

# **Wskazanie optymalnej lokalizacji farmy fotowoltaicznej**

**Autor: Julia Zapła 325710**

## **Spis treści:**

<b>1. Wstęp</b>	<b>3</b>
<b>2. Realizacja zadania</b>	<b>5</b>
2.1. Kryterium 1.	6
2.2. Kryterium 2.	7
2.3. Kryterium 3.	8
2.4. Kryterium 4.	9
2.5. Kryterium 5.	10
2.6. Kryterium 6.	11
2.7. Kryterium 7.	12
2.8. Łączenie kryteriów	13
2.9. Wybór działałek	17
2.10. Mapa kosztów	20
<b>3. Dodatkowe kryterium</b>	<b>23</b>
<b>4. Raport z testu dla innego obszaru</b>	<b>25</b>
<b>5. Podsumowanie i wnioski</b>	<b>27</b>
<b>6. Propozycje ulepszeń kodu</b>	<b>27</b>
<b>7. Bibliografia</b>	<b>28</b>

## 1. Wstęp

Farmy fotowoltaiczne to stosunkowo nowy w naszym kraju sposób wytwarzania energii wykorzystujący energię słoneczną będącą Odnawialnym Źródłem Energii. Wytworzona energia jest wykorzystywana na użytko własny oraz na sprzedaż. W dużej części farm, moc nie przekracza 1 MWh. Takie farmy nie muszą być uwzględniane w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego, co mocno ogranicza formalności. W przypadku większych instalacji, przynoszących większe zyski, inwestorzy muszą się mierzyć z dużą ilością formalności i wymagań. Wymagania te regulują liczne ustawy takie jak ustawy z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz. U. z 2004 r. Nr 121, poz. 1266), ustawy z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz. U. Nr 199, poz. 1227) oraz Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. 2015 poz. 478).

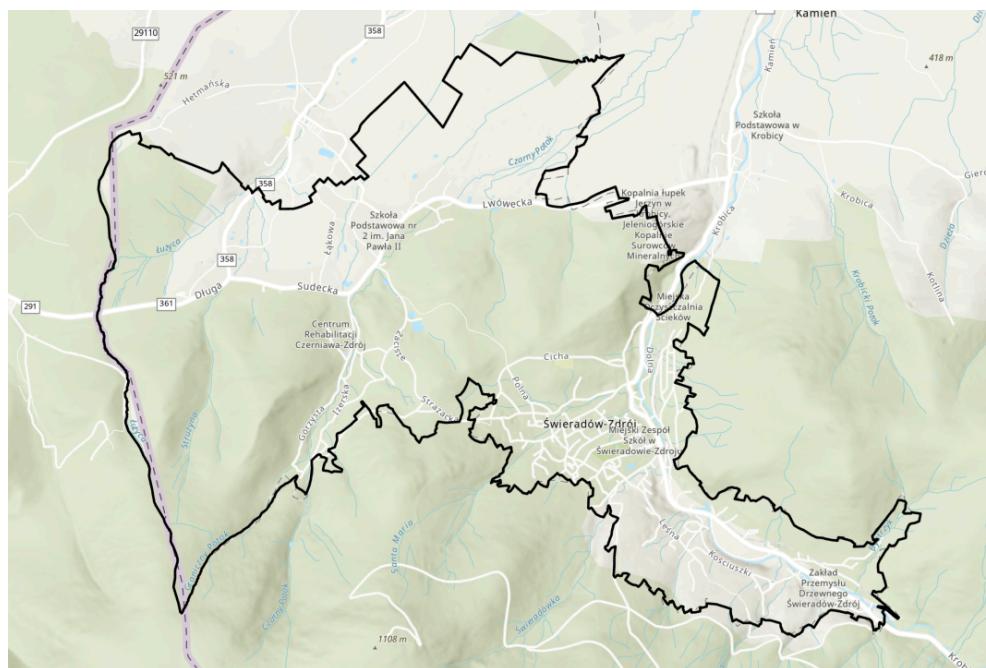
Lokalizacja farmy pełni kluczową rolę w inwestycji, wybranie złej lokalizacji może wiązać się z małym zyskiem. Wybrana lokalizacja musi spełniać szereg wymagań:

- powierzchnia i szerokość → teren pod farmę fotowoltaiczną musi mieć co najmniej 2 ha powierzchni oraz 50 m szerokości, istnieją rozwiązania umożliwiające zmniejszenie stosunku powierzchni do mocy farmy,
- rodzaj gleby → farma fotowoltaiczna nie może znajdować się na żyznych glebach, możliwe jest wykorzystanie jedynie gruntów należących do IV i V klasy bonitacyjnej,
- odległość od zabudowy → odległość farm fotowoltaicznych od budynków nie jest prawnie usystematyzowana, przyjmuje się, zgodnie z prawem budowlanym, że farmy powinny znajdować się co najmniej 1 metr od sąsiadujących działek, jednak ze względów praktycznych często ta odległość jest dużo większa.
- odległość od budynków mieszkalnych → minimalna odległość od budynków mieszkalnych wynosi 150 metrów, ma to na celu uniknięcie zakłócania spokoju mieszkańców
- bliskość dróg → farmy powinny się znajdować jak najbliżej dróg utwardzonych, aby możliwy był dojazd ciężkiego sprzętu
- odległość od lasu → farmy powinny znajdować się co najmniej 15 metrów od obszarów leśnych, bliższe położenie mogłoby powodować rzucanie cienia przez drzewa oraz zabrudzanie paneli
- nasłonecznienie → farma powinna się znajdować na terenach z jak największym nasłonecznieniem. W Polsce ogólne nasłonecznienie waha się od około  $1000 \text{ kWh/m}^2$  do  $1150 \text{ kWh/m}^2$  (średnie roczne nasłonecznienie w kilowatogodzinach na metr kwadratowy ( $\text{kWh/m}^2$ )). Taka różnica w ogólnym nasłonecznieniu może skutkować nawet 10-15% różnicą w ilości wyprodukowanej energii, dlatego farmy fotowoltaiczne powinny być lokalizowane na południu Polski, gdzie nasłonecznienie jest największe
- ukształtowanie terenu → farmy fotowoltaiczne powinny być lokalizowane na terenach względnie płaskich, ułatwia to montaż oraz ewentualne prace serwisowe. Takie ukształtowanie terenu wpływa również na koszty budowy oraz umożliwia równomierne rozłożenie paneli. Jeżeli farma będzie zlokalizowana na obszarach lekko nachylonych, nachylenie powinno być w kierunku południowym. Wpływa to na naturalną ekspozycję na słońce, a delikatne nachylenie umożliwia swobodny spływ wody

- bliskość sieci energetycznej → farma powinna być zlokalizowane jak najbliżej sieci energetycznej, takie położenie minimalizuje koszty inwestycji, pozwala to na rezygnację z budowy infrastruktury. Dodatkowo bliskość sieci zmniejsza straty przesyłowe
- bliskość miast → przy wyborze lokalizacji warto również wziąć pod uwagę bliskość miasta. Ilość dróg utwardzonych i bliskość do sieci energetycznej może być bardzo korzystna, jednak ilość smogu nad dużymi miastami może skutecznie zmniejszać ilość energii słonecznej docierającej do paneli fotowoltaicznych.
- wilgotność → promieniowanie słoneczne jest pochłaniane przez wysoką wilgotność, warto wybrać obszar, na którego terenie średnia wilgotność utrzymuje się poniżej 30%

Budowa farmy fotowoltaicznej wiąże się z analizą wielu czynników, często ciężko jest wybrać miejsce spełniające wszystkie wymagania. W takiej sytuacji należy wybrać lokalizację optymalną, spełniającą jak największą ilość kryteriów.

Projekt był realizowany dla gminy Świeradów Zdrój. Jest to gmina miejska położona w powiecie lubańskim, w województwie dolnośląskim. Powierzchnia gminy to około  $21\ 000\ km^2$ , a liczba mieszkańców to ponad 4 tysiące. Świeradów Zdrój jest położony u podnóża gór Izerskich, co sprawia, że ukształtowanie terenu jest zróżnicowane. Gmina jest stosunkowo dobrze skomunikowana, dzięki lokalnym drogom oraz położeniu w pobliżu granicy z Czechami. Jest to obszar bogaty w infrastrukturę turystyczną oraz rekreacyjną, co może utrudniać wybranie odpowiedniej lokalizacji dla farmy fotowoltaicznej.



