

ПРИМЕНА ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ АНР ГИС АНАЛИЗЕ У ОДАБИРУ ПОВОЉНИХ ЛОКАЦИЈА ЗА ИЗГРАДЊУ ВЕТРОПАРКА НА ТЕРИТОРИЈИ ГРАДА ЗРЕЊАНИНА

Наталија Николић¹

Апстракт: Енергија ветра има велики потенцијал коришћења у данашњим условима све веће потребе за енергијом. Осим што спада у „чистије“, обновљиве изворе енергије, енергија ветра је погодна за коришћење и због ниске цене одржавања, производње енергије и малог утицаја на животну средину. У студијама спроведеним од стране различитих институција и научника, територија Града Зрењанина се налази углавном у другој и трећој зони снаге ветра. Најдоминантнији ветар је кошава, која дува из правца југоистока и југа. Коришћена метода обраде података у овом раду била је метода аналитичког хијерархијског процеса (АНР). Критеријуми у овом раду били су удаљеност од насеља, путева и заштићених подручја, као и намена земљишта. Оцене су имале вредности 0-4, где су само класе повољности на којима није уопште могуће градити ветропаркове имале оцену 0. Добијени резултати показују да чак 46,84% територије има најповољније услове за изградњу ветропарка на основу наведених критеријума. Није могуће градити ветропаркове на 32,56% територије, а 3% има неповољне услове. Повољне услове за изградњу има 17,6% територије. Може се закључити, на основу ових критеријума, да је у Зрењанину на скоро 65% територије могуће изградити ветропарк.

Кључне речи: енергија ветра, просторна анализа, АНР метода

УВОД

Са наглим повећањем броја становника у 20. и 21. веку расте и потреба за енергијом. Традиционални, необновљиви извори енергије се исцрпљују и њихова цена расте. Из ових разлога државе се све више окрећу добијању енергије из алтернативних, обновљивих извора - енергија Сунца, ветра, геотермална енергија... Поред тога што су ови извори обновљиви, они су такође и много „чистији“ - не загађују животну средину (Benti et al, 2023; Nasery et al, 2021). Ветар је један од најатрактивнијих алтернативних извора енергије, с обзиром на ниску цену одржавања, производње енергије и релативно мали утицај на животну средину (Zalhaf et al, 2021).

Поред свих предности, треба се осврнути и на негативне утицаје производње енергије снагом ветра. Најјачи је утицај на птице и дивље животиње, где ветрењаче могу да проузрокују промене у животним циклусима и навикама животиња. Негативан утицај може се приметити и у нарушавању пејзажа предела и у електромагнетним сметњама у околини. Одабир најбоље локације за постављање ветропарка требало би да умањи број негативних појава (Zalhaf et al, 2021).

У Србији је урађено неколико студија од стране институција - једна ради утврђивања енергетског потенцијала ветра у Србији (Путник и сар., 2002), затим у склопу истраживања потенцијала соларне и ветро енергије у Србији (Гбурчик и сар., 2005) и ради израде атласа ветрова Аутономне Покрајине (АП) Војводине (Катић и сар., 2008). На основу друге две студије, закључено је да Град Зрењанин спада у другу и трећу категорију јачине ветра. Ван ових студија, малобројни научни радови који користе АХП методологију углавном се односе на потенцијал енергије ветра у Војводини (Gigović et al, 2017; Рамуџар et al, 2017), Србији као целини (Doljak, Stanojević, Miljanović, 2021; Josimović et al, 2023) или источној Србији (Potic et al, 2021; Stojčetoivić, Živković, Nikolić, 2016).

