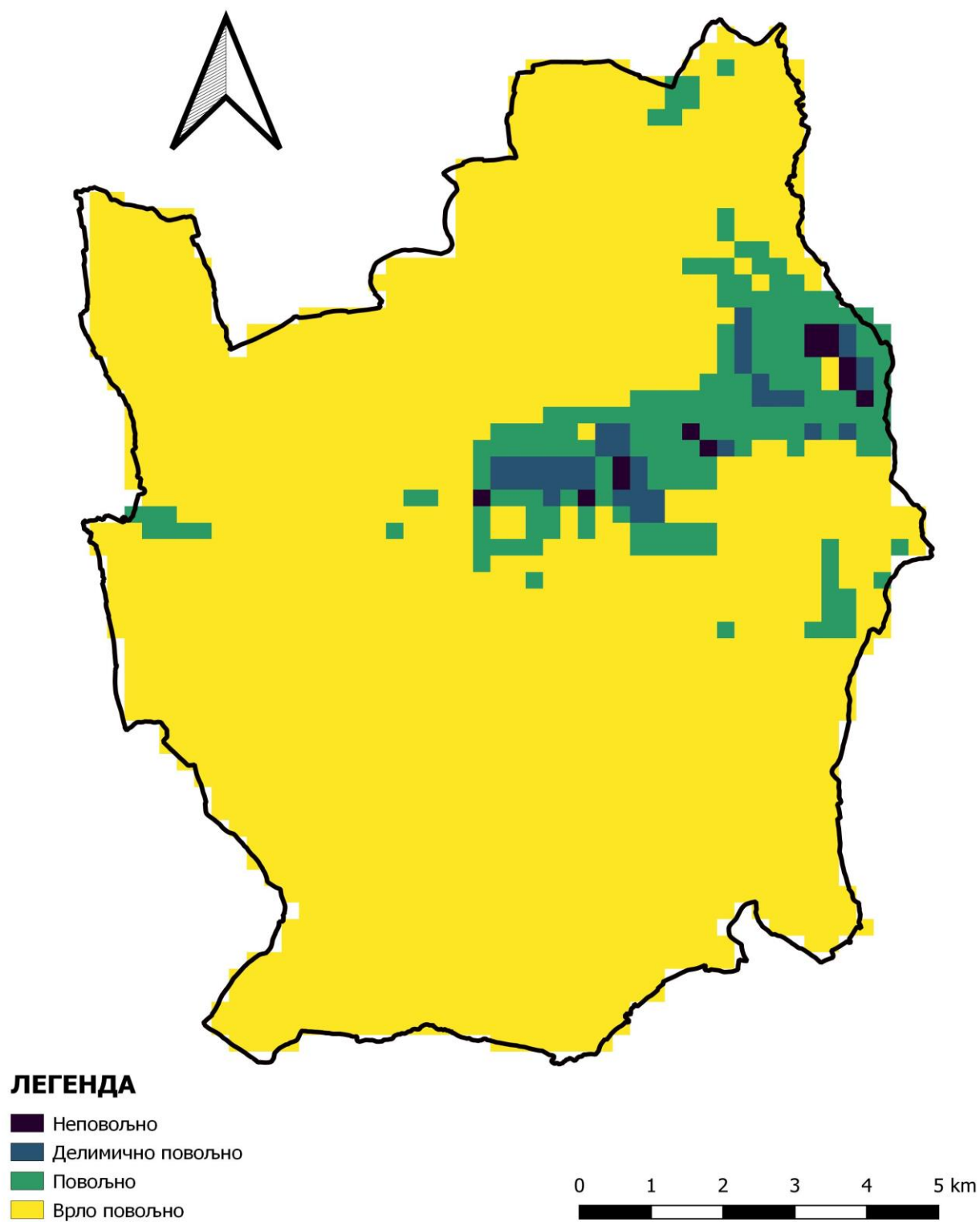
**Табела 3:** CORINE Land Cover класе за општину Дољевац

## 7.2. Глобално зрачење под оптималним нагибом

Global irradiance at optimum til (GTI) или глобално зрачење под оптималним нагибом је укупна количина сунчевог краткоталасног зрачења које прима површина која се налази под оптималним углом у односу на Сунчеве зраке (kWh/m<sup>2</sup>). За територију општине Дољевац коришћен је GTI за 2020. годину који је јавно досупан податак. На основу анализираних података закључено је да се 88.44% анализираних територије прима између 1600 и 1625 kWh/m<sup>2</sup> сунчевог краткоталасног зрачења. Добијени резултати су рекласификовани на следећи начин:

Вредност (kWh/m <sup>2</sup> )	Повољност
0-1530	Неповољно
1530-1570	Делимично повољно
1570-1600	Повољно
1600-1630	Врло повољно

**Табела 4:** GTI рекласификација за општину Дољевац



Слика 3: GTI класе за општину Дољевац

Повољност	km <sup>2</sup>	Удео у укупној површини %
Неповољно	0.76	0.62
Делимично повољно	2.28	1.87
Повољно	10.96	9.03
Врло повољно	107.27	88.44
Укупно	121.27	100

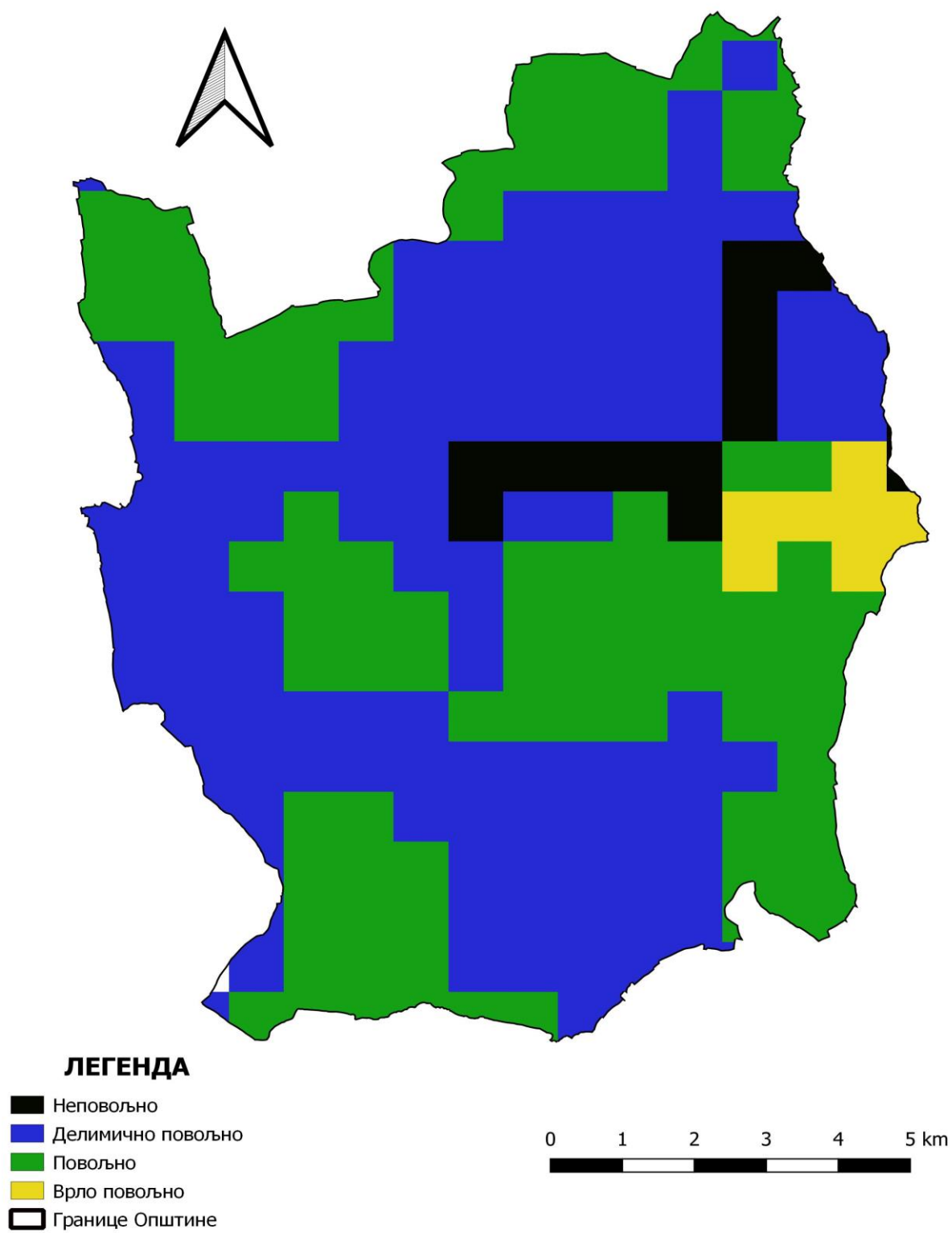
**Табела 5:** GTI класе за општину Дољевац