Zdj. 1. Gmina Świeradów Zdrój

## 2. Realizacja zadania

Realizację projektu rozpoczęto od przygotowania danych. W tym celu przygotowano następujące dane:

- BDOT10k (<https://www.geoportal.gov.pl/>) :
  - warstwy: **SWRS\_L** (rzeki i strumienie), **PTWP\_A** (woda powierzchniowa), **SKJZ\_L** (jezdnie), **PTLZ\_A** (tereny leśne i zadrzewione), **BUBD\_A** (budynki) **SULN\_L** (linia napowietrzna ) → warstwy użyte do głównych analiz
  - warstwy: **PTWP\_A** (woda powierzchniowa ), **PTZB\_A** (zabudowa), **PTLZ\_A** (teren leśny i zadrzewiony), **PTRK\_A** (roślinność krzewista), **PTUT\_A** (uprawa trwała), **PTTR\_A** (roślinność trawiasta i uprawa rolna ), **PTKM\_A**(teren pod drogami kołowymi, szynowymi i lotniskowymi), **PTGN\_A** (grunt nieużytkowany), **PTPL\_A** (plac), **PTSO\_A** (składowisko odpadów), **PTWZ\_A** (wyrobisko i zwałowisko), **PTNZ\_A** (pozostały teren niezabudowany) → warstwy wykorzystane do stworzenia mapy kosztów
- PRG → granice administracyjne gminy (<https://www.geoportal.gov.pl/> )
- EGIB → działki (wtyczka w QGIS „Pobieracz danych GUGiK”)
- OSM → węzły i główne drogi (wtyczka w QGIS „QuickOSM”)
- NMT → numeryczny model terenu (źródło: <https://www.geoportal.gov.pl/> )

Do analizy obszaru należało uwzględnić obszar powiększony o 200 metrowy bufor, z tego powodu pobrano dane dla dwóch powiatów, lubańskiego i lwóweckiego. Dane zostały połączone, a następnie przycięte do zasięgu bufora. Mając przygotowane dane możliwe było rozpoczęcie tworzenie skryptu w Notebook ArcGis PRO. Dodatkowo przygotowano środowisko. Określono układ współrzędnych ETRF2000-PL\_CS92, określono zakres projektu oraz wielkość „cell size”, która była równa 5 (wielkość piksela w warstwie NMT).

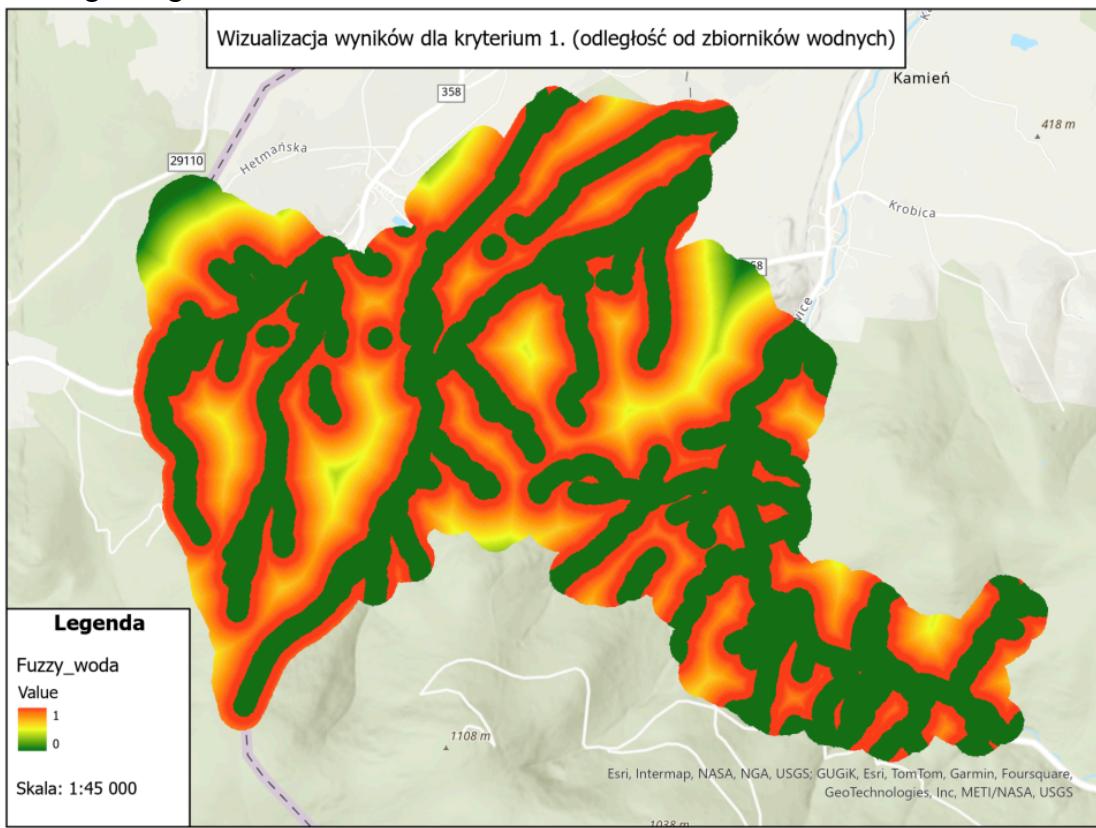
W projekcie zostało uwzględnionych 7 kryteriów:

1. odległość od rzek i zbiorników wodnych → jest to kryterium rozmyte, najlepsza lokalizacja jak najbliżej zbiorników wodnych, ale nie bliżej niż 100 metrów (strefa bufora bezpieczeństwa)
2. odległość od budynków mieszkalnych → kryterium rozmyte, jak najdalej, powyżej 150 metrów
3. pokrycie terenu → kryterium rozmyte, powyżej 15 metrów od obszarów leśnych, najlepiej powyżej 100 metrów
4. dostęp do dróg utwardzonych → kryterium rozmyte, jak największa gęstość
5. nachylenie stoków → kryterium rozmyte, maksymalne nachylenie 10%
6. dostęp do światła słonecznego → kryterium rozmyte, stoki południowe (SW-SE)
7. dobry dojazd do istotnych drogowych węzłów komunikacyjnych → kryterium rozmyte, jak najkrótszy czas dojazdu.

Dane były analizowane pod kątem każdego z powyższych kryteriów, a następnie połączone w mapę przydatności.

## 2.1. Kryterium 1.

Realizację pierwszego kryterium rozpoczęto od konwersji warstwy SWRS\_L na warstwę poligonową. Aby wykonać oczekiwany analizę konieczne było połączenie warstw SWRS i PTWP. Gdy SWRS było warstwą liniową, nie było to możliwe. Dlatego za pomocą 1 metrowego bufora przekonwertowano warstwę liniową na poligonową. Tak powstałe warstwy złączono za pomocą narzędzia Merge. Kolejnym krokiem, była konwersja bufora gminy na linie, za pomocą FeatureToLine. Krok ten był niezbędny, aby można było wykorzystać powstałą warstwę do ograniczenia zasięgu w kolejnych funkcjach. Mając tak przygotowane dane za pomocą Euclidean Distance obliczono mapę odległości euklidesowych od warstwy zawierającej zbiorniki wodne, wynikiem był raster zawierający odległości od najbliższych obiektów w warstwie ze zbiornikami wodnymi. Aby wyznaczyć przydatność obszaru według przyjętego kryterium, wartości utworzonej warstwy było trzeba przeliczyć, tak aby przyjmowały wartości od 0 do 1. Krok ten wykonano za pomocą FuzzyMembership. Jako warstwę wejściową przyjęto odległość euklidesową, wartość min=100, czyli maksymalna odległość od zbiorników wodnych, dla której wynikowa warstwa przyjmuje wartości 0, wartość max=100,1, czyli minimalna odległość od zbiorników wodnych, dla której przydatność wynosi 1. Funkcja została użyta jeszcze raz, użyto tej samej warstwy wejściowej, min = maksymalna wartość warstwy wejściowej (użyto funkcji, która oblicza wartości maksymalne, pozwala to na zachowanie większej uniwersalności kodu, brak sztywno przyjętych wartości), czyli minimalna odległość od zbiorników wodnych, dla której przydatność wynosi 0, max=150, czyli maksymalna odległość od zbiorników wodnych, dla której przydatność wynosi 1. Tak utworzone warstwy połączone za pomocą FuzzyOverlay i operatora logicznego AND.



Zdj. 2. Wyniki dla kryterium 1.