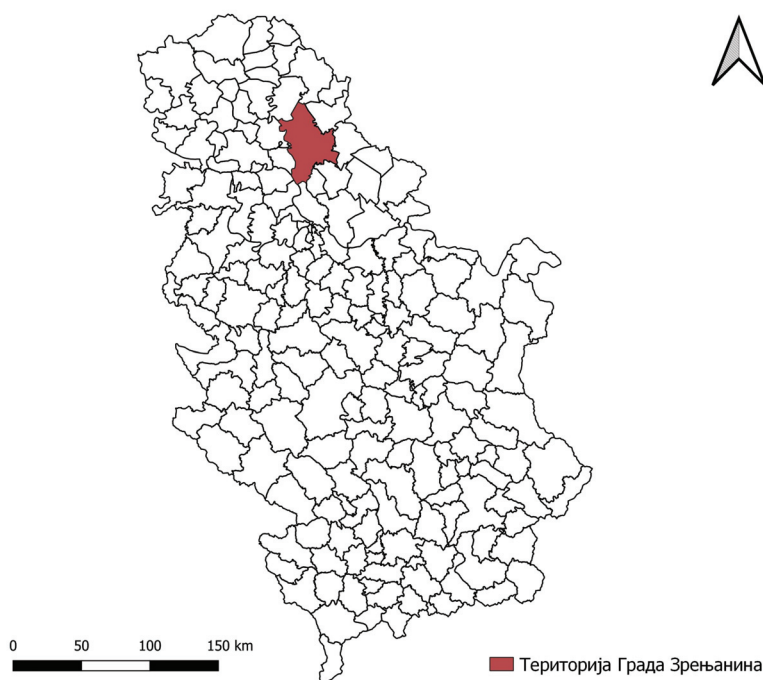
Многобројне су анализе које се могу користити за одређивање повољности локације за различите намене. Метода аналитичког хијерархијског процеса (АХП) је најчешће коришћена метода вишекритеријумског одлучивања у одређивању повољности локације за добијање

¹ Докторанд, nacanikolic@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9983-8457

енергије из обновљивих извора из неколико разлога. Пре свега, ова метода комбинује квантитативне и квалитативне критеријуме за доношење одлуке. Други важан аспект је тај што се АХП ослања на мишљења стручњака и математичке принципе, те је метода која пружа задовољавајући степен објективности (Zalhaf et al, 2021).

ГЕОГРАФСКИ ПОЛОЖАЈ

Град Зрењанин налази се на северу Србије, у АП Војводини (Карта 1). По величини је други највећи у Србији, са површином од око 1.324 km² и припада Средњобанатском округу. Граничи се са следећим општинама (од севера према истоку): Кикинда, Житиште, Сечањ, Ковачица, Опово, Палилула, Стара Пазова, Инђија, Тител, Жабаљ и Нови Бечеј.



Карта 1: Положај Града Зрењанина у Србији

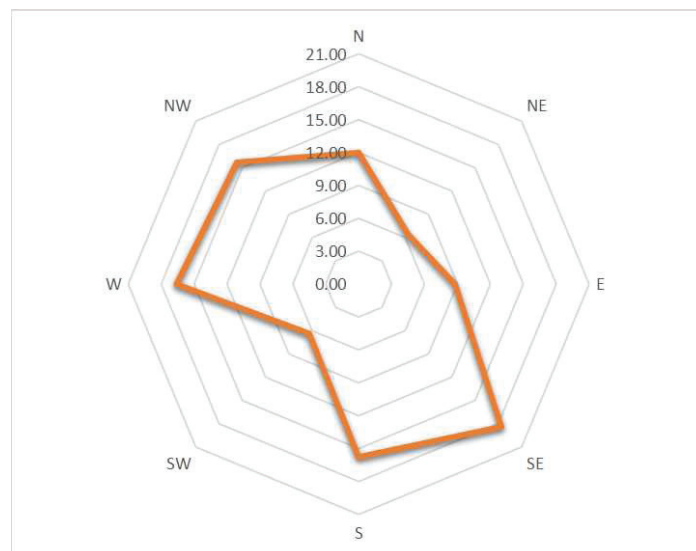
Извор: Николић Н., 2024, на основу <https://download.geosrbija.rs/download/>

Град има 22 насеља, 21 сеоско и једно градско (Зрењанин), и укупно 105.722 становника (Републички завод за статистику, 2023).

ФИЗИЧКО-ГЕОГРАФСKE КАРКТЕРИСТИКЕ

Град Зрењанин се налази у Панонској низији. Рељеф овог простора условљен је издизањем околних веначних планина почетком миоцена. Панонско море почиње да попуњава простор и простор Панонске низије почиње да тоне. Прекидањем везе између Панонског и Средоземног мора крајем миоцена, Панонско море постаје језеро. У овом периоду се таложи велика количина седимената – песак, алеврити, глина (Хаџић et al, 2005). Најзначајнија стена за Војводину, а тако и Град Зрењанин, јесте лес. Зрењанин се налази на Новобечејско-зрењанинској лесној тераси (Gaudenyi et al, 2014). Све ово условило је да терен врло низак (65-85 m) и заравњен.

Клима Зрењанина је изразита степско-континентална. Средња годишња температура износи 11,2°C, а просечна годишња количина падавина око 622 mm (Зељковић, 2015). Најдоминантнији ветар у целом Банату је кошава (Графикон 1). Она настаје услед струјања ваздуха из јужне Русије према Средоземљу, а у Србију долази долином Дунава и пролази кроз Ђердапску клисуру (Катић и сар., 2008).