### 7.3. Потенцијална производња електричне енергије из соларних модула

Potential photovoltaic electricity production (PVOUT) је потенцијал производње електричне енергије из 1kW инсталиране снаге модула (kWh/kWp). За територију општине Дољевац коришћен је PVOUT за 2020. годину који је јавно досупан податак. На основу анализираних података закључено је да се највећи део Општине (91.07%) има потенцијал производње електричне енергије између 1300 и 1330 kWh/kWp. Добијени резултати су рекласификовани на следећи начин:

Вредност (kWh/kWp)	Повољност
0-1300	Неповољно
1300-1315	Делимично повољно
1315-1330	Повољно
1330-1340	Врло повољно

**Табела 6:** PVOUT рекласификација за општину Дољевац



Слика 4: PVOOUT класе за општину Дољевац

Повољност	km <sup>2</sup>	Удео у укупној површини %
Неповољно	9.02	5.94
Делимично повољно	71.65	47.21
Повољно	66.57	43.86
Врло повољно	4.51	2.97
Укупно	151.75	100

**Табела 7:** PVOUT класе за општину Дољевац

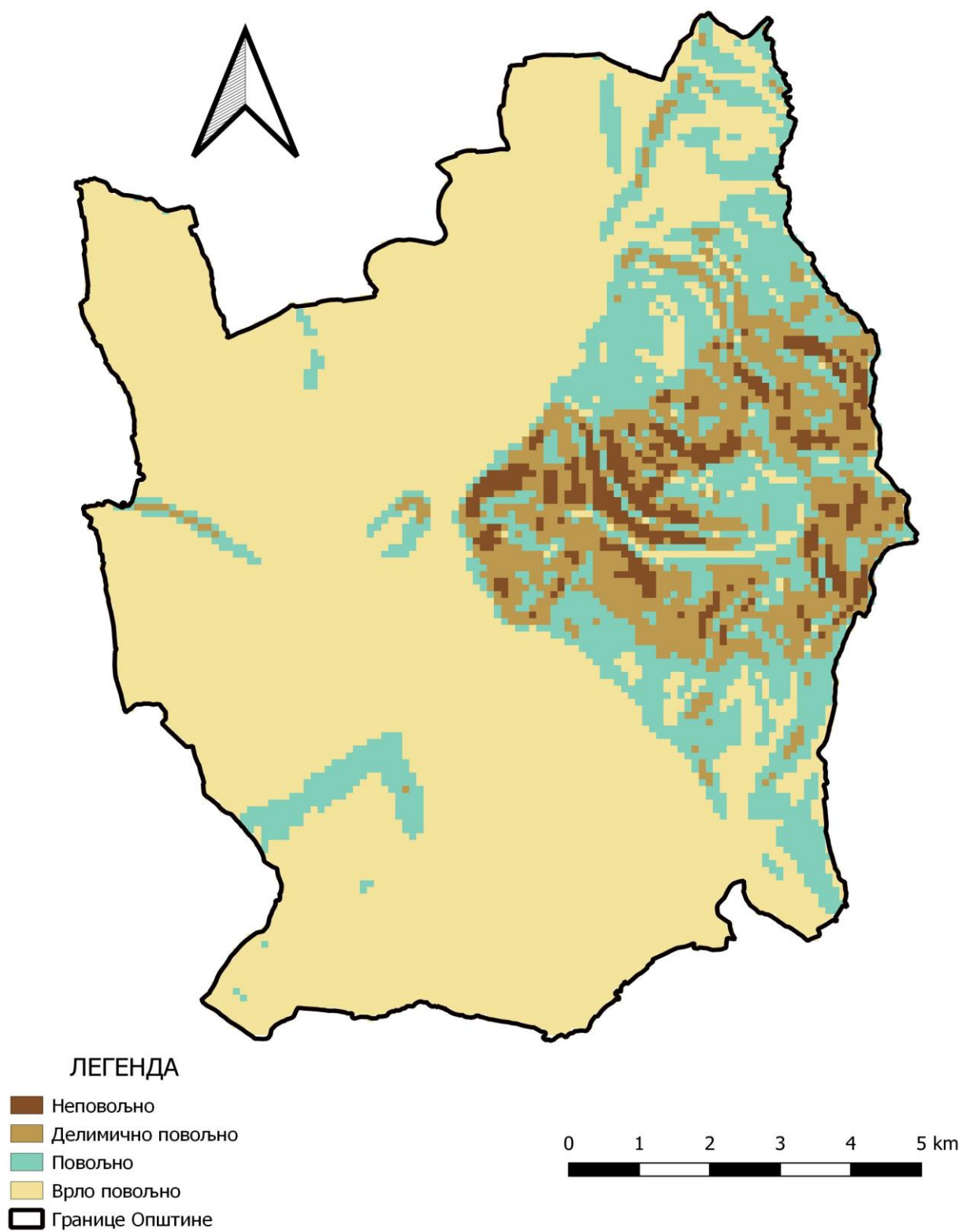
#### 7.4. Нагиб терена

Нагиб терена подразумева угао који заклапа површина терена са хоризонталном равни, односно угао који тангента одређене тачке терена заклапа са хоризонталном равни те тачке. Изразит проблем са великим нагибима јесте губтак тла ерозијом. Мали нагиби без значајнијег удела експозиције, али и слаб интензитет ерозивних процеса, уз остале повољне природне услове омогућавају терену развој интензивне ратарске производње. Трошкови коришћења и ефикасност пољопривредне механизације, као и услови наводњавања, овде су изразито повољни. Највећи део општине Дољевац (68.22%) припада терену са нагибом од 0 до 5°, док се нешто већи нагиби запажају у источном делу општине. Нагиб је добијен на основу дигиталног модела висина, са просторном резолуцијом од 100 × 100 m. Добијени резултати су рекласификовани на следећи начин:

Нагиб	Повољност	km <sup>2</sup>	Удео у укупној површини %
0-5	Врло повољно	82.72	68.22
5-10	Повољно	21.3	17.56
10-15	Делимично повољно	13.04	10.75
>15	Неповољно	4.19	3.45
	Укупно	121.25	100