Na wynikowej warstwie łatwo zauważyc, że obszary na terenie zbiorników wodnych oraz w pewnej odległości od nich mają najmniejszą przydatność. Również wraz z oddalaniem od zbiorników wodnych przydatność maleje do 0. Najwyższe wartości równe 1 są w odległości 100 metrów od zbiorników wodnych. Otrzymana warstwa pokrywa się z założeniami kryterium 1.

```
#Obliczenie mapy odległości euklidesowych od warstwy "woda", wynik to raster przechowujący odległość od najbliższych obiektów w warstwie "woda"
EucDist_woda1 = arcpy.sa.EucDistance(
    in_source_data="woda",
    maximum_distance=None,
    cell_size=r"C:\Sem5\Analizy_przestrzenne\farma_foto\dane\nmt_clip",
    out_direction_raster=None,
    distance_method="PLANAR",
    in_barrier_data="swieradow_zdroj_Buffer_line",
    out_back_direction_raster=None
)
EucDist_woda1.save(r"C:\Sem5\Analizy_przestrzenne\farma_foto\farma_foto\farma_foto.gdb\EucDist_woda1")

#Funkcja przekształca wartość rastra EucDist_woda1 na stopień przynależności za pomocą funkcji liniowej, warstwa wyjściowa przyjmuje wartości od 0 do 1,
# min = 100, maksymalna odległość od wody, dla której przydatność jest równa 0, max = 100,1
Fuzzy1_woda = arcpy.sa.FuzzyMembership(
    in_raster=r"C:\Sem5\Analizy_przestrzenne\farma_foto\farma_foto\farma_foto.gdb\EucDist_woda1",
    fuzzy_function="LINEAR 100 100,1",
    hedge="NONE"
)
Fuzzy1_woda.save(r"C:\Sem5\Analizy_przestrzenne\farma_foto\farma_foto\farma_foto.gdb\Fuzzy1_woda")

#wyznaczenie maksymalnego zasięgu warstwy
warstwa = r"C:\Sem5\Analizy_przestrzenne\farma_foto\farma_foto\farma_foto.gdb\EucDist_woda1"
max_value = arcpy.GetRasterProperties_management(warstwa, "MAXIMUM")
max_value = float(max_value.getOutput(0).replace(",","."))
max_value = math.floor(max_value * 10) / 10
fuzzy = f"LINEAR {max_value} 150"

#Funkcja przekształca wartości rastra EucDist_woda1 na stopień przynależności za pomocą funkcji liniowej, warstwa przyjmuje wartości od 0 do 1,
# min= wartość maksymalna zasięgu rastra EucDist_woda1, minimlana odległość od zbiorników wodnych dla których przydatność wynosi 0, max = 150,
# maksymalna odległość od zbiorników wodnych, dla których przydatność to 1, powyżej tej odległości przydatność zaczyna maleć
Fuzzy2_woda = arcpy.sa.FuzzyMembership(
    in_raster="EucDist_woda1",
    fuzzy_function= fuzzy,
    hedge="NONE"
)
Fuzzy2_woda.save(r"C:\Sem5\Analizy_przestrzenne\farma_foto\farma_foto\farma_foto.gdb\Fuzzy2_woda")

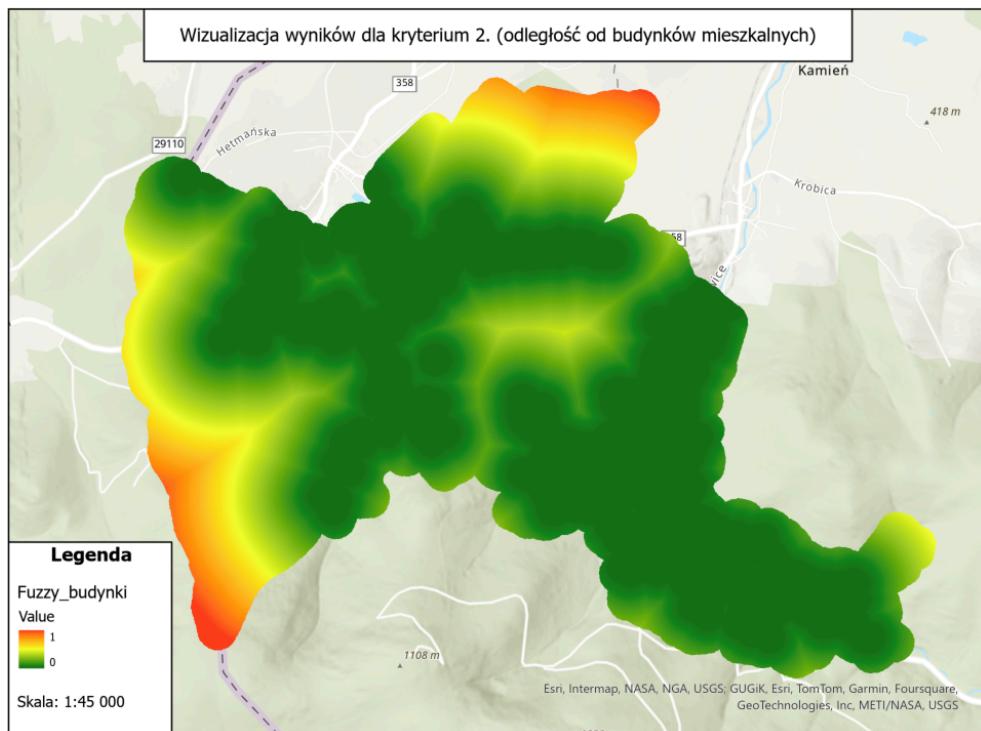
#Połączenie warstw Fuzzy1_woda i Fuzzy2_woda, za pomocą operatora logicznego AND, warstwa wynikowa to wynik realizacji kryterium 1
Fuzzy_woda = arcpy.sa.FuzzyOverlay(
    in_rasters="Fuzzy2_woda;Fuzzy1_woda",
    overlay_type="AND",
    gamma=0.9
)
Fuzzy_woda.save(r"C:\Sem5\Analizy_przestrzenne\farma_foto\farma_foto\farma_foto.gdb\Fuzzy_woda")
```

*Zdj. 3. Część skryptu realizująca kryterium 1*

## 2.2. Kryterium 2.

Pracę nad kolejnym kryterium rozpoczęto od wyselekcjonowania budynków mieszkalnych z BUBD\_A, ponieważ kryterium nie dotyczy wszystkich budynków. Mając już wybrane obiekty stworzono mapę odległości euklidesowych od budynków mieszkalnych, po tej operacji należało

wyczyścić selekcje budynków, aby nie zostały oneomyłkowo wykorzystane w kolejnych krokach. Mapa odległości euklidesowych nie zawiera się w przedziale od 0 do 1, dlatego konieczne było użycie FuzzyMembership, które umożliwiło zmianę przedziału wartości. Wyznaczono wartość maksymalną dla mapy odległości euklidesowych i użyto ją jako max, czyli minimalną odległość od budynków, dla której przydatność wynosi 1. Wartość min = 150,1, czyli maksymalna odległość od budynków, dla której przydatność jest równa 0. W ten sposób stworzony raster jest zgodny z założeniami kryterium 2. Obszary na, których znajdują się budynki mieszkalne i obszary wokół nich mają zerową przydatność, wraz z oddalaniem się od budynków, przydatność obszaru rośnie.

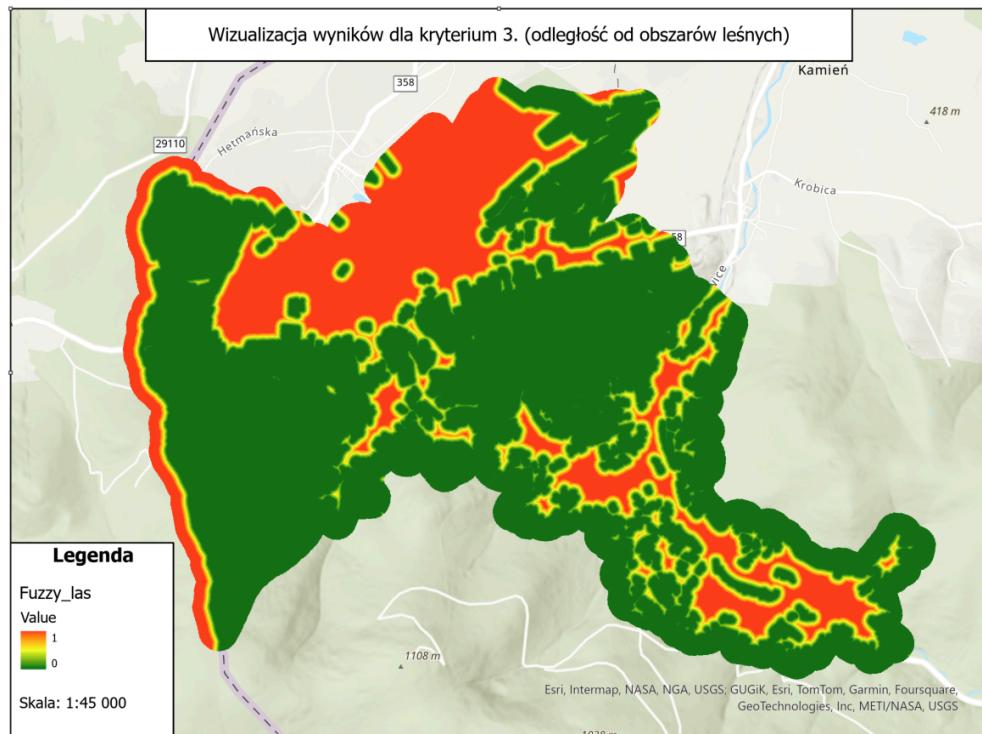


Zdj. 4. Wyniki dla kryterium 2.