Графикон 1: Честине правца ветра за мерну станицу Зрењанин
Извор: Николић Н., 2024, на основу Републички хидрометеоролошки завод (РХМЗ), 2018-2022.

Графикон 1 направљен је на основу података из Метеоролошких годишњака 1 - Климатолошки подаци (РХМЗ), за године 2018-2022. На основу њега закључује се да су најчешћи правци ветра југоисток и југ (правци дувања кошаवे), а затим запад и северозапад.

На територији Града Зрењанина налазе се многобројни хидролошки објекти. Река Тиса дефинише западну границу Града, а Тамиш протиче југоистоком. Град пресеца и канал Дунав-Тиса-Дунав (ДТД). Најзначајније стајаће воде су мртваје у близини Тисе, језера у склопу бање Русанде на северу и Царска бара.

На лесним платоима и терасама Војводине јавља се чернозем. Зрењанин није изузетак. На алувијалним равнима уз обалу Тисе заступљена је ритска црница, као и фувиосоли (Хаџић et al, 2005).

Информације о намени земљишта добијени су на основу података Координације информација о животној средини (CORINE) из 2018. године (<https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018>). С обзиром на то да се територија Града налази на плодном земљишту и да је пресецају многобројни водни токови, није изненађујуће да највећи део територије заузимају обрадиве површине (64,34%), а затим пашњаци (6,85%) и природне травнате површине (5,79%). Дисконтинуиране урбане површине и водене површине заузимају, редом, 4,56% и 4%, а остали део територије чине други типови површина. Како се ветропаркови не могу градити у насељима и на воденим површинама, 8,56% територије Града може се аутоматски сматрати неповољном за изградњу.

МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ

Истраживање повољности локације за изградњу ветропарка на некој територији почиње пре свега прегледом литературе, на основу које се бира и методологија. У претходним поглављима дата су објашњења одабира локације и методологије, а у овом поглављу биће дат преглед литературе и критеријума који су коришћени за израду других радова са истом или сличном тематиком и објашњење коришћених критеријума у овом раду.

У табели испод (Табела 1) дат је преглед критеријума коришћених у одређеним научним радовима са истом или сличном тематиком.

Табела 1: Критеријуми коришћени у научним радовима

	Benti et al, 2023	Zalhaf et al, 2021	Potić et al, 2021	Mahdy, Bahaj, 2018	Doljak, Stanojević, Miljanović, 2021	Nasery et al, 2021
Брзина ветра (m/s)	+	+			+	+
Енергија ветра (kWh)			+	+		
Удаљеност од насеља	+	+	+			+
Удаљеност од струјних водова	+	+		+	+	+
Удаљеност од путева	+	+	+	+	+	+
Удаљеност од река	+				+	
Намена земљишта	+		+		+	+
Надморска висина		+			+	+
Нагиб	+	+	+		+	+
Удаљеност од аеродрома		+			+	
Заштићена подручја				+	+	
Плавна подручја					+	
Подручја удара грома		+				

Научни радови из табеле писани су за следеће државе (редом): Етиопија, Судан, Србија, Египат, Србија, Авганистан. Од ових шест радова, два (Doljak, Stanojević, Miljanović, 2021; Zalhaf et al, 2021) су писана за територије целих држава, а остали за мање целине унутар држава. Рад египатских научника (Mahdy, Bahaj, 2018) бави се могућностима изградње ветропаркова у приморју или ван главне копнене територије државе. Из овог разлога, у овом раду су коришћени и многи критеријуми и подаци који нису наведени у табели, с обзиром на то да на територији Града Зрењанина нема могућности за израду таквих ветропаркова.

Од свих 15 наведених критеријума, само се удаљеност од путева налази у сваком научном раду. Она је значајан критеријум за постављање ветропаркова - удаљеност би требала да буде што мања ради лакше организације превоза радника и што мањег утицаја на пределе који нису изложени већем утицају човека (Benti et al, 2023; Zalhaf et al, 2021). Ветар је анализиран на два начина - кроз његову брзину (изражену у m/s) или енергију коју производи (изражену у kWh). Нагиб и надморска висина такође представљају значајне критеријуме и коришћени су у скоро свим научним радовима. Намена земљишта и удаљеност од насеља се такође јављају у више од половине радова из табеле, што говори да се мора обраћати пажња на друштвеногеографске факторе простора при постављању ветропаркова.

