

# RAPORT

## Wskazanie optymalnej lokalizacji farmy fotowoltaicznej za pomocą analizy wielokryterialnej (MCE).

Analizy Przestrzenne

Autor: Maja Płaciszewska 325699

### 1. WSTĘP I CEL PROJEKTU

Przy wyborze działki do lokalizacji farmy fotowoltaicznej najbardziej istotne do zapewnienia jak największej wydajności jest skierowanie paneli w stronę słońca (w Polsce powinien to być stok południowy lub południowo-wschodni/zachodni). Kolejny element to odpowiednie usytuowanie działki tak, aby farma nie była przysłaniana przez lasy, budynki itd.

Jeśli chodzi o kwestie prawne, inwestycja musi być zgodna z miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego – jeśli teren nie jest nim objęty, należy dowiedzieć się, czy gmina, w której znajduje się działka, zalicza instalacje fotowoltaiczne jako inwestycje celu publicznego. Jeśli tak, umożliwi to uzyskanie niezbędnych pozwoleń na budowę. Instalacje o mocy mniejszej niż 50 kW nie wymagają pozwolenia na budowę ani zgody w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o ustaleniu warunków zabudowy.<sup>1</sup>

Głównym celem projektu jest wykorzystanie analizy wielokryterialnej do wskazania optymalnej lokalizacji nowej farmy fotowoltaicznej dla obszaru gminy Świeradów Zdrój (województwo dolnośląskie, powiat lubański). Dodatkowym celem jest automatyzacja całego procesu analizy i utworzenie skryptu geoprzetwarzania w języku Python, umożliwiającego wyszukiwanie lokalizacji pod inwestycję dla dowolnej gminy.

W celu weryfikacji działania skryptu należy uruchomić go dla obszaru kontrolnego – gmina Plesna (województwo małopolskie, powiat tarnowski).

### 2. DANE I ZAŁOŻENIA

Dane wejściowe obejmują wybrane kryteria wskazania optymalnej lokalizacji [Tabela 1]. Są to proponowane kryteria, analiza nie musi być ograniczona tylko do nich.

*Tabela 1 - Tabela decyzyjna wybranych kryteriów wskazania lokalizacji farmy fotowoltaicznej*

LP	KRYTERIUM	PARAMETRY	ŹRÓDŁO DANYCH
1	Odległość od rzek i zbiorników wodnych	jak najbliżej (nieprzekraczalna strefa ochronna 100m)	BDOT10k
2	Odległość od budynków mieszkalnych	jak najdalej, powyżej 150m	BDOT10k

<sup>1</sup> <https://hymon.pl/wymogi-jakie-musi-spelniac-dzialka-pod-fotowoltaike/>

3	Pokrycie terenu	nie w lesie, powyżej 15m od lasu, optymalnie powyżej 100m	BDOT10k
4	Dostęp do dróg utwardzonych	jak największe zagęszczenie	BDOT10k
5	Nachylenie stoków	optymalnie – płasko, maksymalnie 10%	NMT o rozdzielczości 5m
6	Dostęp światła słonecznego	optymalnie: stoki południowe (SW-SE)	NMT o rozdzielczości 5m
7	Dobry dojazd od istotnych drogowych węzłów komunikacyjnych	jak najkrótszy czas dojazdu	OSM

### **ZAŁOŻENIA DLA DANYCH WEJŚCIOWYCH:**

- program zakłada, że wektorowymi warstwami wejściowymi są warstwy obejmujące obszar gminy oraz obszar 200 metrowego buforu wokół gminy, zatem wczytując warstwy należy wcześniej je odpowiednio przygotować (połączyć warstwę wektorową dla danego powiatu z warstwami powiatów sąsiadujących)
- program wymaga gotowej warstwy NMT dla obszaru gminy wraz z buforem. W celu jej utworzenia należy pobrać wszystkie kafelki NMT obejmujące ten obszar, następnie połączyć w jedną warstwę (np. narzędziem Mosaic To New Raster) i przyciąć do bufora (np. narzędziem Extract by Mask).
- dla kryterium 7 potrzebna jest wcześniej przygotowana warstwa rastrowa o rozdzielczości przestrzennej 5m, przygotować ją należy w środowisku QGIS poprzez pobranie z OSM warstwy dróg dla obszaru nieco większego niż gmina (wartość klucza: highway) i utworzenie warstwy węzłów komunikacyjnych w miejscach takich jak: skrzyżowania głównych dróg, zjazdu z autostrady itp. Raster tworzy się za pomocą narzędzia Iso-Area as Interpolation udostępnianego przez wtyczkę QNEAT3.

### **Poza danymi opisanymi w tabeli decyzyjnej, potrzebne są również:**

- warstwa działek – z EGiB, pobrana z usługi WFS dla odpowiedniego powiatu i przycięta do obszaru gminy
- warstwa pokrycia terenu – utworzona poprzez połączenie warstw PT (pokrycie terenu) z BDOT10k. Warstwa powinna mieć atrybut X\_kod klasyfikujący każdy rodzaj pokrycia, na podstawie którego tworzona jest mapa kosztów.

**Po połączeniu kryteriów i stworzeniu mapy przydatności obszar musi spełniać poniższe założenia:**

Tabela 2 - Tabela decyzyjna cd.

LP	KRYTERIUM	PARAMETRY
8	Ocena przydatności terenu (próg przydatności)	80% / 90% max. przydatności
9	Przydatne działki / grupy działek	min. 60 % działki na terenie przydatnym
10	Powierzchnia i min. szerokość obszaru	2ha / 50m
11	Koszt przyłącza do sieci SN (mapy kosztów)	jak najniższy

### 3. PRZEBIEG

Skrypt utworzony został w ArcGIS Notebooks. Kolejne kroki opisane zostały poniżej.

#### 1) Ustawienie środowiska pracy (Workspace, Maska, Extent) oraz podanie folderu wyjściowego i wartości rozdzielczości przestrzennej (Cell size).

Istotne jest również włączenie nadpisywania i wyłączenie dodawania wynikowych warstw do mapy:

```
arcpy.env.overwriteOutput = True
arcpy.env.addOutputsToMap = False
```

#### 2) Wczytanie wcześniej przygotowanych warstw niezbędnych do realizacji kryteriów.

Te warstwy to:

- drogi (SKDR)
- rzeki (SWRS)
- jeziora (PTWP)
- budynki (BUBD)
- lasy (PTLZ)
- linie energetyczne (SULN)
- warstwa gminy
- warstwa gminy z buforem
- pokrycie terenu
- mapa odległości od węzłów komunikacyjnych
- warstwa NMT
- działki

#### 3) Selekcja wybranych obiektów po atrybutach – wykorzystanie narzędzia Select Layer by Attribute.

- Z warstwy dróg – selekcja dróg utwardzonych
- Z warstwy budynków – selekcja budynków mieszkalnych
- Z warstwy linii energetycznych – selekcji linii średniego napięcia

#### 4) Utworzenie map odległości – wykorzystanie narzędzia Euclidian Distance.

Mapy odległości tworzone są dla warstw wektorowych potrzebnych do realizacji kryteriów 1 – 4 (kryteria bazujące na odległości od obiektów). Dla kryterium 7 mapą odległości jest warstwa podana na wejściu.

```
distance_rzeki = arcpy.sa.EucDistance(rzeki, None, "5")
distance_jeziora = arcpy.sa.EucDistance(jeziora, None, "5")
distance_drogi = arcpy.sa.EucDistance(drogi_selected, None, "5")
distance_budynki = arcpy.sa.EucDistance(budynki_selected, None, "5")
distance_lasy = arcpy.sa.EucDistance(lasy, None, "5")
```

#### 5) Realizacja kolejnych kryteriów (1-7).

Do realizacji kryteriów, w zależności od ich parametrów, zastosowano dwa podejścia:

- ostre (logika Boola 0/1)
- rozmyte

-----KRYTERIUM 1 – Rzeki i zbiorniki wodne-----

- Reklasifikacja map odległości rzek i jezior – narzędzie Reclassify.

Poprzez reklasyfikację (podejście ostre) wykluczone zostały strefy ochronne 100m jezior oraz rzek.

- Zastosowanie narzędzia Fuzzy Membership do realizacji podejścia rozmytego.