### 2.3. Kryterium 3.

W kryterium 3. należało wyselekcjonować obiekty „las” z warstwy PTLZ. Po wybraniu obiektów utworzono za pomocą Euclidean Distance mapę odległości euklidesowej przechowującej odległości od najbliższych obiektów las w warstwie PTLZ. Po utworzeniu warstwy wyczyszczono selekcje oraz za pomocą FuzzyMembership przeliczono wartości rastra na wartości od 0 do 1. Wartość min=15,1, czyli maksymalna odległość od lasu, dla której przydatność jest równa 0, a wartość max=100,1, czyli odległość minimalna, dla której przydatność wynosi 1. Kryterium zakładało, że tereny przydatne są już powyżej 15 metrów od lasu, dlatego w tym miejscu przydatność zaczyna rosnąć. Tereny optymalne znajdują się dopiero 100 metrów od obszarów leśnych, dlatego na tej odległości przydatność przyjmuje dopiero swoje maksimum. Wizualizacja wyników potwierdza założenia kryterium. Oprócz wyżej

wymienionych wartości warstwa przyjmuje wartość 0 dla obszarów poniżej 15 metrów od terenów leśnych.



Zdj. 5. Wyniki dla kryterium 3.

## 2.4. Kryterium 4.

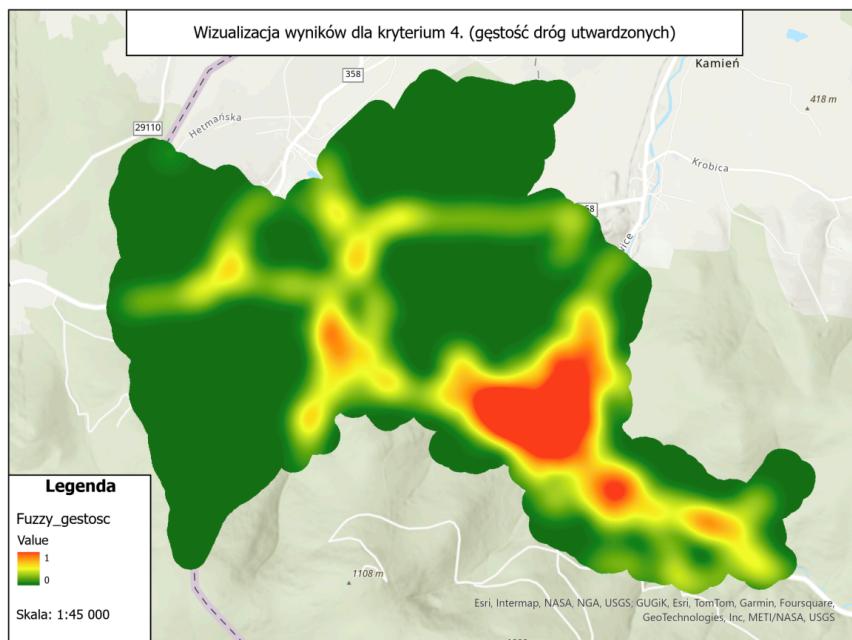
Wyznaczając jak największe zagęszczenie dróg utwardzonych, należało najpierw zdecydować jakie drogi zaliczają się do tej grupy. Wybrano drogi betonowe, brukowe, z kostki kamiennej i prefabrykowanej, masy bitumicznej i płyt betonowych. Przygotowano selekcję tych typów dróg. Następnie za pomocą KernelDensity wyznaczono gęstość wcześniej wybranych dróg na badanym obszarze. Wyczyszczono selekcje. Na koniec przeliczono wartości tak, aby warstwa wynikowa zawierała się w przedziale od 0 do 1. Jako wartość minimalną przyjęto wartość 0, czyli maksymalną gęstość, dla której przydatność jest równa 0, a jako wartość maksymalną średnią wartość rastra, czyli minimalną gęstość, dla której przydatność wynosi 1. Na wynikowym rastrze łatwo zauważać, gdzie zagęszczenie dróg jest największe.

```

#Obliczenie gęstości dróg
gestosc_drog = arcpy.sa.KernelDensity(
    in_features="skjz1",
    population_field="NONE",
    cell_size=r"C:\Sem5\Analizy_przestrzenne\farma_foto\dane\nmt_clip",
    search_radius=None,
    area_unit_scale_factor="SQUARE_METERS",
    out_cell_values="DENSITIES",
    method="PLANAR",
    in_barriers=None
)
gestosc_drog.save(r"C:\Sem5\Analizy_przestrzenne\farma_foto\farma_foto.gdb\gestosc_drog")

```

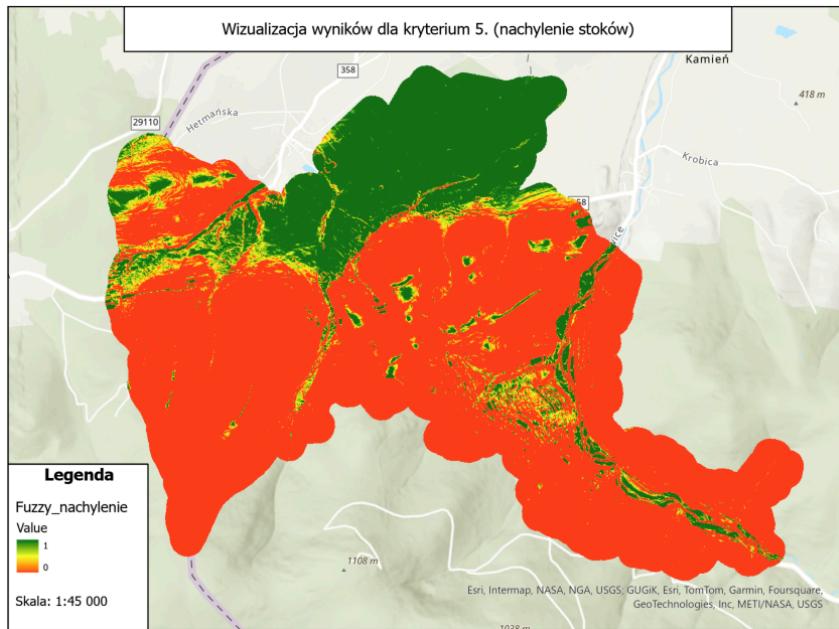
Zdj. 6. Funkcja do wyznaczania gęstości dróg KernelDensity



Zdj. 7. Wyniki dla kryterium 4.

## 2.5. Kryterium 5.

Do realizacji kolejnego kryterium wykorzystano numeryczny model terenu, na jego podstawie za pomocą narzędzia Slope, obliczono procentowe nachylenie stoków. Kolejnym krokiem było użycie FuzzyMembership, gdzie zgodnie z założeniami jako wartość min przyjęto 10, czyli od tej wartości nachylenia przydatność przyjmuje wartość 0. Przydatność przyjmuje wartość 1 do nachylenia 5%, później stopniowo maleje.