На основу проучених радова одабрани су и критеријуми за овај рад. Брзина и енергија ветра неће спадати у критеријуме, с обзиром на то да на територији Града постоји само једна метеоролошка станица, а подаци из претходних студија су различити, интерполирани и у неким аспектима неусаглашени, те нису погодни за прецизније анализе. Даље, надморска висина и нагиб такође неће бити узети у обзир - највећа разлика у висинама износи око 20 m и терен је заравњен. Најзначајнији критеријуми за Град Зрењанин били би следећи: удаљеност од насеља, путева и заштићених подручја, као и намена земљишта. У табели испод (Табела 2) дати су подаци о коришћеним критеријумима.

Табела 2: Критеријуми, типови и извор коришћених података

Критеријум	Тип податка	Извор податка
Насеља	Вектор (.shp, полигон)	https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018
Намена земљишта	Вектор (.shp, полигон)	https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018
Путеви	Вектор (.shp, линија)	https://download.geofabrik.de/europe/serbia.html
Заштићене површине	Вектор (.shp, полигон)	UNEP-WCMC and IUCN (2024)

Како је површина Града релативно мала и приказује се у средњој размери, насеља се могу видети у облику полигона, а не тачака. Исто важи и за одређене водене површине. Ове површине могу се веома добро видети на слоју намене земљишта, те је овај слој коришћен као један од критеријума, а за типове земљишта који представљају насеља и водене површине (112, 121, 133 - насеља и изграђени простор; 511, 512 - водене површине) додељена је класа најмање погодности. На основу тог слоја направљен је и бафер удаљености од класа 112, 121 и 133, који ће бити коришћен за одређивање повољности терена за постављање ветропаркова.

На територији Града Зрењанина налазе се четири заштићена подручја - Специјални резерват природе (СРП) Царска бара, СРП Ритови доњег Потисја, СРП Окањ бара и Парк природе (ПП) Русанда. Ови простори морају одмах бити изузети из повољних локација, а и ветропарк мора бити довољно удаљен од њих ради смањења негативних утицаја ветропаркова на живи свет.

На основу свих ових критеријума и проучене литературе, састављена је табела са класама повољности (Табела 3).

Табела 3: Класе повољности за одабране критеријуме

Критеријум	Класа повољности	Оцена	Распон вредности
Намена земљишта (CLC18 класе)	Најповољније	3	211, 222, 242, 243
	Повољно	2	311, 321, 324
	Неповољно	1	131, 142, 231, 411
	Најнеповољније	0	112, 121, 133, 511, 512
Удаљеност од насеља (km)	Најповољније	4	3 - 10
	Повољно	3	2 - 3
	Неповољно	2	1 - 2
	Најнеповољније	1	0 - 1
Удаљеност од путева (km)	Најповољније	4	0,2 - 2
	Повољно	3	2 - 6
	Неповољно	2	6 - 10
	Најнеповољније	1	0 - 0,2
Удаљеност од заштићених подручја (km)	Најповољније	4	> 10
	Повољно	3	3 - 10
	Неповољно	1	1 - 3
	Најнеповољније	0	0 - 1

Најповољније класе намене земљишта су класе пољопривредног земљишта, затим следе природне шумске и травнате површине, за њима мочваре, локације екстракције минералних сировина, простори за спорт и рекреацију и пашњаци. Оцену 0 добиле су претходно наведене класе насељених места и водених површина, јер на њима није уопште могуће градити ветропаркове. У овом критеријуму нема оцене 4, с обзиром на то да ниједна локација не може бити апсолутно повољна, али неке локације су ипак повољније од других. Врло слична

класификација, у складу са истраживаним просторима, дата је и у радовима Benti et al (2023), Nasery et al (2021) и Potić et al (2021).

Класификација по удаљености од путева и насеља урађена је по узору на класификацију Nasery et al (2021). Најмању оцену добили су простори који су најближи путевима и насељима. Највећу оцену за удаљеност од насеља добили су простори који су више удаљени од насеља. На територији Града Зрењанина нема веће удаљености од путева од 10 km, те су простори од 0,2 km до 10 km распоређени у три класе.

Оцене за критеријум удаљеност од заштићених подручја додељене су на основу рада Doljak, Stanojević, Miljanović (2021). У овом раду сви простори који су мање од 1 km удаљени од заштићеног подручја аутоматски су елиминисани, те је и у овом раду постављен тај праг. Остале оцене додељене су од стране ауторке.

На основу литературе (Benti et al (2023); Doljak, Stanojević, Miljanović (2021); Nasery et al (2021)) састављена је и матрица тежине критеријума (Табела 4).