W narzędziu Fuzzy Membership wykorzystano funkcję liniową malejącą (im dalej od wody tym gorsza przydatność). Przyjęto minimalną wartość jako 500m (od 500m przydatność wynosi już 0), a maksymalną jako 200m (do 200m przydatność wynosi 1).

```
rzeki_rozmyte = arcpy.sa.FuzzyMembership(distance_rzeki, arcpy.sa.FuzzyLinear(500, 200))
jeziora_rozmyte = arcpy.sa.FuzzyMembership(distance_jeziora, arcpy.sa.FuzzyLinear(500, 200))
```

- Połączenie podejścia ostrego i rozmytego – narzędzie Fuzzy Overlay

Za pomocą narzędzia Fuzzy Overlay uzyskano końcowy raster przedstawiający kryterium 1.

```
kryterium_wody = arcpy.sa.FuzzyOverlay([wody_ostre, wody_rozmyte], 'AND')
```

-----KRYTERIUM 2 – Budynki-----

- Zastosowanie narzędzia Fuzzy Membership do realizacji podejścia rozmytego.

Wykorzystano funkcję liniową rosnącą (im dalej od budynków tym lepsza przydatność). Minimalna wartość od której przydatność wzrasta to 150m, a maksymalna – 400.

```
kryterium_budynki = arcpy.sa.FuzzyMembership(distance_budynki, arcpy.sa.FuzzyLinear(150, 400))
```

-----KRYTERIUM 3 – Lasy-----

- Zastosowanie narzędzia Fuzzy Membership do realizacji podejścia rozmytego.

Wykorzystano funkcję liniową rosnącą (im dalej od lasów tym lepsza przydatność). Minimalna odległość od lasów to 15m, przydatność rośnie do 100m, po tej odległości wynosi 1.

```
kryterium_lasy = arcpy.sa.FuzzyMembership(distance_lasy, arcpy.sa.FuzzyLinear(15, 100))
```

#### -----KRYTERIUM 4 – Drogi-----

- Utworzenie rastra zagęszczenia dróg – narzędzie Line Density
- Przeskalowanie rastra zagęszczenia do wartości 0-1 – narzędzie Rescale by Function z funkcją liniową

Przeskalowany raster to mapa realizująca kryterium 4.

#### -----KRYTERIUM 5 – Nachylenie stoków-----

- Utworzenie rastra z nachyleniem terenu – narzędzie Slope (parametr wejściowy to warstwa NMT)
- Zastosowanie narzędzia Fuzzy Membership do realizacji podejścia rozmytego.

Wykorzystano funkcję liniową malejącą o wartości minimalnej 10 i maksymalnej 3 ( do nachylenia 3% przydatność wynosi 1).

```
kryterium_spadki = arcpy.sa.FuzzyMembership(spadki, arcpy.sa.FuzzyLinear(10, 3))
```

#### -----KRYTERIUM 6 – Nasłonecznienie -----

- Utworzenie rastra ze stokami nasłonecznienia- narzędzie Aspect (parametr wejściowy to warstwa NMT)
- Zastosowanie narzędzia Fuzzy Membership do realizacji podejścia rozmytego.

Ponieważ optymalne do inwestycji są stoki południowe, funkcja przydatności jest złożona – najpierw rośnie, potem maleje. Narzędzia użyto zatem dwa razy – najpierw wykorzystano funkcję rosnącą obejmującą stoki południowo-wschodnie (min: 90, max: 113). Następnie funkcję malejącą dla stoków południowo-zachodnich (min: 270, max: 248).

```
stoki_ES = arcpy.sa.FuzzyMembership(stoki, arcpy.sa.FuzzyLinear(90, 113))
stoki_WS = arcpy.sa.FuzzyMembership(stoki, arcpy.sa.FuzzyLinear(270, 248))
```

- Uwzględnienie płaskich terenów (podejście ostre) – narzędzie Con.

Za pomocą tego narzędzia utworzony został raster, w którym tereny płaskie mają wartość 1, a pozostałe 0.

- Połączenie podejść rozmytych i podejścia ostrego – narzędzie Fuzzy Overlay.

W wyniku uzyskano końcowy raster realizujący całe kryterium.

```
kryterium_stoki = arcpy.sa.FuzzyOverlay([stoki_rozmyte, plaskie_stoki], 'OR')
```

-----KRYTERIUM 7 – Węzły komunikacyjne -----

- Zastosowanie narzędzia Fuzzy Membership do realizacji podejścia rozmytego.

```
kryterium_wezly = arcpy.sa.FuzzyMembership(distance_wezly,  
arcpy.sa.FuzzyLinear(distance_wezly.maximum, 300))
```

**6) Połączenie wyników kryteriów – utworzenie map przydatności w dwóch wariantach – stosując równe wagi oraz stosując różne wagi dla kryteriów.**

- Zastosowanie narzędzia Weighted Sum, waga dla każdej łączonej warstwy wynosi 1/7.

```
rowna_waga = 1/7  
kryteria_rowne = arcpy.sa.WSTable(  
    [  
        [kryterium_budynki, "VALUE", rowna_waga],  
        [kryterium_drogi, "VALUE", rowna_waga],  
        [kryterium_lasy, "VALUE", rowna_waga],  
        [kryterium_spadki, "VALUE", rowna_waga],  
        [kryterium_stoki, "VALUE", rowna_waga],  
        [kryterium_wody, "VALUE", rowna_waga],  
        [kryterium_wezly, "VALUE", rowna_waga],  
    ]  
)  
polaczone_kryteria_rowne = arcpy.sa.WeightedSum(kryteria_rowne)
```

- Zastosowanie narzędzia Weighted Sum, każda łączona warstwa ma odpowiednio przypisaną wagę. Wagi dla tej analizy obliczono za pomocą metody AHP (link: [metoda AHP analiza wielokryterialna](#)). Przyjęto, że największą wagę ma kryterium stoków, wody i spadków.

```
kryteria_rozne = arcpy.sa.WSTable(  
    [  
        [kryterium_budynki, "VALUE", 0.120244],  
        [kryterium_drogi, "VALUE", 0.051404],  
        [kryterium_lasy, "VALUE", 0.163683],  
        [kryterium_spadki, "VALUE", 0.187234],  
        [kryterium_stoki, "VALUE", 0.248666],  
        [kryterium_wody, "VALUE", 0.207279],  
        [kryterium_wezly, "VALUE", 0.021489],  
    ]  
)  
polaczone_kryteria_rozne = arcpy.sa.WeightedSum(kryteria_rozne)
```

- Uwzględnienie kryteriów ostrych w mapach przydatności – narzędzie Times.

Do map przydatności dodano rastry zawierające kryteria ostre (obszary, na których nie można zlokalizować farmy). Tymi kryteriami są: odległość od wód (nieprzekraczalna strefa ochronna 100m), odległość od budynków mieszkalnych (obszary w odległości do 150m) oraz odległość od lasów (obszary w odległości do 15m).

Za pomocą narzędzia Times, mapy przydatności przemnożono przez 3 kryteria ostre.

Wszystkie dalsze kroki projektu wykonywane są w dwóch wariantach – dla map przydatności o równych i o różnych wagach.

#### -----KRYTERIUM 8 – Próg przydatności -----

- Reklasyfikacja map przydatności w celu wyodrębnienia obszarów o minimalnej przydatności 80% - narzędzie Reclassify.

```
def reklasyfikuj_mape(mapa_przydatnosci):  
    granica = 80/100 * mapa_przydatnosci.maximum  
    mapa_reclass = arcpy.sa.Reclassify(mapa_przydatnosci, "VALUE",  
                                        f"0 {granica} 0; {granica} {mapa_przydatnosci.maximum} 1")  
    return mapa_reclass
```

- Przycięcie map przydatności do obszaru gminy (bez bufora) – narzędzie Extract by Mask.

#### -----KRYTERIUM 9 – Przydatne działki -----

- Konwersja map przydatności do warstw wektorowych – narzędzie Raster To Polygon
- Przycięcie utworzonych poligonów do działek – narzędzie Intersect.
- Selekcja poligonów przydatnych (wartość atrybutu gridcode = 1).
- Obliczenie jaka część (procent) działki stanowi obszar przydatny pod lokalizację inwestycji – narzędzie Summarize Within oraz Calculate Field.

Za pomocą narzędzia Summarize Within obliczono jaka jest powierzchnia obszarów przydatnych w działkach. Następnie narzędziem Calculate Field dodano nowy atrybut do warstwy działek obliczający jaki procent działki jest przydatny (wynik otrzymany poprzez podzielenie pola obszarów przydatnych w działce przez całkowite pole działki oraz pomnożenie przez 100).