**Табела 8:** Класификација повољности терена у односу на нагиб





Слика 5: Класификација повољности терена у односу на нагиб

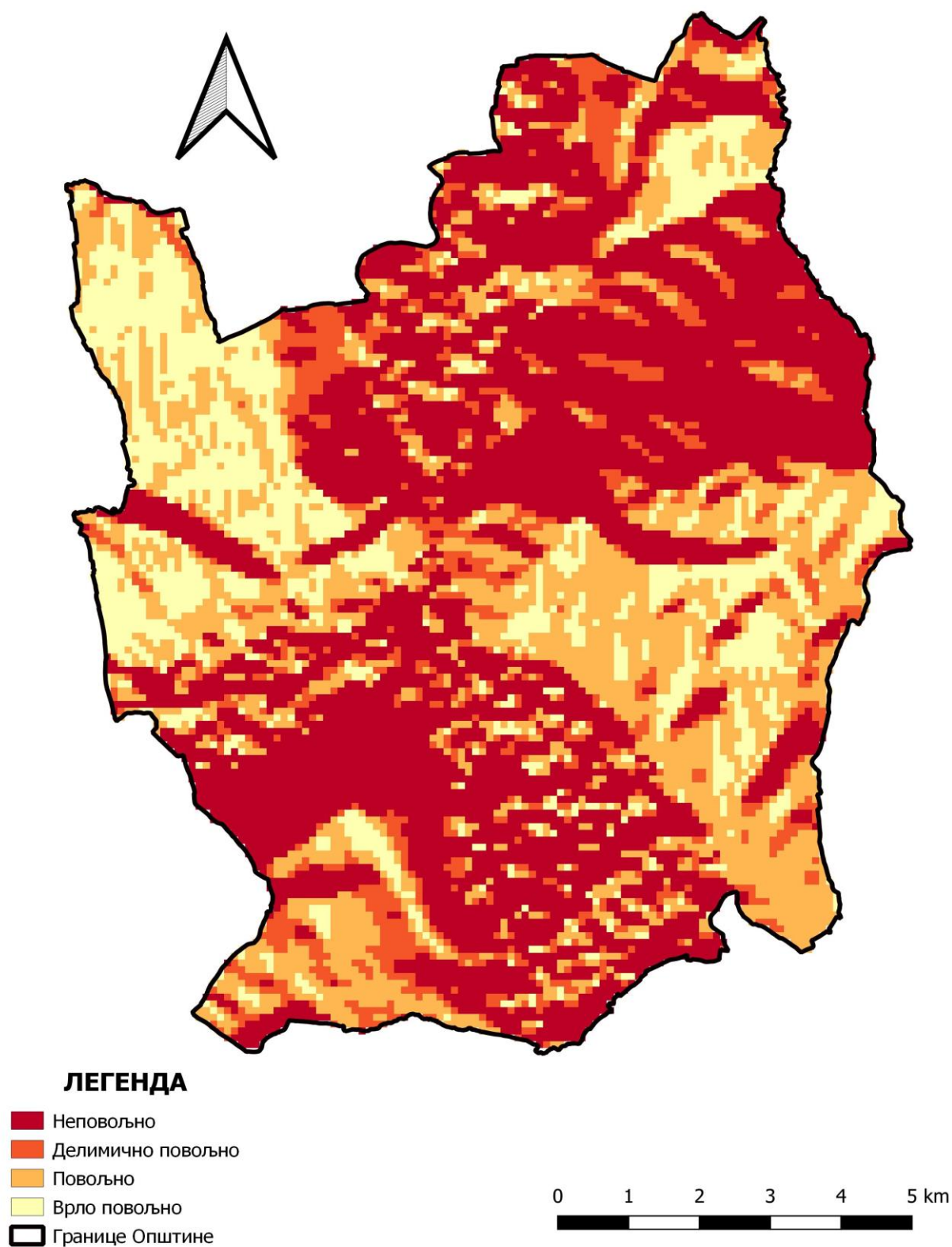
### 7.5. Експозиција терена

Експозиција терена представља оријентацију нагиба терена у односу на стране света. Експозиција терена може имати вредности од  $0^{\circ}$  (правац севера) до  $360^{\circ}$  (опет правац севера). Вредност сваке ћелије грида експозиције указује на оријентацију површине терена у зависности од угла нагиба. Северна и јужна експозиција имају потпуно супротне карактеристике. На осојну страну сунчеви зраци падају под мањим углом него на присојну, због чега је загревање површине интензивније на јужним експозицијама. Поред наведених, експозиције имају утицаја и на висину снежне границе, типове вегетације, индиректно утичу на климу итд..

Експозиција је добијена на основу дигиталног модела висина, са просторном резолуцијом од  $100 \times 100$  m.. Експозиција је класификована на следећи начин:

Експозиција (азимут)[ $^{\circ}$ ]	Повољност	km <sup>2</sup>	Удео у укупној површини %
157,5-202,5	Врло повољно	19.28	15.9
112,5-157,5 202,5-247,5	Повољно	31.6	26.06
90-112,5 247,5-270	Делимично повољно	14.45	11.91
0-90 270-360	Неповољно	55.92	46.11
	Укупно	121.25	100