Табела 4: Матрица тежине критеријума

	Намена земљишта	Удаљеност од насеља	Удаљеност од путева	Удаљеност од заштићених подручја
Намена земљишта	1	0,33	0,25	0,5
Удаљеност од насеља	3	1	0,5	2
Удаљеност од путева	4	2	1	3
Удаљеност од заштићених подручја	2	0,5	0,33	1

У свим научним радовима највећи значај има критеријум удаљености од путева. Након тог следи удаљеност од насеља, а најмањи значај има критеријум намене земљишта. Удаљеност од заштићених подручја има већи утицај од намене земљишта, а мањи од удаљености од путева и насеља, с обзиром на то да ће сама заштићена подручја свакако имати оцену 0. После израде матрице, она се квадрира, а резултати квадрирања дати су у следећој табели (Табела 5).

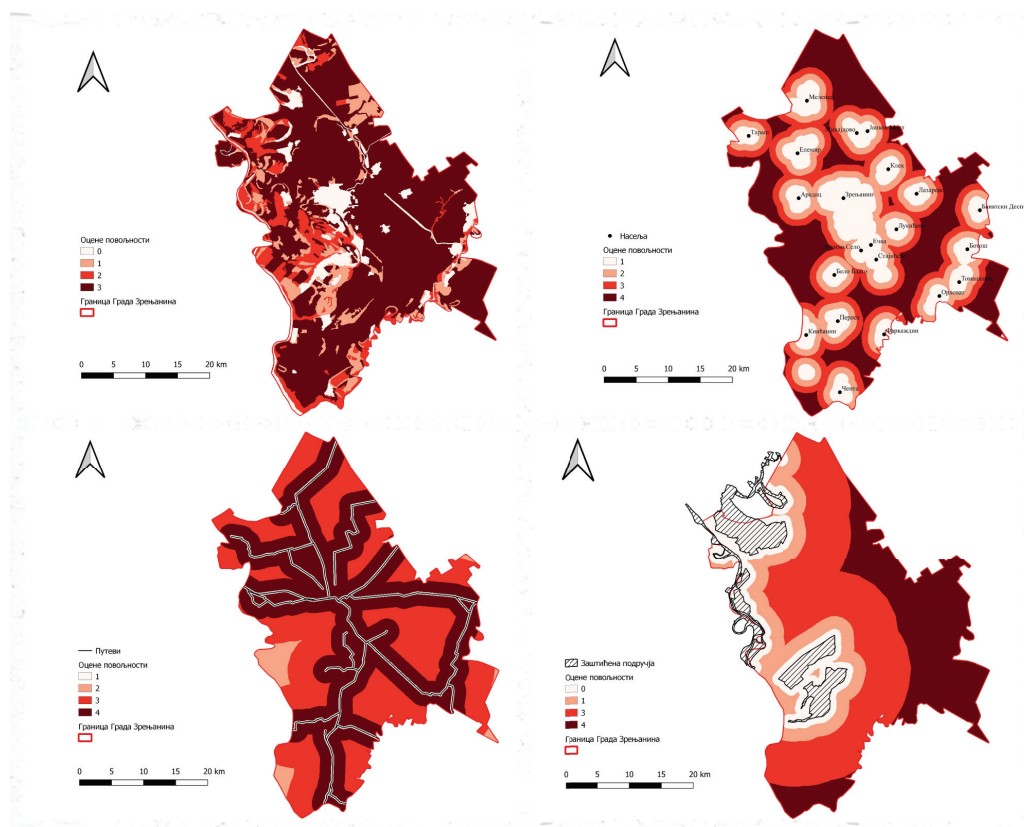
Табела 5: Израчуната матрица тежине критеријума

	Намена земљишта	Удаљеност од насеља	Удаљеност од путева	Удаљеност од заштићених подручја	Сума	Тежински коефицијент
Намена земљишта	3,99	1,41	0,81	2,41	8,62	0,094
Удаљеност од насеља	12	3,99	2,41	7	25,4	0,278
Удаљеност од путева	20	6,82	3,99	12	42,81	0,469
Удаљеност од ЗП	6,82	2,32	1,41	3,99	14,54	0,159

На основу тежинских коефицијената добијена је карта повољности територије за постављање ветропарка. Урађена је и рекласификација слојева намена земљишта и удаљености од заштићених подручја, тако да су најнеповољнијим класама повољности додељене вредности 0, а осталим класама вредност 1. Ови рекласификовани слојеви помножени су са картом повољности, да би локације које су потпуно неповољне за изградњу ветропарка имале вредност пиксела 0, а осталим локацијама се не мењају вредности пиксела.