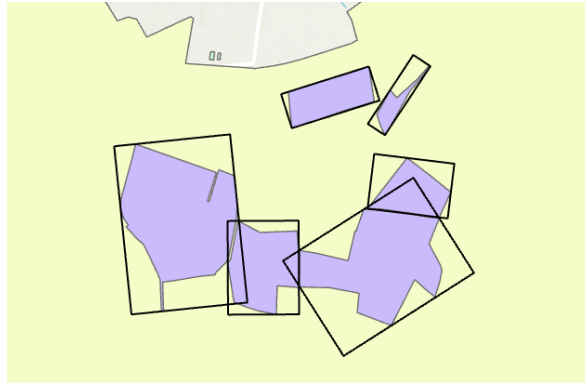
- Selekcja działek spełniających kryterium 9 – minimum 60% działki ma stanowić obszar przydatny.

#### -----KRYTERIUM 10 – Powierzchnia i szerokość-----

- Połączenie sąsiadujących przydatnych działek w jeden obiekt – narzędzie Dissolve.
- Obliczenie szerokości działek.

Przyjęto, że szerokość działki będzie liczona na podstawie szerokości prostokąta ograniczającego poligon działki (narzędzie Minimum Bounding Geometry – metoda Rectangle by width). Następnie obliczono szerokość narzędziem Calculate Metrics.

```
prostokaty_ograniczajace = arcpy.management.MinimumBoundingGeometry(
    polaczone_dzialki,
    sciezka_wyjscia,
    "RECTANGLE_BY_WIDTH"
)
```



*Rysunek 1 – przykład ilustrujący działanie narzędzia Minimum Bounding Geometry*

- Selekcja działek spełniających kryterium 10 – minimum 50m szerokości i 2ha powierzchni.

## 7) Utworzenie mapy kosztów i ścieżek przyłącza do linii energetycznych.

Mapę kosztów tworzy się na podstawie mapy pokrycia terenu. Docelowo mapę pokrycia terenu powinno się tworzyć poprzez połączenie warstw PT z BDOT10k i reklasyfikację na podstawie typu pokrycia terenu określanego przez atrybut X\_kod. Ze względu na brak dostępu do danych BDOT10k udostępniających ten atrybut, wczytano gotową mapę pokrycia z danych archiwalnych, która posiada ten atrybut.

- Konwersja warstwy wektorowej pokrycia terenu do rastra po wartości atrybutu X\_kod – narzędzie Feature to Raster.
- Utworzenie mapy kosztów względnych – narzędzie Reclassify.

Przeprowadzono reklasyfikację rastra w celu przypisania kosztów względnych dla każdego typu pokrycia. Obszarom, przez które nie można poprowadzić przyłącza, przypisano wartość NoData.

- Utworzenie ścieżek przyłącza dla dwóch warstw z działkami (równe i różne wagi)

Dla każdej działki w warstwie (przechodzenie przez kolejne działki za pomocą Search Cursor) utworzono **mapę kosztów skumulowanych** i **mapę kierunków** (narzędzie Cost Distance).

Następnie za pomocą narzędzia Cost Path, wykorzystującego wcześniej utworzoną mapę kosztów i kierunków, utworzono **ścieżkę przyłącza** do istniejących linii energetycznych średniego napięcia. Na koniec przeprowadzono konwersję ścieżek do postaci wektorowej (Raster to Polyline).



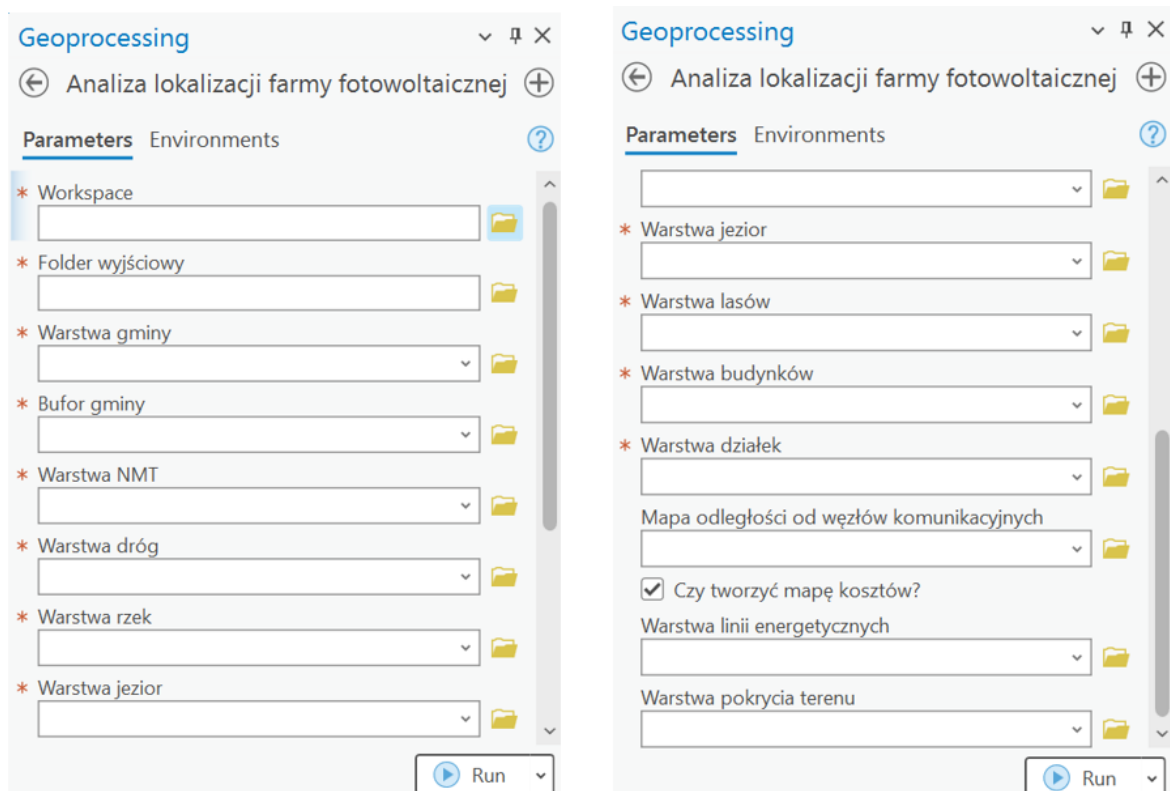
```

sciezka_przylacza = arcpy.sa.CostPath(
    in_destination_data=linie_energ,
    in_cost_distance_raster=mapa_kosztow,
    in_cost_backlink_raster=mapa_kierunkow,
    path_type="BEST_SINGLE",
    destination_field="OBJECTID"
)

```

#### 4. URUCHOMIENIE SKRYPTU

Skrypt można uruchomić z poziomu Notebooka, wpisując odpowiednie parametry w kodzie (ścieżki do warstw/folder wyniku itd.), jednak w celu jeszcze większej automatyzacji utworzony został Toolbox umożliwiający uruchomienie po wybraniu odpowiednich parametrów.



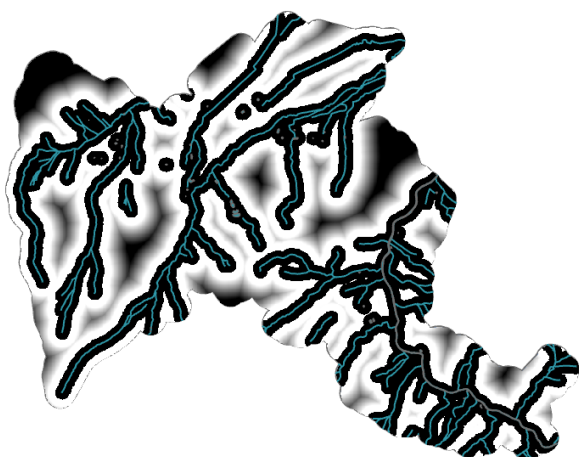
Rysunek 2 - Interfejs narzędzia do uruchamiania skryptu

Zarówno parametr do kryterium 7 (Mapa odległości od węzłów komunikacyjnych) jak i parametr warstwy pokrycia terenu wykorzystywany przy tworzeniu map kosztów oczekują trudnych do pozyskania i wymagających czasu warstw (aktualne dane w BDOT10k nie posiadają atrybutu X\_kod dla warstw PT, stąd uzyskanie warstwy pokrycia jest bardziej skomplikowane).