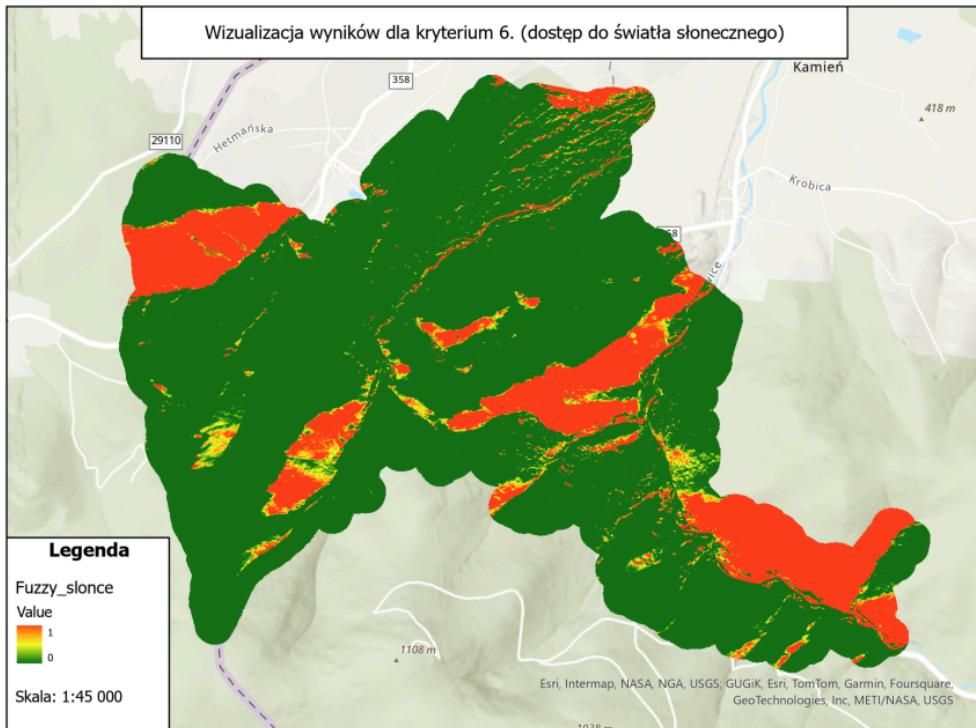
Zdj. 8. Wyniki dla kryterium 5.

```
#Obliczenie procentowego nachylenia stoków na podstawie warstwy nmt_clip,
arcpy.dsd.Slope(
    in_raster="nmt_clip",
    out_raster=r"C:\Sem5\Analizy_przestrzenne\farma_foto\farma_foto\farma_foto.gdb\Slope",
    output_measurement="PERCENT_RISE",
    z_factor=1,
    method="PLANAR",
    z_unit="METER",
    analysis_target_device="GPU_THEN_CPU"
)
```

Zdj. 9. Funkcja do wyznaczania procentowego nachylenia stoków

## 2.6. Kryterium 6.

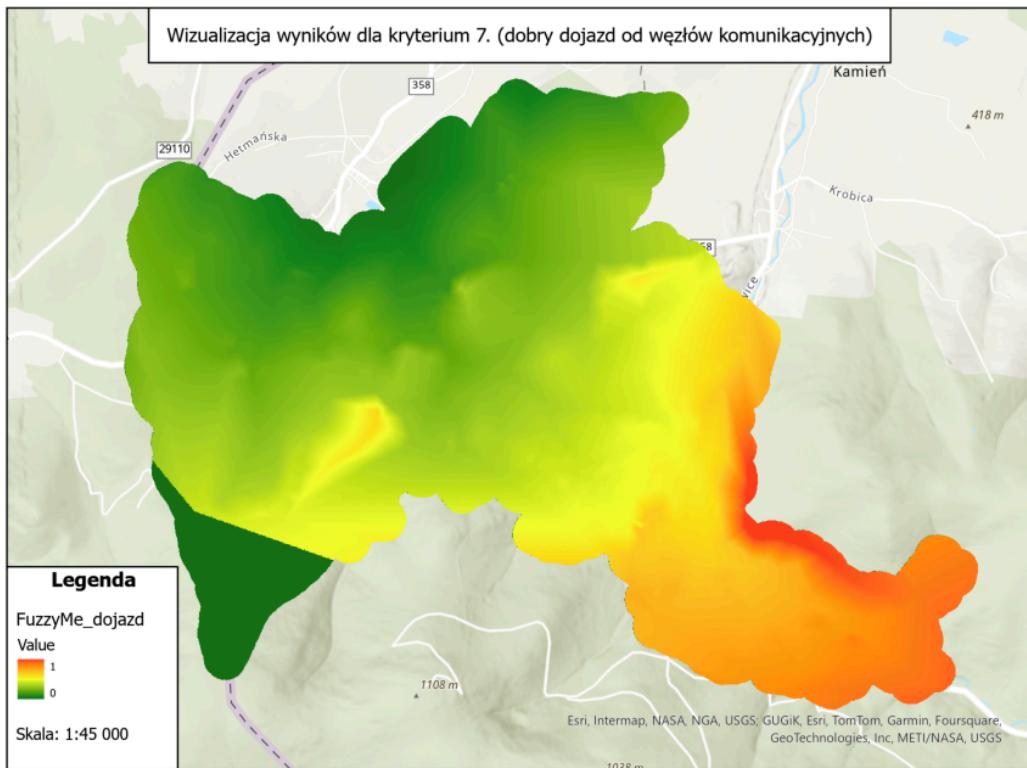
Do wyznaczenia dostępu do światła słonecznego również wykorzystano warstwę NMT, użyto narzędzia Aspect, które wyznaczyło kierunek nachylenia stoków w każdym pikselu rastra. Wykorzystanie azymutów geodezyjnych pozwoliło uzyskać bardziej precyzyjne wyniki. Utworzoną warstwę należało przeliczyć do przedziału 0-1, w tym celu użyto FuzzyMembership. W pierwszym użyciu tej funkcji, min=270, czyli minimalna wartość, dla której przydatność wynosi 0, max=247,5, czyli maksymalna wartość dla, której przydatność wynosi 1. W drugim użyciu funkcji FuzzyMembership min=90, a max=112,5. Utworzone warstwy połączono ze sobą za pomocą operatora logicznego AND. W ten sposób powstała warstwa, która przyjmuje wartości największe dla stoków południowo wschodnich, południowych i południowo zachodnich, gdzie jest największy dostęp do światła słonecznego.



Zdj. 10. Wyniki dla kryterium 6.

## 2.7. Kryterium 7.

Realizację ostatniego kryterium rozpoczęto od pobrania z OSM dróg dla powiatu lubańskiego. Dane pobrano za pomocą wtyczki w QGIS QuickOSM. Dalsze pracę nad kryterium 7. prowadzono w programie QGIS. Wybrano ważniejsze typy dróg (tj. drogi główne, autostrady, drogi ekspresowe, drogi lokalne) oraz łączniki dróg, które przekonwertowano na obiekty punktowe. Mając tak przygotowane dane możliwe było wykorzystanie wtyczki QNEAT3 do wygenerowania warstwy przedstawiającej zasięg dostępności w danym czasie. Warstwę należało przyciąć do obszaru bufora gminy. W ten sposób wygenerowana warstwa zawierała wartości null. Konieczne było ich zamienienie na 0, aby możliwe było użycie narzędzia FuzzyMembership. Przyjęto min = 0, a max to maksymalna wartość powstałej warstwy. Za pomocą tego narzędzia powstała nowa warstwa, w której wraz z oddalaniem od węzła maleje wartość przydatności.



Zdj. 11. Wyniki dla kryterium 7.

## 2.8. Łączenie kryteriów

Realizacja siedmiu kryteriów zakończyła pierwszy etap projektu. Następnym krokiem było połączenie wszystkich kryteriów, przyjęto dwa warianty:

1. użyto równych wag dla wszystkich kryteriów
2. użyto różne wag dla kryteriów.

Dla wariantów z różnymi wagami użyto internetowego kalkulatora wag AHP, wybierając parametry kryterium jest ważniejsze przyjęto następujące wagи:

1. odległość od rzek i zbiorników wodnych → 0.038
2. odległość od budynków mieszkalnych → 0.03
3. pokrycie terenu → 0.11
4. dostęp do dróg utwardzonych → 0.066
5. nachylenie stoków → 0.292
6. dostęp do światła słonecznego → 0.402
7. dobry dojazd do istotnych drogowych węzłów komunikacyjnych → 0.062.