РЕЗУЛТАТИ

На основу претходно наведених критеријума и резултата АНР методе, добијена је карта повољности локација за изградњу ветропарка на територији Града Зрењанина. Пре него што ова карта буде приказана, биће дате и карте са слојевима који су коришћени за израду финалне.



Слика 1: Оцене повољности за критеријуме (с лева на десно): намене земљишта, удаљености од насеља, удаљености од путева и удаљености од заштићених подручја

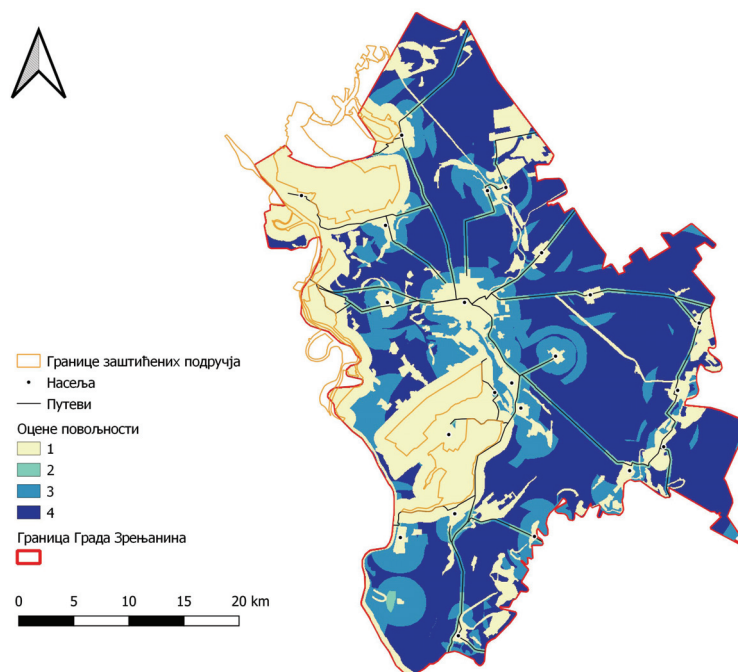
Табела 6: Површина и проценат територије оцена повољности намене земљишта

Критеријум	Оцена повољности	Површина у km ²	Проценат територије
Намена земљишта	0	121,85	9,20
	1	142,185	10,74
	2	146,9425	11,09
	3	913,4425	68,97
Удаљеност од насеља	1	312,63	23,61
	2	296,45	22,39
	3	291,92	22,05
	4	422,98	31,95
Удаљеност од путева	1	99,685	7,53
	2	37,945	2,87
	3	523,1	39,50
	4	663,69	50,11
Удаљеност од заштићених подручја	1	249,50	18,84
	2	185,77	14,03
	3	522,46	39,45
	4	366,70	27,69

Када је реч о критеријуму намене земљишта, највећи део територије Града Зрењанина припада највишој класи повољности - скоро 70%. Нешто мање од 10% припада најнеповољнијој класи на којој уопште није могуће градити ветропаркове. Територија Града прилично правилно распоређена у класе повољности за критеријум удаљености од насеља. Највећа је површина најповољнијих локација са оценом 4. С обзиром на величину истраживане територије, не изненађује чињеница да је скоро 90% територије у повољној и најповољнијој класи за

критеријум удаљености од путева. Најмање је површина које су од неког пута удаљене 6-10 km (оцена 2). На карти су шрафуром представљена заштићена подручја, која се налазе у простору најмање оцено повољности. То су локације на којима уопште није могуће градити ветропаркове. У табели се може видети да највећи део територије припада класи повољности 3 – то су повољне локације.

У растер калкулатору израчуната је предфинална карта – сума свих приказаних карата помножених са одговарајућим израчунатим тежинским коефицијентом. Након тога су додељене вредности 0 оним локацијама које ни у ком случају не могу постати потенцијалне локације за изградњу ветропарка по већ објашњеном принципу. Таква карта је рекласификована, тако да сви пиксели који имају вредности од 0 до 1 добијају оцену повољности 1, од 1 до 2 оцену 2, од 2 до 3 оцену 3, и од 3 до 4 (укључујући вредност 4) оцену 4.