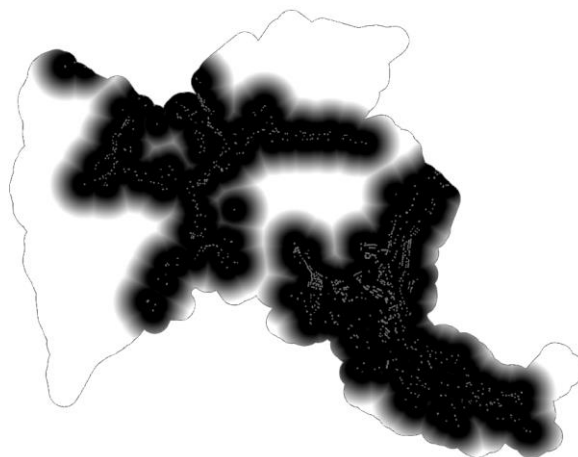
Z tego względu parametry te są opcjonalne. Przy nie podaniu przez użytkownika warstwy dla kryterium 7, skrypt tworzy raster odpowiadający temu kryterium, z wartością stałą równą 1 (cały raster przydatny). W przypadku braku warstwy pokrycia terenu użytkownik nie zaznacza parametru „Czy tworzyć mapę kosztów” i analiza kończy się po selekcji działek spełniających kryterium szerokości i powierzchni.

## 5. WYNIKI ANALIZY DLA GMINY ŚWIERADÓW ZDRÓJ

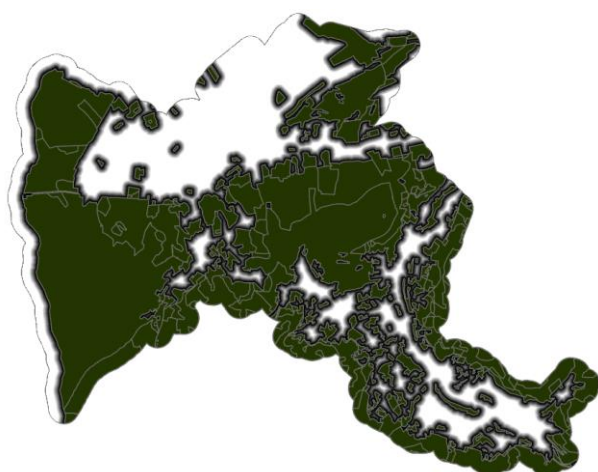
### 1) Wyniki kolejnych kryteriów dla gminy:



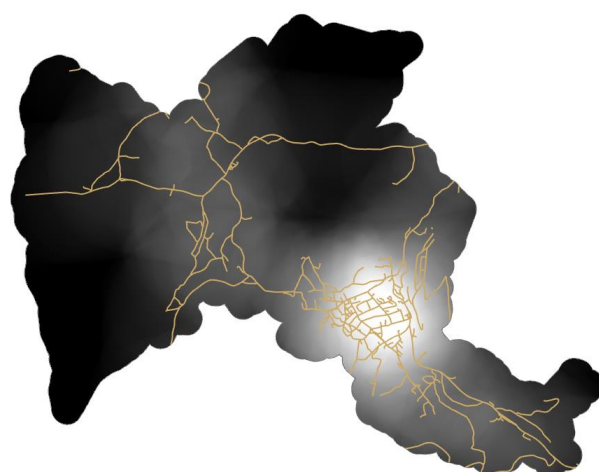
Rysunek 3 - Kryterium 1 – Odległość od rzek i jezior



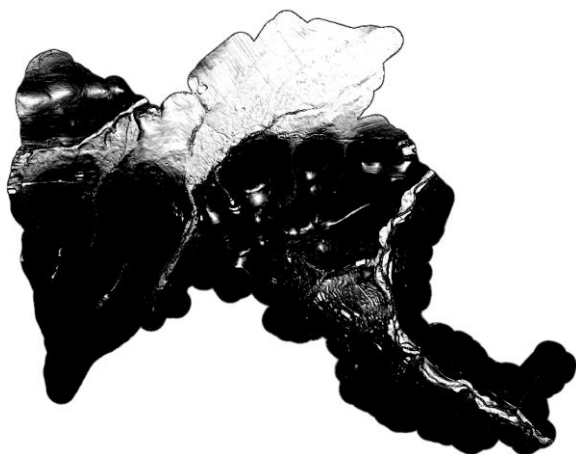
Rysunek 4 - Kryterium 2 - Odległość od budynków mieszkalnych



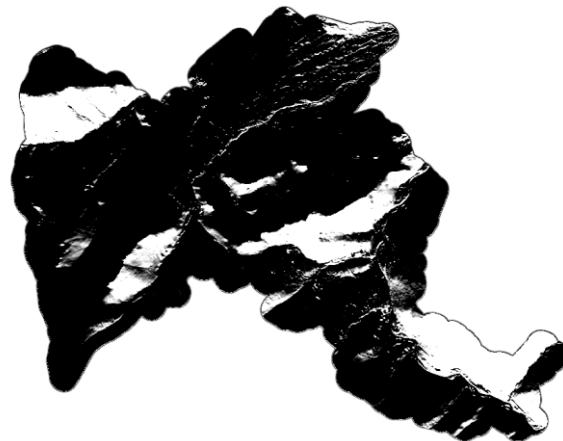
Rysunek 5 - Kryterium 3 - Odległość od lasów



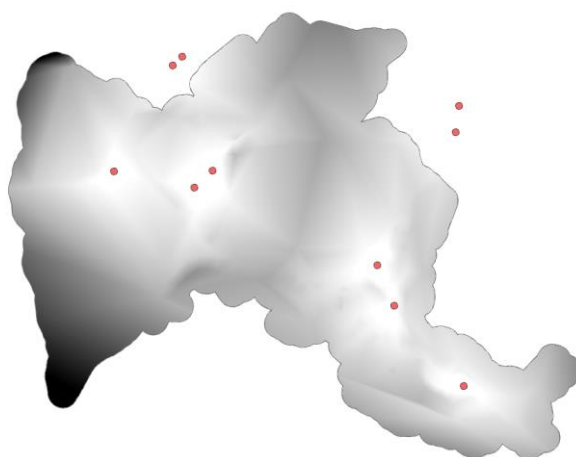
Rysunek 6 - Kryterium 4 - Dostęp do dróg utwardzonych



Rysunek 7 - Kryterium 5 - Nachylenie stoków



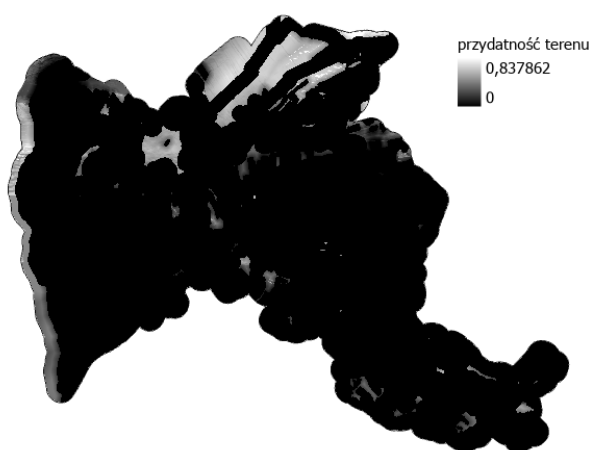
Rysunek 8 - Kryterium 6 - Nasłonecznienie



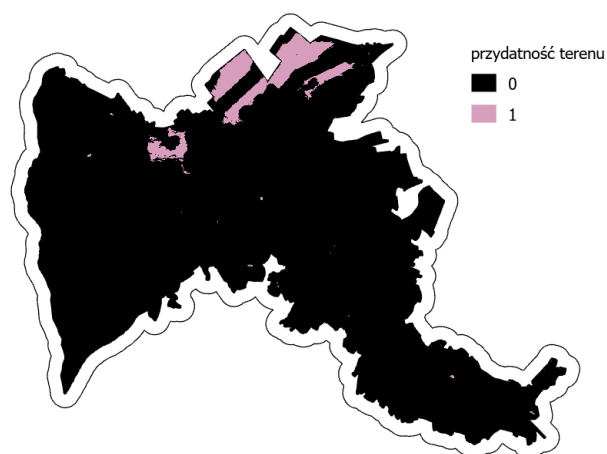
Rysunek 9 - Kryterium 7 - Odległość od węzłów komunikacyjnych

## 2) Mapy przydatności po połączeniu kryteriów:

2.1) dla wariantu z równymi wagami:

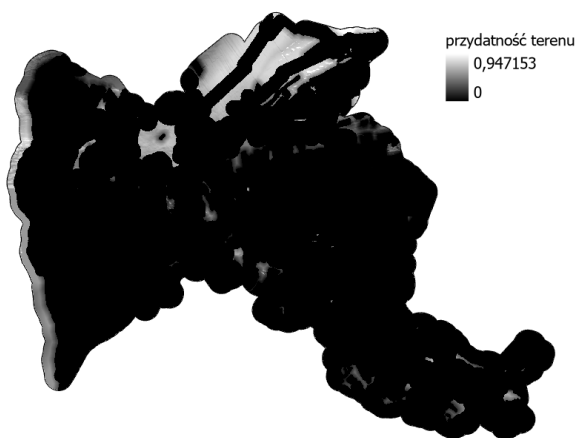


Rysunek 10 - Mapa przydatności dla równych wag kryteriów

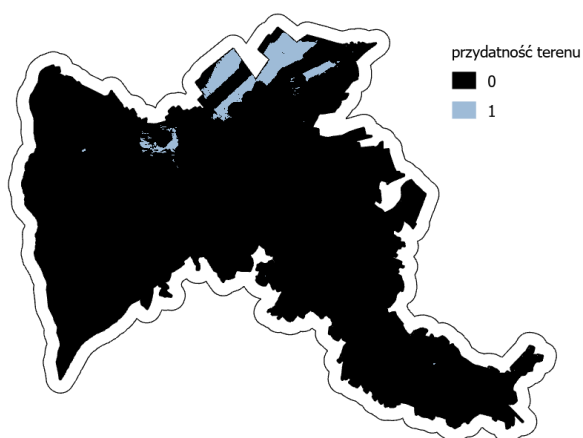


Rysunek 11 - Mapa przydatności po reklasyfikacji i przycięciu do obszaru gminy

2.2) dla wariantu z różnymi wagami:



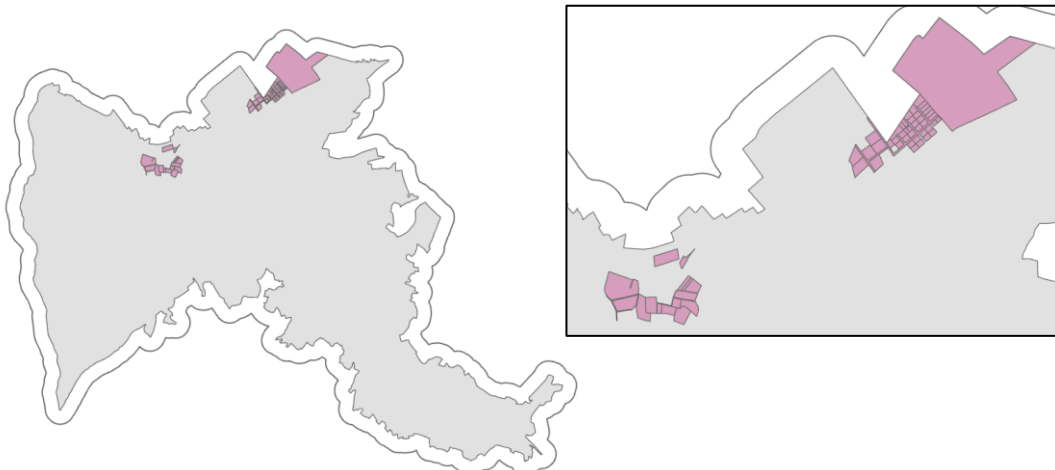
Rysunek 12 - Mapa przydatności dla różnych wag kryteriów



Rysunek 13 - Mapa przydatności po reklasyfikacji i przycięciu do obszaru gminy

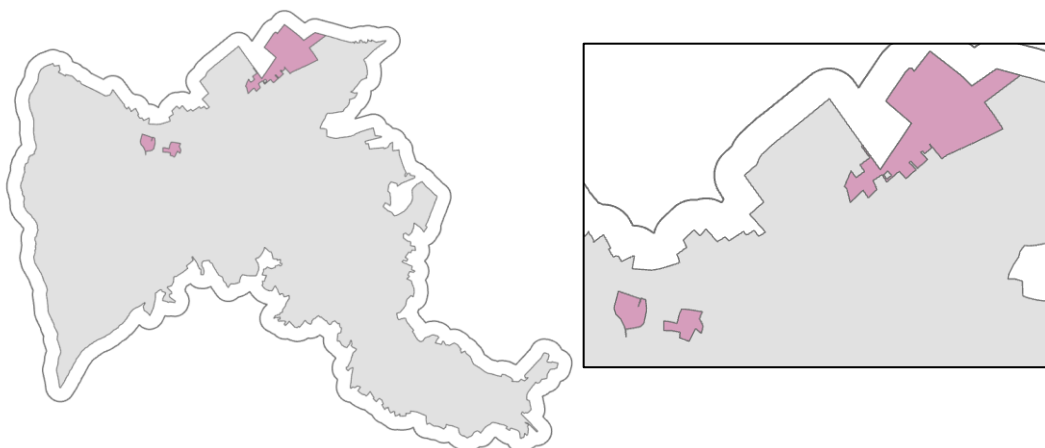
### 3) Działki przydatne pod inwestycję:

#### 3.1) dla wariantu z równymi wagami:



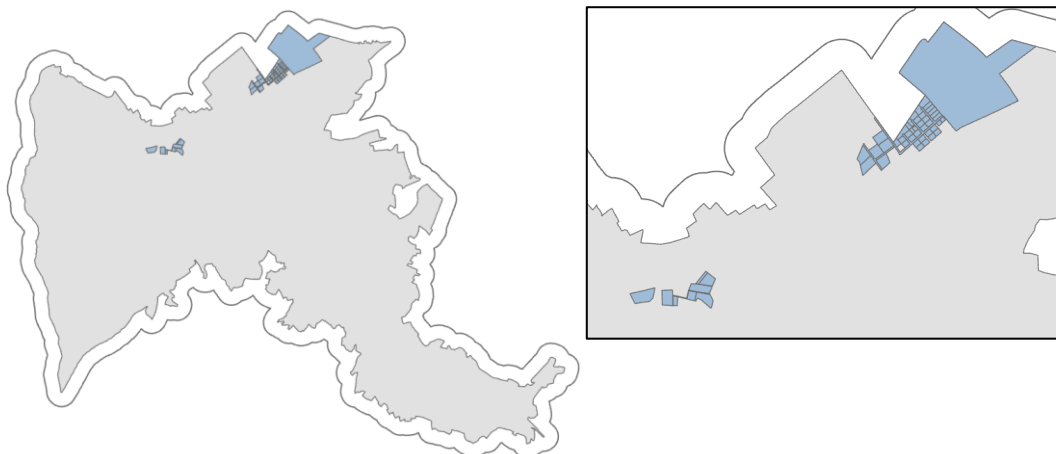
*Rysunek 14 – Działki spełniające kryterium 9 dla wariantu równych wag*

Po połączeniu sąsiadujących działek oraz selekcji tych spełniających kryterium szerokości i powierzchni otrzymano ostatecznie 3 działki przydatne pod inwestycję.



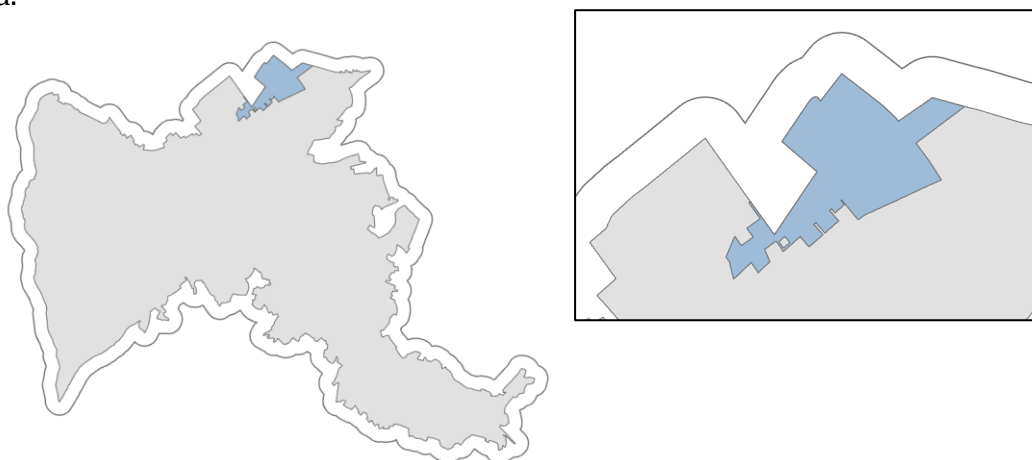
*Rysunek 15 - Ostateczne działki pod inwestycję dla wariantu równych wag*