**Табела 9:** Класификација повољности терена у односу на експозицију



Слика 6: Класификација повољности терена у односу на експозицију

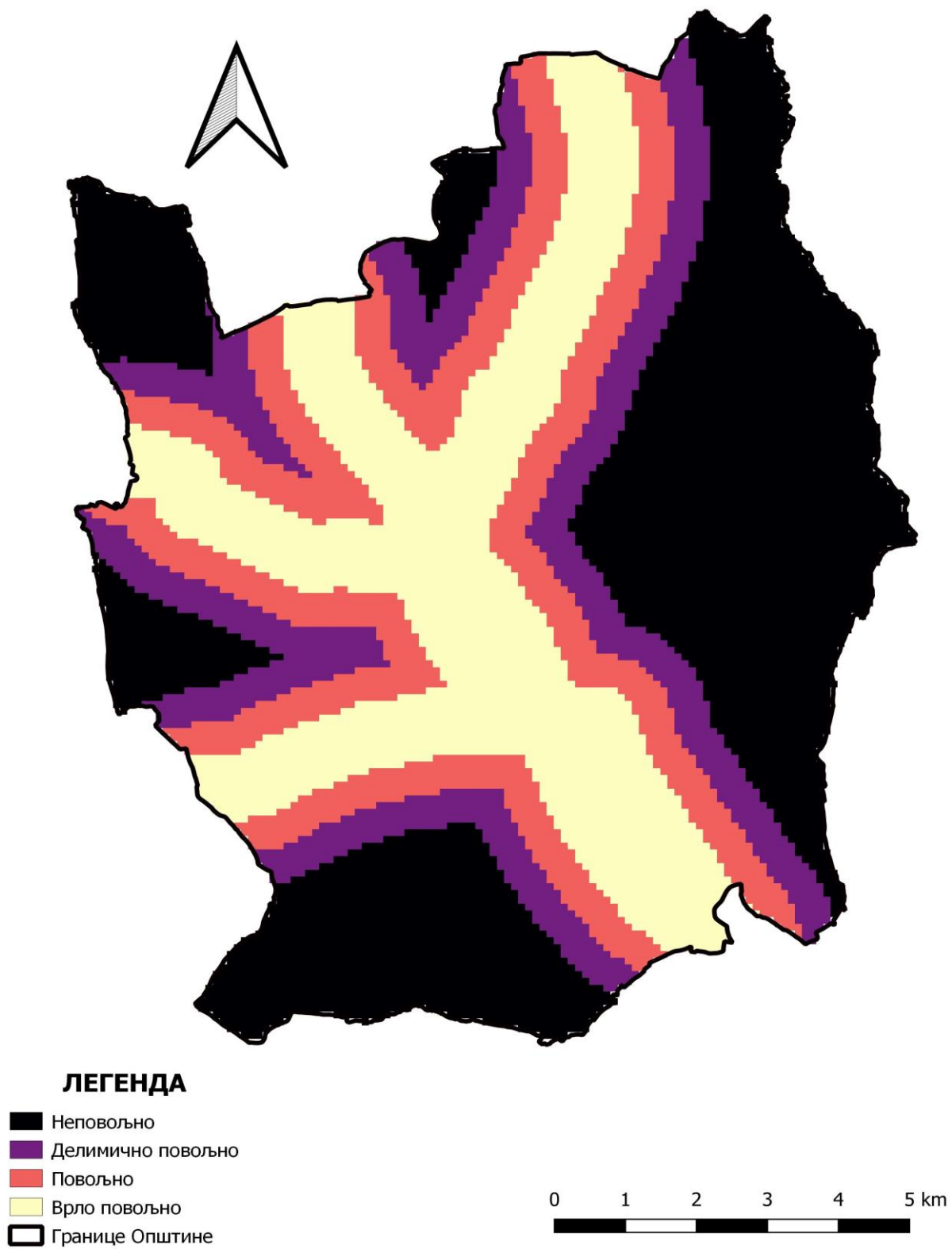
## 7.6. Саобраћајна инфраструктура

Саобраћајна инфраструктура такође има битан утицај на избор најпогоднијих локација за изградњу соларних електрана. Близина приступног пута до потенцијалне локације смањиваће додатне трошкове везане за изградњу фотонапонске електране и спречити даљу деградацију животне средине. Повољност терена се огледа у саобраћајној повезаности локација како би се до електрана могло најефикасније и на најлакши могући начин стићи, како због одржавања тако и због трансфера материјала на подручје изградње електране. Приступачност локације, односно саобраћајна повезаност, омогућава приступ грађевинским машинама, камионима за превоз конструкцијског материјала, као и возилима службе за хитне интервенције и одржавање постројења.

На територији општине Дољевац у сврху избора најприступачнијих локација за изградњу соларних електрана посматрају се државни путеви Ia, IIa и IIб реда. Око државних путева постављене су бафер зоне одређених ширина и вредноване су на следећи начин:

Удаљеност од саобраћајница [m]	Повољност
<500	Врло повољно
500-1000	Повољно
1000-1500	Делимично повољно
>1500	Неповољно