Карта 2: Оцене повољности за постављање ветропарка на основу свих критеријума

Табела 7: Површина и проценат територије оцена повољности за постављање ветропарка на основу свих критеријума

Оцена повољности	Површина у km ²	Проценат територије
1	431,06	32,56
2	39,76	3,00
3	233,08	17,60
4	620,09	46,84

Освртом на карту (Карта 2) и табелу (Табела 7), може се закључити да на основу коришћених критеријума скоро 50% територије Града Зрењанина има најповољније услове за изградњу ветропарка, а још 17,6% територије има повољне услове. Потпуно неповољне услове такође има скоро трећина територије, док 3% територије има неповољне услове.

ЗАКЉУЧАК

Територија Града Зрењанина налази се на северу Србије и површине је 1.324 km². Град обухвата 22 насеља и укупно 105.722 становника. С обзиром на то да се налази у Панонској низији, терен је заравњен и врло низак (65-85 m). У спроведеним студијама ова територија

се налази углавном у другој и трећој зони снаге ветра. Најдоминантнији ветар је кошава, која дува из правца југоистока и југа. Територију Града пресецају водени токови – Тиса, Бегеј и Тамиш. У околини ових река налазе се бројне мртваје, језера, баре и мочваре, а четири таква хидролошка објекта представљају заштићена подручја – СРП Царска бара, СРП Окањ бара, СРП Ритови доњег Потисја и ПП Русанда. Чак 64,34% територије Града чине обрадиве површине.

Коришћена метода обраде података била је метода аналитичког хијерархијског процеса (АНР), која је коришћена и у многобројним другим научним радовима. Критеријуми у овом раду су били удаљеност од насеља, путева и заштићених подручја, као и намена земљишта. Оцене су имале вредности 0-4, где су само класе повољности на којима није уопште могуће градити ветропаркове имале оцену 0 (насеља, водене површине и заштићена подручја). У матрици тежине критеријума вредности су дате на основу других научних радова – највећу тежину имала је удаљеност од путева, затим од насеља, те заштићених подручја, а најмању тежину имала је намена земљишта.

Добијени резултати показују да чак 46,84% територије има најповољније услове за изградњу ветропарка на основу наведених критеријума. Није могуће градити ветропаркове на 32,56% територије, а 3% има неповољне услове. Повољне услове за изградњу има 17,6% територије. Може се закључити, на основу ових критеријума, да је у Зрењанину на скоро 65% територије могуће изградити ветропарк.

У даљим истраживањима било би пожељно укључити и неке друге критеријуме, попут удаљености од водених површина и струјних водова. Даље, током израде рада примећено је да CLC18 (слој намене земљишта) има своје недостатке и пропусте, те би било кључно добити што тачније податке о намени земљишта на територији Града. Уз све ово, било би корисно спровести нове студије енергије ветра, укључити стручњаке из различитих области и добити јединствене и најкомплетније резултате.

ЛИТЕРАТУРА

- Гбурчик, П. и сарадници. (2005). Потенцијали соларне и ветро енергије у Србији, Национални програм енергетске ефикасности, Министарства науке и заштите животне средине Републике Србије - Студија ЕЕ704-1052А.
- Зељковић, З. (2015). *Демографске промене у насељима општине Зрењанин после Другог светског рата*. Ниш: Природно-математички факултет, Департман за географију.
- Катић, В. и сарадници. (2008). Атлас ветрова АП Војводине, Студија, Покрајински секретеријат за енергетику и минералне сировине, Нови Сад.
- Путник, Р. и сарадници. (2002). Могућност коришћења енергије ветра за производњу електричне енергије, Студија, Електропривреда Србије, Београд.
- Републички завод за статистику, Попис становништва 2022. године, „Старост и пол“.
- Републички хидрометеоролошки завод, Метеоролошки годишњаци 1 – Климатолошки подаци, 2018-2022. године
- Хацић, В., Секулић, П., Васин, Ј., & Нешић, Љ. (2005). Геолошка основа земљишног покривача Војводине, *Економика пољопривреде*, vol. 52, no. 4, 429-438.
- Benti, N. E., Alemu, Y. B., Balta, M. M., Gunta, S., Chaka, M. D., Semie, A. G., Mekonnen, Y. S., & Yohannes, H. (2023). Site suitability assessment for the development of wind power plant in Wolaita area, southern Ethiopia: An AHP-GIS model. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47149-x>
- Doljak, D., Stanojević, G., & Miljanović, D. (2021). A GIS-MCDA based assessment for siting wind farms and estimation of the technical generation potential for wind power in Serbia. *International Journal of Green Energy*, 18(4), 363–380. <https://doi.org/10.1080/15435075.2020.1865363>
- Gaudenyi, T., Nenadić, D., Stejić, P., Jovanović, M., & Bogićević, K. (2015). Stratigraphic revision of the quaternary material from the vicinity of Belgrade and the Serbian segment of the Tisza Valley analysed by V.D. Laskarev. *Quaternary International*, 357, 93–109. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.08.041>
- Gigović, L., Pamučar, D., Božanić, D., & Ljubojević, S. (2017). Application of the GIS-DANP-MABAC multi-criteria model for selecting the location of wind farms: A case study of vojvodina, Serbia. *Renewable Energy*, 103, 501–521. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.11.057>
- Josimović, B., Srnić, D., Manić, B., & Knežević, I. (2023). Multi-criteria evaluation of spatial aspects in the selection of wind farm locations: Integrating the GIS and promethee methods. *Applied Sciences*, 13(9), 5332. <https://doi.org/10.3390/app13095332>
- Mahdy, M., & Bahaj, A. S. (2018). Multi criteria decision analysis for offshore wind energy potential in Egypt. *Renewable Energy*, 118, 278–289. doi:10.1016/j.renene.2017.11.021
- Nasery, S., Matci, D. K., & Avdan, U. (2021). GIS-based wind farm suitability assessment using fuzzy AHP multi-criteria approach: the case of Herat, Afghanistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(12). doi:10.1007/s12517-021-07478-5