#### 3.2) dla wariantu z różnymi wagami:



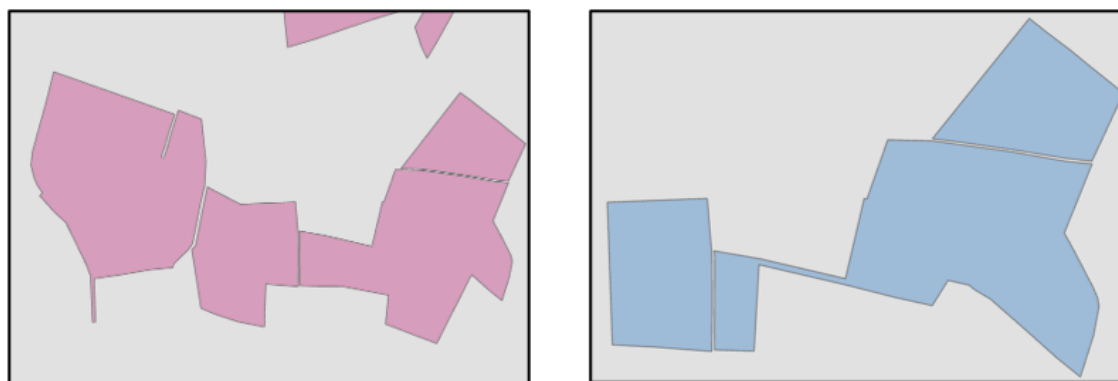
*Rysunek 16 - Działki spełniające kryterium 9 dla wariantu różnych wag*

Po połączeniu działek i selekcji otrzymano 1 działkę spełniającą wszystkie kryteria.



*Rysunek 17 - Ostateczne działki pod inwestycję dla wariantu różnych wag*

Narzędzie do łączenia działek sąsiadujących (Dissolve) działa prawidłowo, jednak nie łączy działek znajdujących się bardzo blisko siebie, np: działek znajdujących się po przeciwnej stronie drogi, co w przypadku tej analizy negatywnie wpływa na wynik końcowy. Przy budowaniu farmy nie ma bowiem większego znaczenia, jeśli część będzie zlokalizowana po jednej stronie drogi, a część po drugiej. Przykład takiej sytuacji dla gminy Świeradów Zdrój przedstawiono na poniższych zdjęciach.



*Rysunek 18 - Wynik narzędzia Dissolve do łączenia działek dla obu wariantów analizy*

Ze względu na to część działek została wykluczona, mimo że w rzeczywistości spełniałyby kryteria. Widoczne na zdjęciu po prawej stronie 3 działki zostały całkowicie wykluczone ze względu na zbyt małą powierzchnię, jednak jeśli połączono by je, byłby to obszar odpowiedni pod inwestycję i wystarczający pod względem powierzchni.

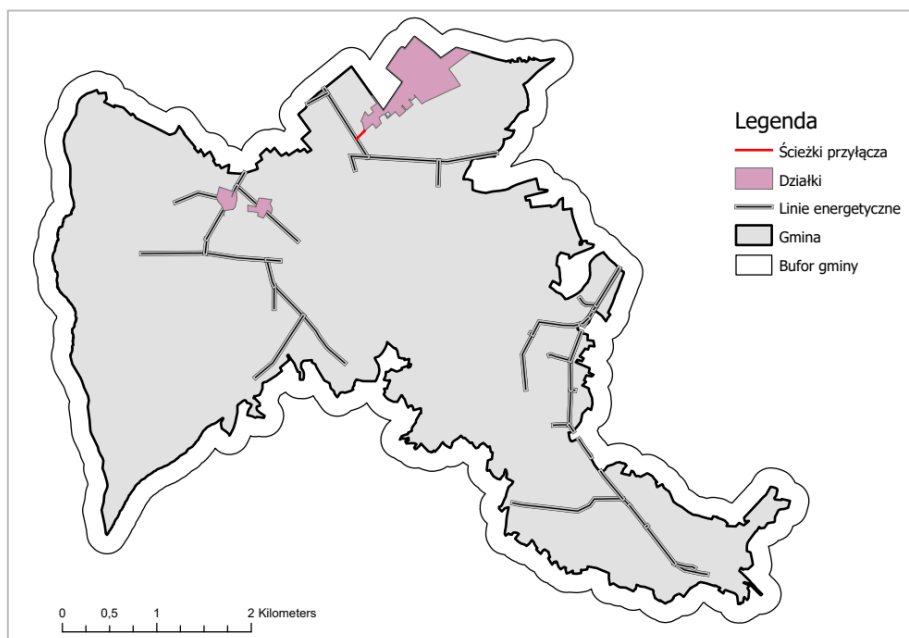
W przypadku wariantu z równymi wagami (zdjęcie po lewej stronie) widać 4 działki, z których wyselekcjonowano w dalszej analizie tylko 2, mimo że w rzeczywistości można by przyjąć wszystkie jako jeden obszar inwestycji i tym samym uzyskać większy teren.

Istotne jest zatem, aby ręcznie przeanalizować przydatne działki po połączeniu ich i zdecydować, czy niewiele odległe od siebie działki mogą być w końcowym wyniku klasyfikowane jako jeden obszar inwestycji.

#### 4) Ścieżki przyłącza działek do linii energetycznych.

Utworzone zostały mapy końcowe zawierające potencjalne działki pod lokalizację farmy fotowoltaicznej, istniejące linie energetyczne średniego napięcia w gminie oraz utworzone ścieżki przyłącza do nich.

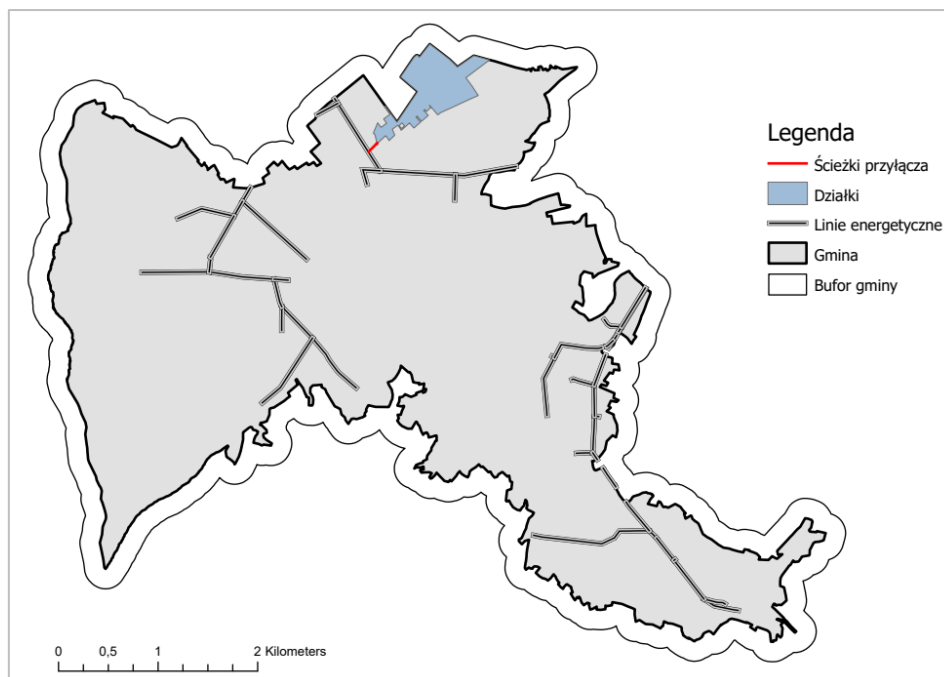
4.1) dla wariantu z równymi wagami:



Rysunek 19 - Mapa wynikowa analizy dla wariantu równych wag

Dla dwóch działek ścieżka przyłącza nie istnieje ze względu na to, że linie energetyczne leżą w ich obrębie, zatem koszt ich przyłącza wynosi 1.

4.2) dla wariantu z różnymi wagami:



Rysunek 20 - Mapa wynikowa analizy dla wariantu różnych wag



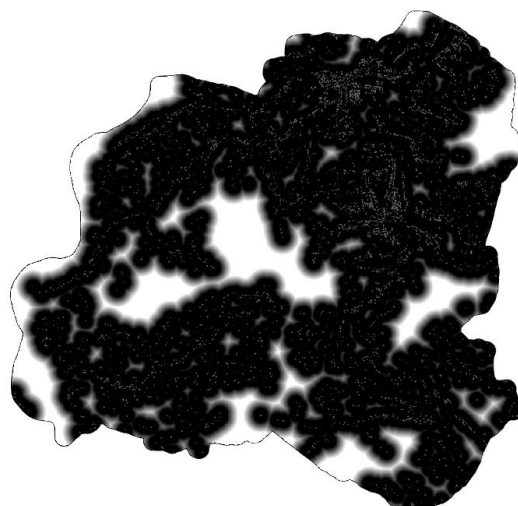
Wariant z równymi wagami zwraca więcej działek, na których można zlokalizować farmę. Wariant z różnymi wagami zwraca jednak lepsze obszary, bo bierze pod uwagę które kryteria są ważniejsze. Działka zwracana przez oba warianty wydaje się najlepszą opcją ze względu na jej dużą powierzchnię, mimo że pozostałe działki mają mniejszy koszt podłączenia do energii.