**Табела 10:** Класификација повољности терена у односу на удаљеност од саобраћајница



Слика 7: Класификација повољности терена у односу на удаљеност од саобраћајница

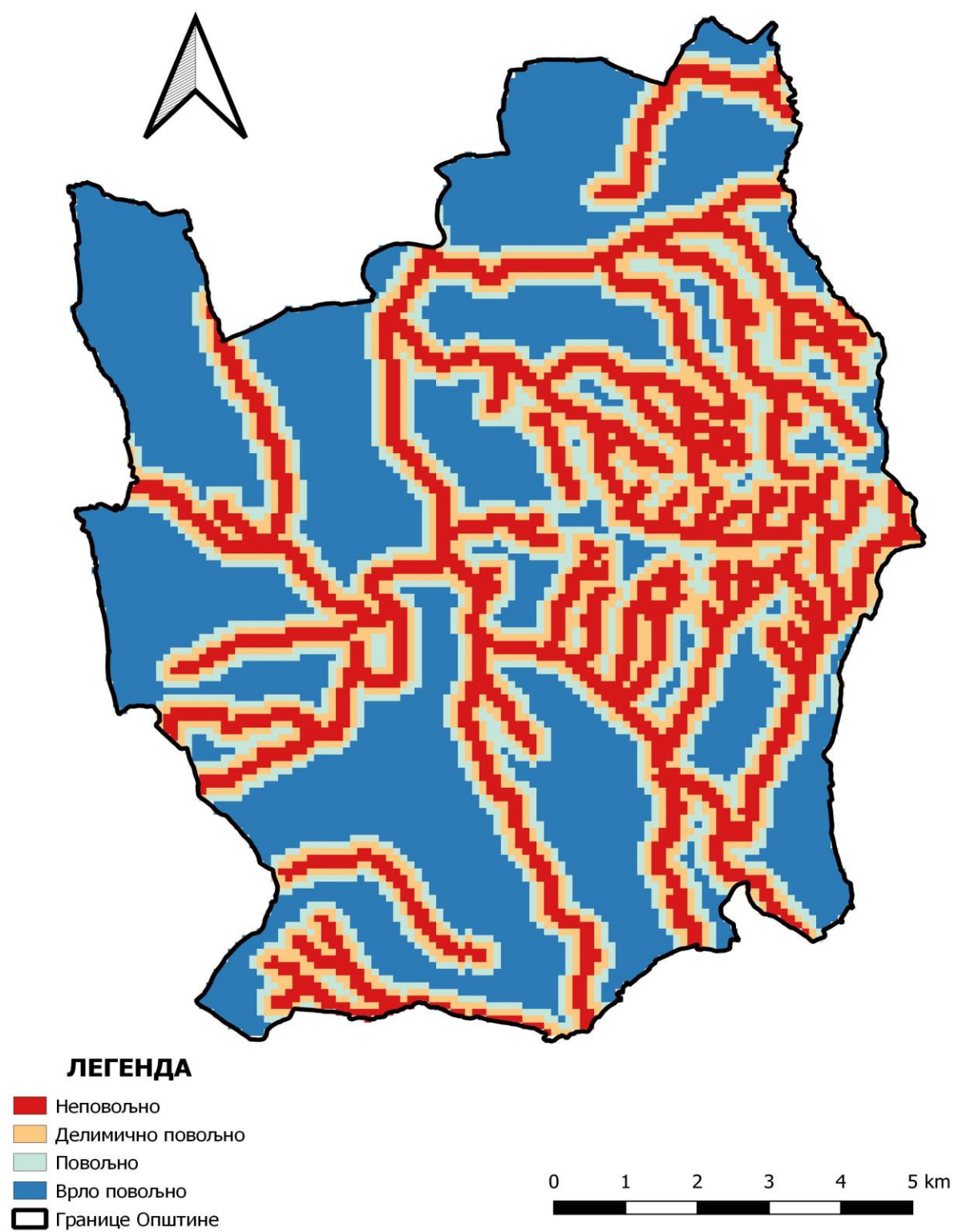
### 7.7. Речна мрежа

Битан критеријум за вредновање простора је такође удаљеност од водених површина. Приликом лоцирања фотонапонских система на плавним површинама се мора водити рачуна, с обзиром да овакви системи могу повећати ризик од плављења. Због бујичног карактера појединих водотока и ризика од плављења, пожељно је да будућа локација за изградњу фотонапонске електране буде што удаљенија од водотока и водених површина.

Трошкови водоснабдевања, било да се ради о каналисању 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. Око речне мреже постављене су бафер зоне одређених ширина и вредноване су на следећи начин:

Удаљеност од река [m]	Повољност
<100	Неповољно
100-200	Делимично повољно
200-300	Повољно
>300	Врло повољно