Pamučar, D., Gigović, L., Bajić, Z., & Janošević, M. (2017). Location Selection for Wind Farms Using GIS Multi-Criteria Hybrid Model: An Approach Based on Fuzzy and Rough Numbers. *Sustainability*, 9(8), 1315. doi:10.3390/su9081315

Potić, I., Joksimović, T., Milinčić, U., Kićović, D., & Milinčić, M. (2021). Wind energy potential for the electricity production - Knjaževac Municipality case study (Serbia). *Energy Strategy Reviews*, 33, 100589. doi:10.1016/j.esr.2020.100589

Stojčetić, B., Živković, Ž., & Nikolić, Đ. (2016). AHP application for wind farm site selection: case Kostolac, 6th International Symposium on Environmental and Material Flow Management - EMFM 2016, Bor, Serbia.

UNEP-WCMC and IUCN (2024), Protected Planet: The World Database on Protected Areas (WDPA) and World Database on Other Effective Area-based Conservation Measures (WD-OECM) [Online], January 2024, Cambridge, UK: UNEP-WCMC and IUCN. Available at: www.protectedplanet.net.

Zalhaf, A. S., Elboshy, B., Kotb, K. M., Han, Y., Almaliki, A. H., Aly, R. M., & Elkadeem, M. R. (2021). A high-resolution wind farms suitability mapping using GIS and Fuzzy AHP approach: A national-level case study in Sudan. *Sustainability*, 14(1), 358. <https://doi.org/10.3390/su14010358>

ЕЛЕКТРОНСКИ ИЗВОРИ:

<https://download.geosrbija.rs/download/> - приступљено јануара 2024.

<https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018> - приступљено јануара 2024.

<https://download.geofabrik.de/europe/serbia.html> - приступљено јануара 2024.

APPLICATION OF MULTI-CRITERIA AHP GIS ANALYSIS IN THE SELECTION OF FAVORABLE LOCATIONS FOR THE CONSTRUCTION OF WIND FARM IN THE TERRITORY OF ZRENJANIN MUNICIPALITY

Natalija Nikolić²

Abstract: Wind energy has a great potential for use in today's conditions of increasing energy needs. In addition to being a "cleaner", renewable energy source, wind energy is also suitable for use due to the low cost of maintenance, energy production and low impact on the environment. In the studies conducted by different institutions and scientists, the territory of Zrenjanin Municipality is located mainly in the second and third wind power zones. The most dominant wind is koshava, which blows from the southeast and south. The data processing method used in this study was the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. The criteria in this paper were the distance from settlements, roads and protected areas, as well as land use. The scores had values of 0-4, where only the suitability classes where it is not at all possible to build wind parks had a value of 0. The obtained results show that as much as 46.84% of the territory has the most favorable conditions for building a wind park based on the mentioned criteria. It is not possible to build wind farms on 32.56% of the territory, and 3% has unfavorable conditions. 17.6% of the territory has favorable conditions for construction. It can be concluded, based on these criteria, that it is possible to build a wind farm in Zrenjanin on almost 65% of the territory.

Keywords: wind energy, spatial analysis, AHP method

² Ph.D. student, nacanikolic@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9983-8457