Użyte wag sumują się do 1. Aby wagи w wariantie z tymi samymi wagami również sumowały się do 1, podzielono 1 na ilość kryteriów, czyli 7. Kryteria połączono za pomocą WeightedSum. Aby wyeliminować obszary na których farma fotowoltaiczna nie może się znaleźć, za pomocą Con stworzono warstwy dla kryteriów 1, 2, 3 i 5 realizujące podejście ostre. Warstwy przyjmują wartości 1 dla obszarów, gdzie lokalizacja farmy fotowoltaicznej jest możliwa i 0, tam gdzie budowa farmy z jakiegoś powodu jest niemożliwa. Tak powstałe warstwy połączone ze sobą za pomocą funkcji FuzzyOverlay i operatora logicznego AND.

```

# Definicja zmiennej (wagi dla wszystkich kryteriów są takie same, dlatego należy podzielić
#1 na ilość kryteriów, czyli 7)
a = 1 / 7

# Przygotowanie tabeli wag
weighted_sum_table = (
    f"Fuzzy_woda VALUE {a};"
    f"Fuzzy_budynki VALUE {a};"
    f"Fuzzy_las VALUE {a};"
    f"Fuzzy_gestosc VALUE {a};"
    f"Fuzzy_stoki VALUE {a};"
    f"Fuzzy_slonce VALUE {a};"
    f"Fuzzy_dojazd VALUE {a}"
)

#Połączenie wynikowych rastrów dla wszystkich kryteriów, z uwzględnieniem takich samych wag
rozmyte = arcpy.ia.WeightedSum(in_weighted_sum_table=weighted_sum_table)
rozmyte.save(r"C:\Sem5\Analizy_przestrzenne\farma_foto\farma_foto\farma_foto.gdb\rozmyte")

```

Zdj. 12. Połączenie kryteriów rozmytych z takimi samymi wagami

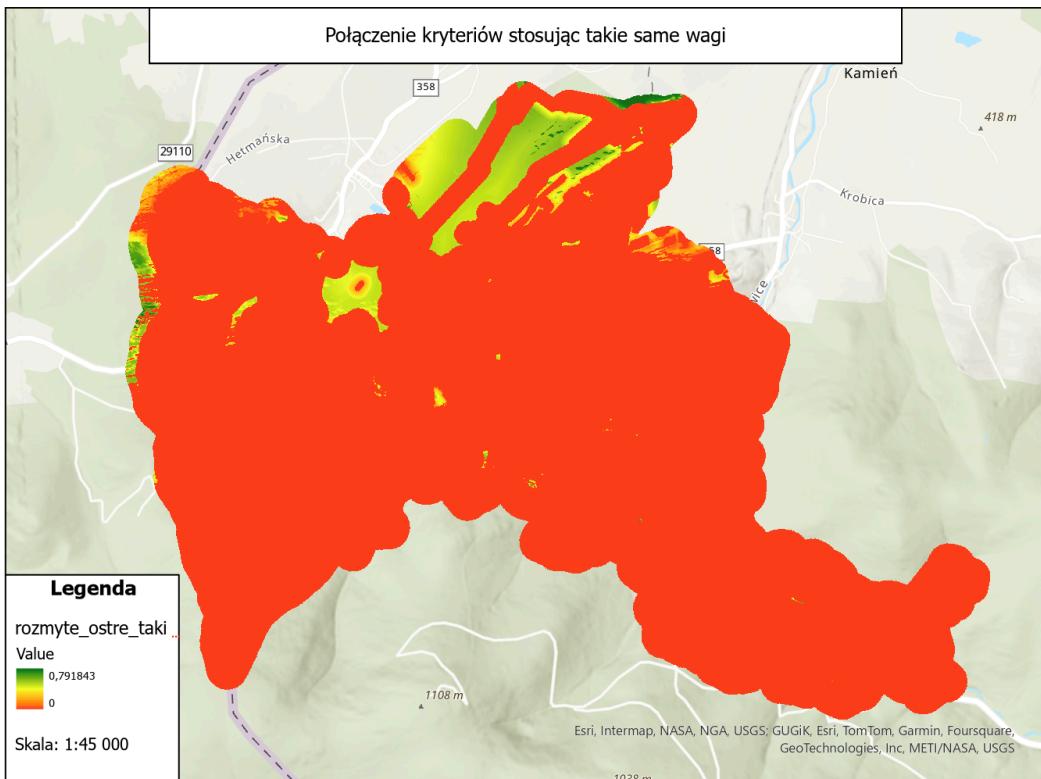
```

weighted_sum_table = (
    f"Fuzzy_woda VALUE 0.038;"
    f"Fuzzy_budynki VALUE 0.03;"
    f"Fuzzy_las VALUE 0.11;"
    f"Fuzzy_gestosc VALUE 0.066;"
    f"Fuzzy_stoki VALUE 0.292;"
    f"Fuzzy_slonce VALUE 0.402;"
    f"Fuzzy_dojazd VALUE 0.062"
)

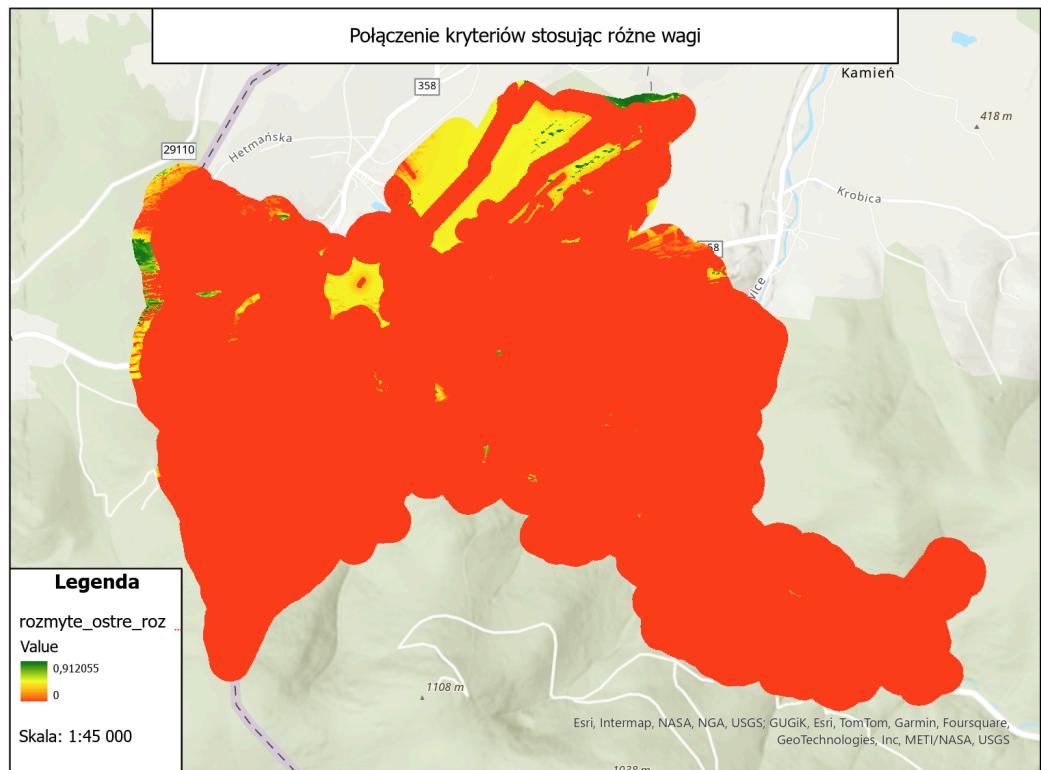
rozmyte_ahp = arcpy.ia.WeightedSum(in_weighted_sum_table=weighted_sum_table)
rozmyte_ahp.save(r"C:\Sem5\Analizy_przestrzenne\farma_foto\farma_foto\farma_foto.gdb\rozmyte_ahp")