**Табела 11:** Класификација повољности терена у односу на удаљеност од река



Слика 8: Класификација повољности терена у односу на удаљеност од река

## 8. РЕЗУЛТАТИ

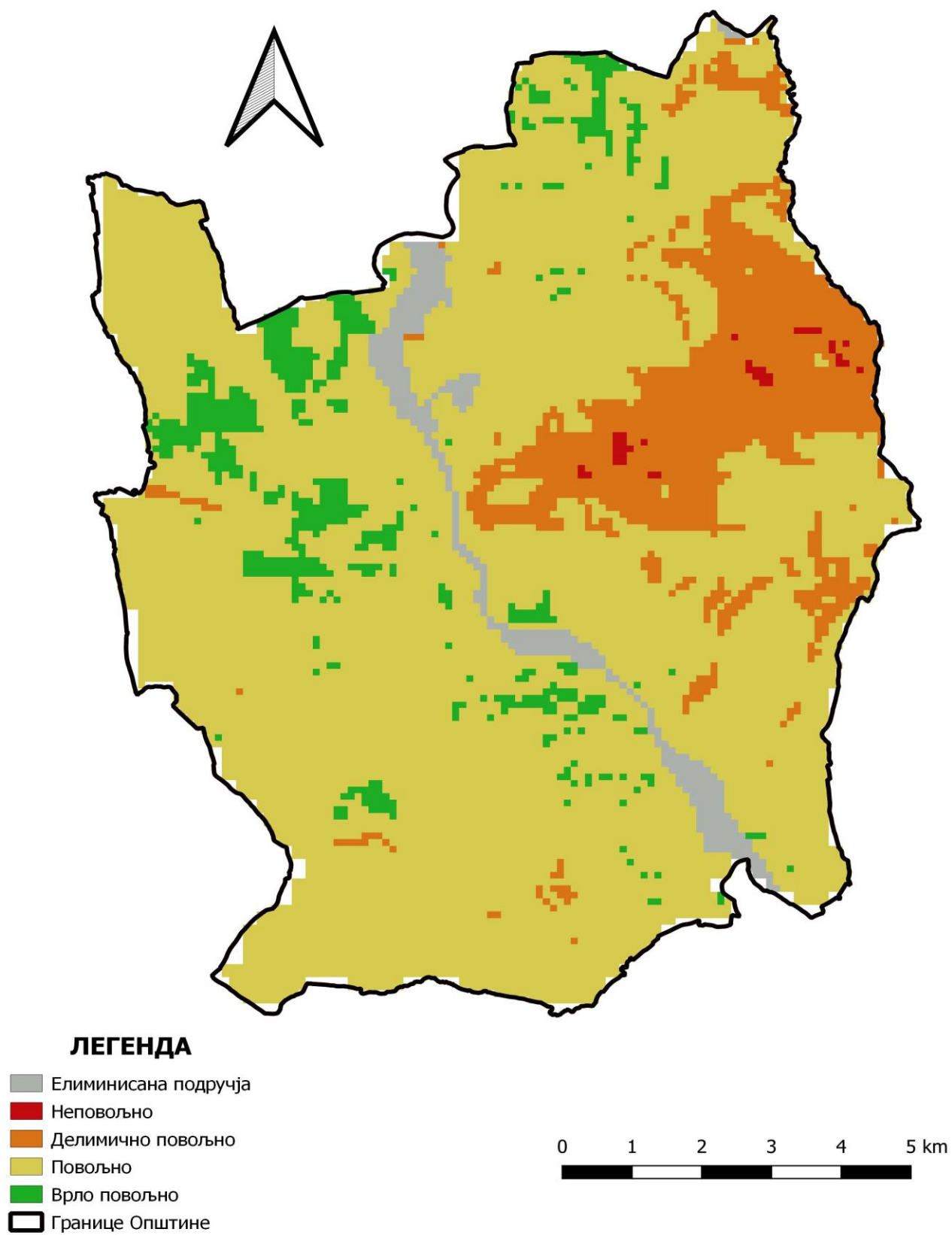
Површина и удео у укупној површини општине које заузимају класе повољности приказане су у Табели 12.

Повољност	km <sup>2</sup>	Удео у укупној површини %
Елиминационо	9.88	5.77
Неповољно	3.38	1.97
Делимично повољно	22.98	13.43
Повољно	133.02	77.78
Врло повољно	11.62	6.79
Укупно	171	100

**Табела 12:** Класе повољности терена општине Дољевац за изградњу фотонапонске електране

На територији Општине Дољевац чак 77.78% територије је повољно за изградњу фотонапонске електране. Ток Јужне Мораве, као и шумска вегетација, спортски и рекреативни терени, минерална налазишта и мочваре су служили као елиминациони фактори. Нагиб терена је већим делом повољан али удаљавањем ка истоку повећава се и квалитет територије за изградњу електране опада. Велика површина терена чак 46.11% окренута је ка северу и прима најмање сучневог зрачења. Због чега је тај простор на карти експозиције приказан као неповољан.





Слика 9: Класе повољности терена општине Дољевац за изградњу фотонапонске електране