## WYNIKI ANALIZY DLA GMINY KONTROLNEJ – PLEŚNA

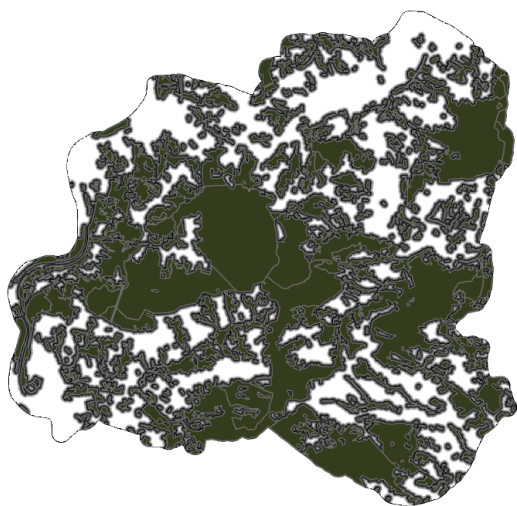
### 1) Wyniki kolejnych kryteriów:



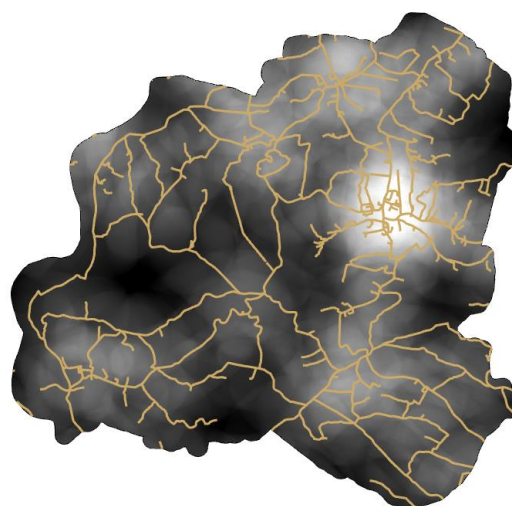
Rysunek 21 - Kryterium 1 - Odległość od rzek i jezior



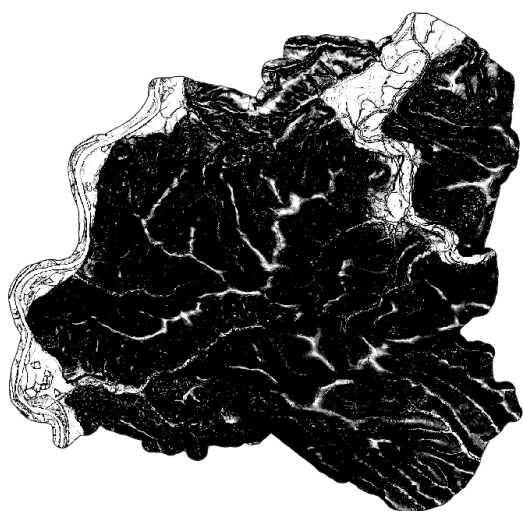
Rysunek 22 - Kryterium 2 - Odległość od budynków mieszkalnych



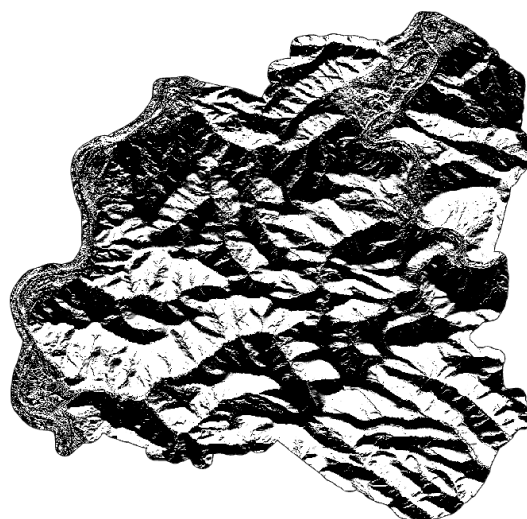
Rysunek 23 - Kryterium 3 - Odległość od lasów



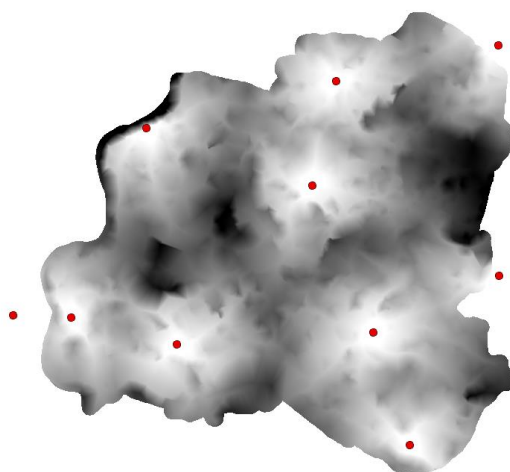
Rysunek 24 - Kryterium 4 - Dostęp do dróg utwardzonych



Rysunek 25 - Kryterium 5 - Nachylenie stoków



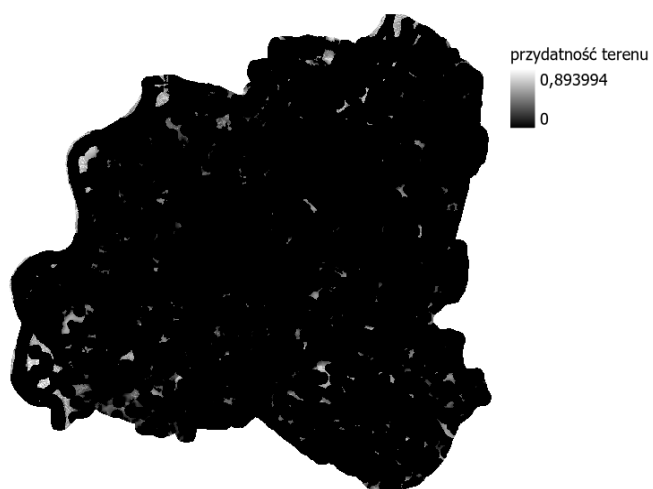
Rysunek 26 - Kryterium 6 - Nasłonecznienie



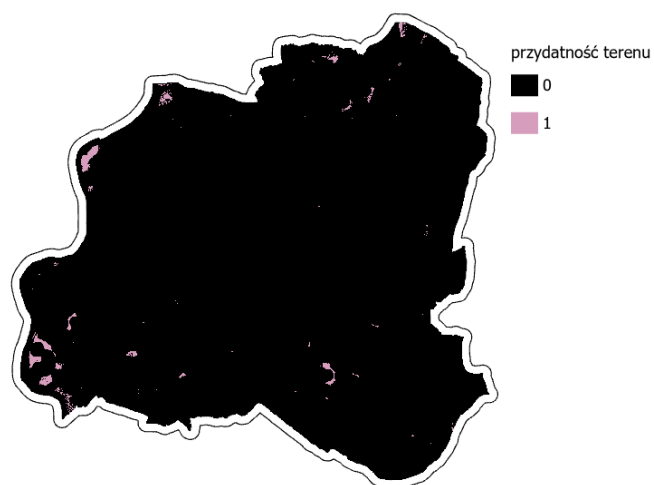
Rysunek 27 - Kryterium 7 - Odległość od węzłów komunikacyjnych