```

Zdj. 13. Połączenie kryteriów rozmytych z różnymi wagami



Zdj. 14. Połączenie kryteriów stosując takie same wagи

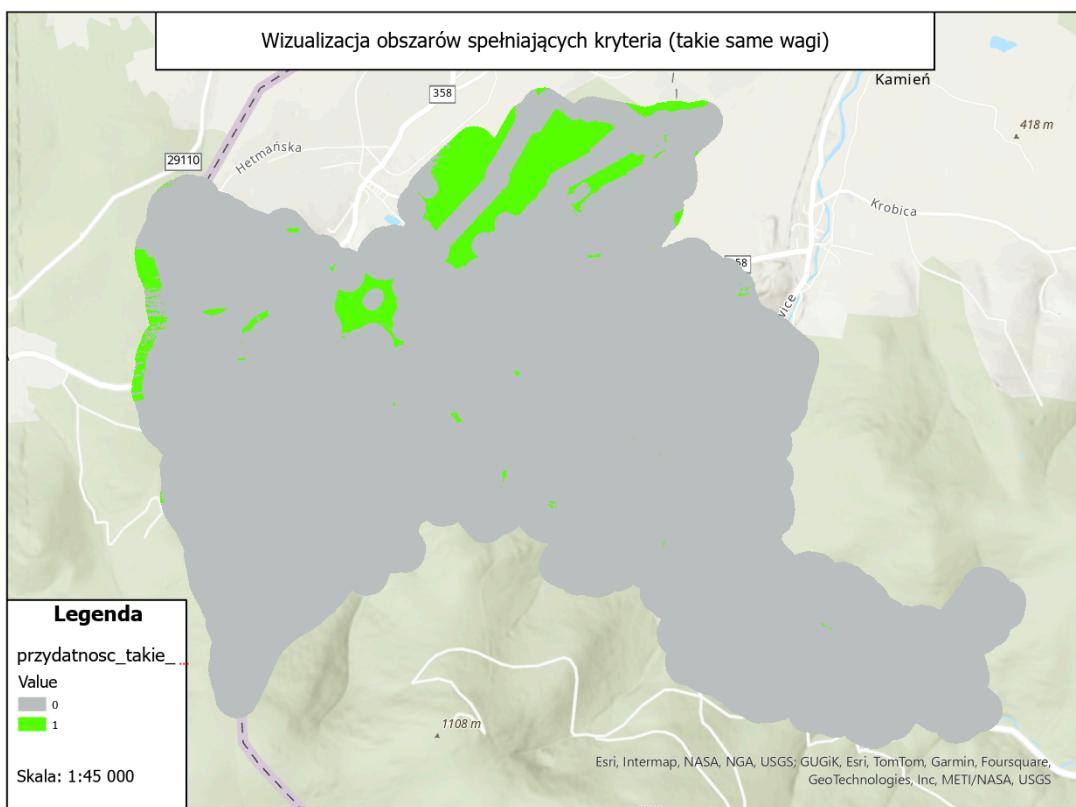


Zdj. 15. Połączenie kryteriów stosując różne wagи

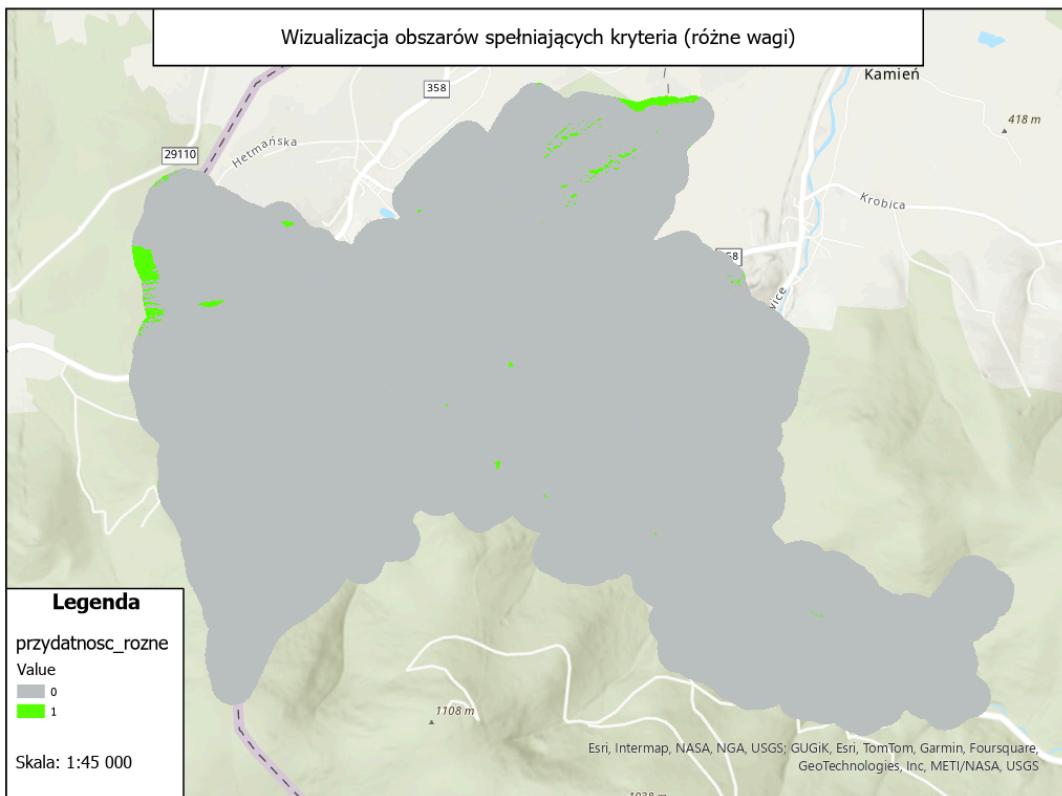
Połączenie kryteriów w obydwu podejściach wygląda bardzo podobnie. Te same obszary zostały wykluczone z obszarów przydatnych do budowy farmy. Główne różnice są w wartościach maksymalnych. Podejście z różnymi wagami osiąga wyższe wartości maksymalne, jest to spowodowane lepszym dopasowaniem wag do kryteriów. Z tego powodu rastery wynikowe różnią się również wielkością wartości pośrednich które przyjmują.

Według założeń projektu obszary o przydatności ponad 80/90% są uznawane za obszary optymalne pod farmę fotowoltaiczną. Jednak na analizowanym obszarze takich terenów jest bardzo mało lub jest ich nawet brak. Dlatego próg przydatności został obniżony do 60%.

Wyznaczono maksymalne wartości dla obydwu rastrow, a następnie policzono, jaka wartość to 60% tej wartości. Mając obliczone te wartości można było przejść do narzędzia Con, które dla obszarów o wartości równej lub wyższej niż obliczona przyjęły wartość 1.



Zdj. 16. Wizualizacja obszarów spełniających kryteria



Zdj. 17. Wizualizacja obszarów spełniających kryteria

Już na tym etapie różnica w wielkości terenów spełniających kryteria jest zauważalna, podejście wykorzystujące różne wagę ma zdecydowanie mniej obszarów przydatnych.

## 2.9. Wybór działek

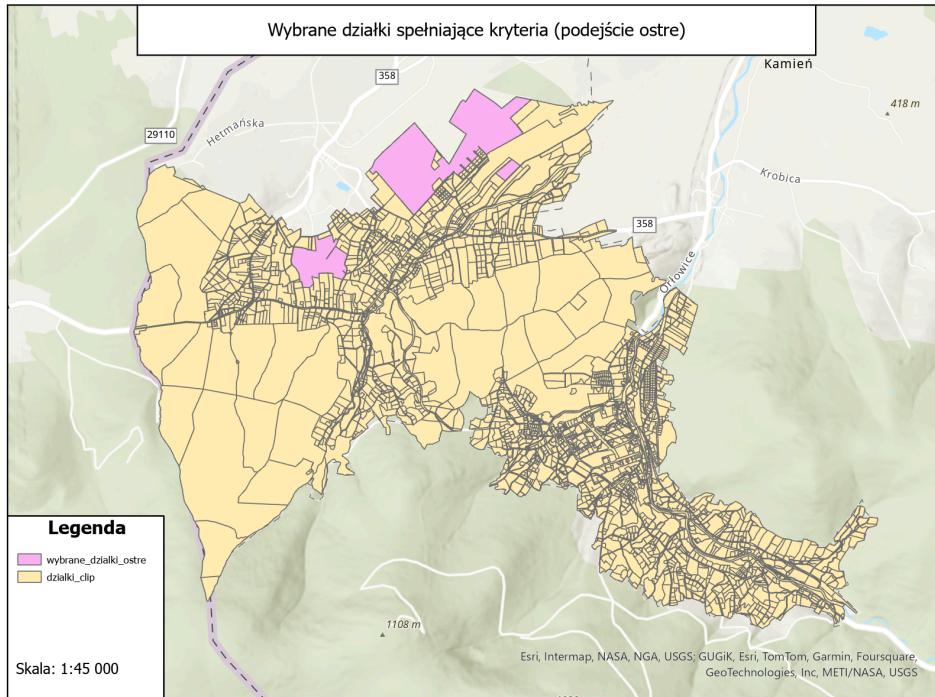
Mając już wybrane obszary, które spełniają kryteria, należało wybrać działki, które również mogą być uznane za optymalną lokalizację dla farmy fotowoltaicznej. Wybór działek wykonano w 3 wariantach: podejście mieszane z równymi wagami kryteriów z zastosowaniem logiki rozmytej, podejście mieszane z różnymi wagami kryteriów z zastosowaniem logiki rozmytej, podejście ostre. Dla każdego wariantu proces wyboru działek wyglądał analogicznie.