## 9. ЗАКЉУЧАК

Територија општине је изузетно повољна за постављање соларних електрана. Повољне и врло повољне површине заједно заузимају преко 80% обухвата обе општине из чега следи да има довољно места за изградњу таквих система. Густина саобраћајне мреже нам указује на веома добру заступљеност магистралних и регионалних путева у оквиру општине.

Постављању соларних система више одговара заступљеност повољних површина и облика у чему се општина истиче, мањи су трошкови обраде и припреме терена. Температуре степско континенталне климе у току лета мање би утицале на континуирано одступање у производњи енергије, у односу на брдско планинско подручје са нешто нижим просечним годишњим температурама.

Србија располаже натпросечним ресурсима енергије сунца у односу на земље Европе и морала би да примени бољу енергетску стратегију која би обухватала иновативне мере ефикасног коришћења енергије. Србија спада у групу земаља чија потрошња енергије, нарочито електричне, није превише рационална, потребно је повећати интересовање за обновљиве изворе енергије и омогућити едуковање становништва о значају и предностима енергетске ефикасности и коришћењу соларне енергије. Посебно треба нагласити економски аспект али и аспект очувања животне средине. Просечно сунчево зрачење у Србији је за око 40% веће од европског просека и износи око 1400 kWh/m<sup>2</sup> годишње. Енергија коју Сунце током године емитује на 1 m<sup>2</sup> крова куће у Србији је већа од еквивалентне енергије 130 литара нафте.