## 2) Mapy przydatności po połączeniu kryteriów:

### 2.1) dla wariantu z równymi wagami:



Rysunek 28 - Mapa przydatności dla równych wag kryteriów



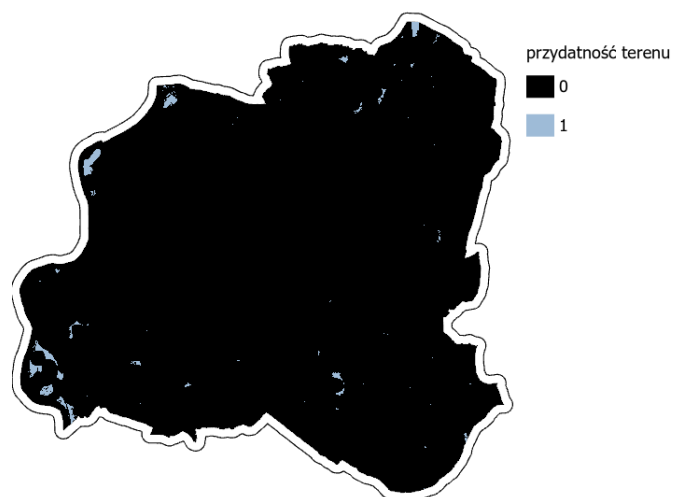
Rysunek 29 - Mapa przydatności po reklasyfikacji i przycięciu do obszaru gminy

### 2.2) dla wariantu z różnymi wagami:





Rysunek 30 - Mapa przydatności dla różnych wag kryteriów

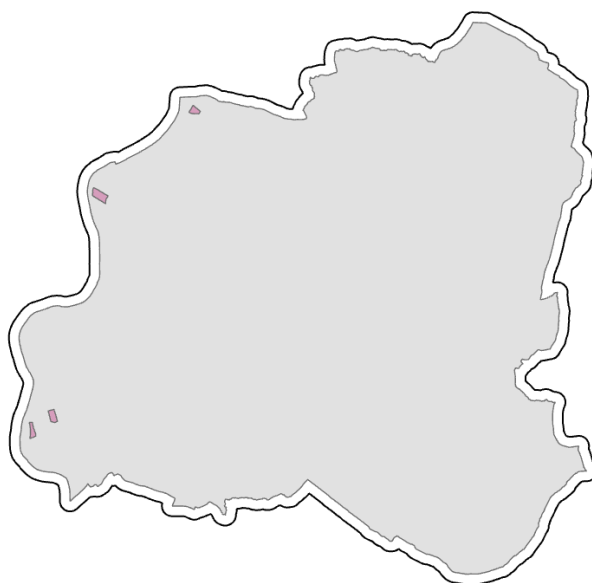


Rysunek 31 - Mapa przydatności po reklasyfikacji i przycięciu do obszaru gminy

### 3) Działki przydatne pod inwestycję:

#### 3.1) dla wariantu z równymi wagami:

Po połączeniu działek i wyselekcjonowaniu tych spełniających wszystkie kryteria otrzymano 4 działki w gminie Pleśna odpowiednie do lokalizacji inwestycji.



Rysunek 32 - Ostateczne działki pod inwestycję w gminie Pleśna dla wariantu równych wag

3.2) dla wariantu z różnymi wagami:

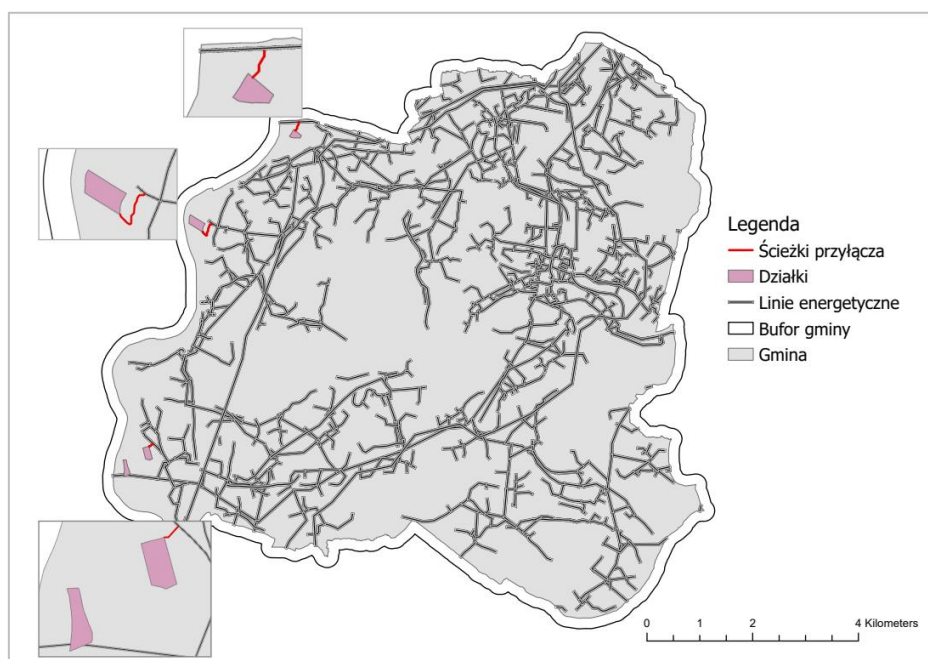
Ostatecznie również otrzymano 4 przydatne działki:



*Rysunek 33 - Działki spełniające kryterium 9 dla wariantu różnych wag*

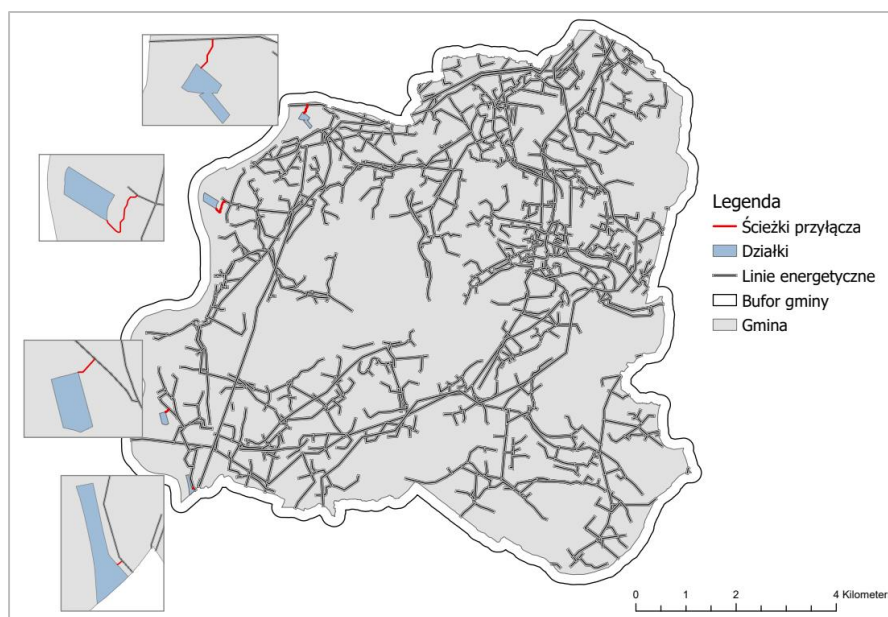
#### **4) Ścieżki przyłącza działek do linii energetycznych.**

4.1) dla wariantu z równymi wagami:



*Rysunek 34 - Mapa wynikowa dla wariantu równych wag dla gminy Pleśna*

4.2) dla wariantu z różnymi wagami:



Rysunek 35 - Mapa wynikowa dla wariantu różnych wag dla gminy Pleśna

## 6. WNIOSKI

- Zaprojektowany skrypt geoprzetwarzania poprawnie przeprowadza analizę wielokryterialną lokalizacji farmy fotowoltaicznej i znajduje działki spełniające wszystkie kryteria, o czym świadczą wyniki analizy zarówno dla gminy Świeradów Zdrój jak i gminy Pleśna.
- Model przetwarzania jest uniwersalny, dzięki utworzeniu Toolboxa możliwe jest przeprowadzenie analizy dla dowolnej gminy w Polsce.
- Najistotniejsze w analizie jest odpowiednie zrealizowanie poszczególnych kryteriów, szczególnie kryteriów rozmytych, dla których trzeba przyjąć odpowiednie przedziały rozmycia. Duży wpływ na wyniki końcowe ma również sposób określania wag i zdecydowanie jakie kryteria są w analizie najważniejsze.
- Ważne jest dokładne przeanalizowanie przydatnych działek przed wykluczeniem tych o mniejszej niż w wymaganiach powierzchni/szerokości, może okazać się wtedy, że więcej obszarów jest odpowiednich pod inwestycję.
- Zaproponowany schemat można ulepszyć, aby jeszcze lepiej znajdował odpowiednie obszary, na których instalacja fotowoltaiczna zapewni największą wydajność. Można wziąć pod uwagę więcej kryteriów, np.: kryterium odległości od obszarów chronionych, parków narodowych, rezerwatów przyrody, obszarów Natura 2000. Dane niezbędne do jego realizacji dostępne są w BDOT10k. Model uwzględniałby wtedy również negatywny wpływ instalacji na środowisko.