Prace rozpoczęto od konwersji warstwy zawierającej informacje o spełnianiu kryteriów przez dany obszar na warstwę poligonalną. Za pomocą SelectByAttribute wybrano poligony spełniające kryteria, z tak wybranymi poligonami wykonano intersekcje z warstwą działek. W wyniku czego otrzymano wycięte części działek, leżące na terenach przydatnych. Wyczyszczono wcześniejszą selekcję poligonów. Aby uniknąć nadpisywania danych dla kolejnych wariantów storzono kopie warstwy działek. Następnie wykonano tabele zawierającą statystyki o warstwie z wyciętymi elementami działki, tabela zawierała informacje o polu powierzchni obszarów. Za pomocą AddJoin połączono tabele z statystykami z warstwą z działkami. Do każdej działki została dołączona informacja o tym, jaka powierzchnia pokrywa się z terenami przydatnymi. Działki, na których brakuje takich obszarów przyjęły wartość Null. Kolejnym krokiem było

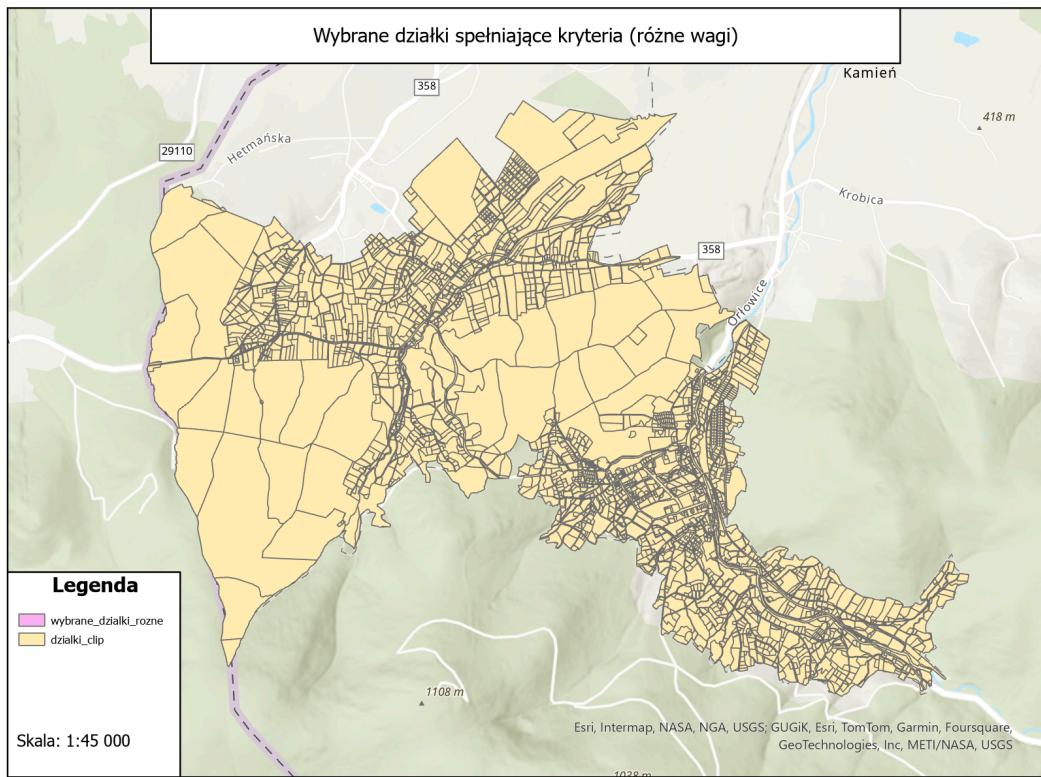
dodanie do warstwy z działkami pola „procent”, do którego dodano informacje o tym jaki procent powierzchni danej działki zajmuje obszar przydatny. Procent ten został wcześniej obliczony na podstawie powierzchni działki i powierzchni przydatności. Dodano kolejne pole zawierające 0 i 1, 1 jeśli procent był większy lub równy 60% (zgodnie z założeniami projektu), a 0 w pozostałych przypadkach. Stworzono nową warstwę zawierającą wyłącznie działki z przydatnością oznaczoną jako 1. Za pomocą AggregatePolygons połączono sąsiadujące działki spełniające kryteria. Przyjęto założenie, że działka może być optymalna pod budowę farmy fotowoltaicznej jeżeli jej powierzchnia jest równa lub większa niż 2 ha. Wybrano więc działki spełniające to założenie. Kolejnym warunkiem jest minimalna szerokość wynosząca 50 metrów. W celu wyznaczenia wysokości i szerokości działek, otoczono je prostokątem otaczającym, za pomocą kursora, wyznaczono skrajne współrzędne prostokątów, a ich różnica pozwoliła na wyznaczenie szerokości i wysokości. Na koniec stworzono nową warstwę z działkami, których wysokość i szerokość jest równa lub większa niż 50 metrów. Dla 3 wariantów proces wyglądał bardzo podobnie, jedynie w podejściu ostrym dodano połączenie kryteriów ostrych za pomocą operatora logicznego AND.

```
#Wyznaczenie szerokości działki, dodanie pól: wysokość i szerokość, za pomocą kursoara
#obliczenie szerokości i wysokości (różnica skrajnych współrzędnych)
input_fc = "dobre_dzialki_MinimumBound"
arcpy.AddField_management(input_fc, "Width", "DOUBLE")
arcpy.AddField_management(input_fc, "Height", "DOUBLE")
with arcpy.da.UpdateCursor(input_fc, ["SHAPE@", "Width", "Height"]) as cursor:
    for row in cursor:
        extent = row[0].extent
        width = extent.XMax - extent.XMin
        height = extent.YMax - extent.YMin
        row[1] = width
        row[2] = height
        cursor.updateRow(row)
```

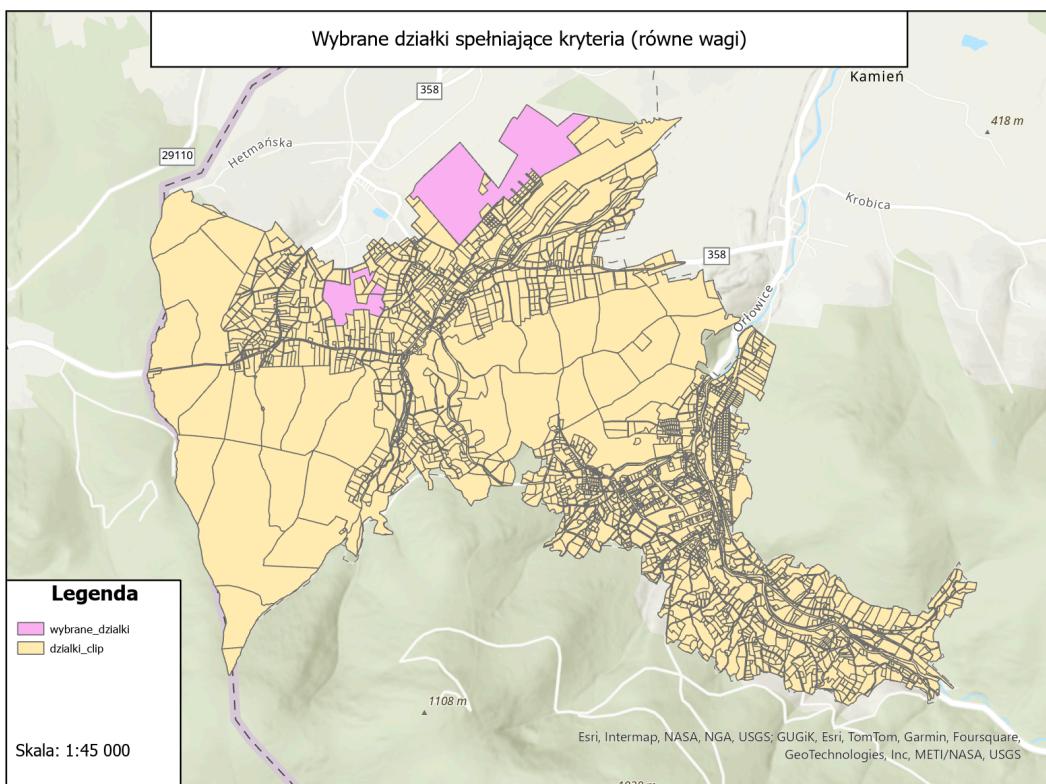
Zdj. 18. Wyznaczenie szerokości i wysokości



Zdj. 19. Wizualizacja wybranych działek spełniających kryteria ostre



Zdj. 20. Wizualizacja wybranych działek dla różnych wag



Zdj. 21. Wizualizacja wybranych działek dla równych wag

Wykorzystanie 3 podejść dało bardzo różne wyniki. Zastosowanie różnych wag nie znalazło żadnej działki spełniającej wszystkie wymagania, równe wagi znalazły kilka działek, jednak to wybranie podejścia ostrego spowodowało otrzymanie największej liczby działek spełniających kryteria.

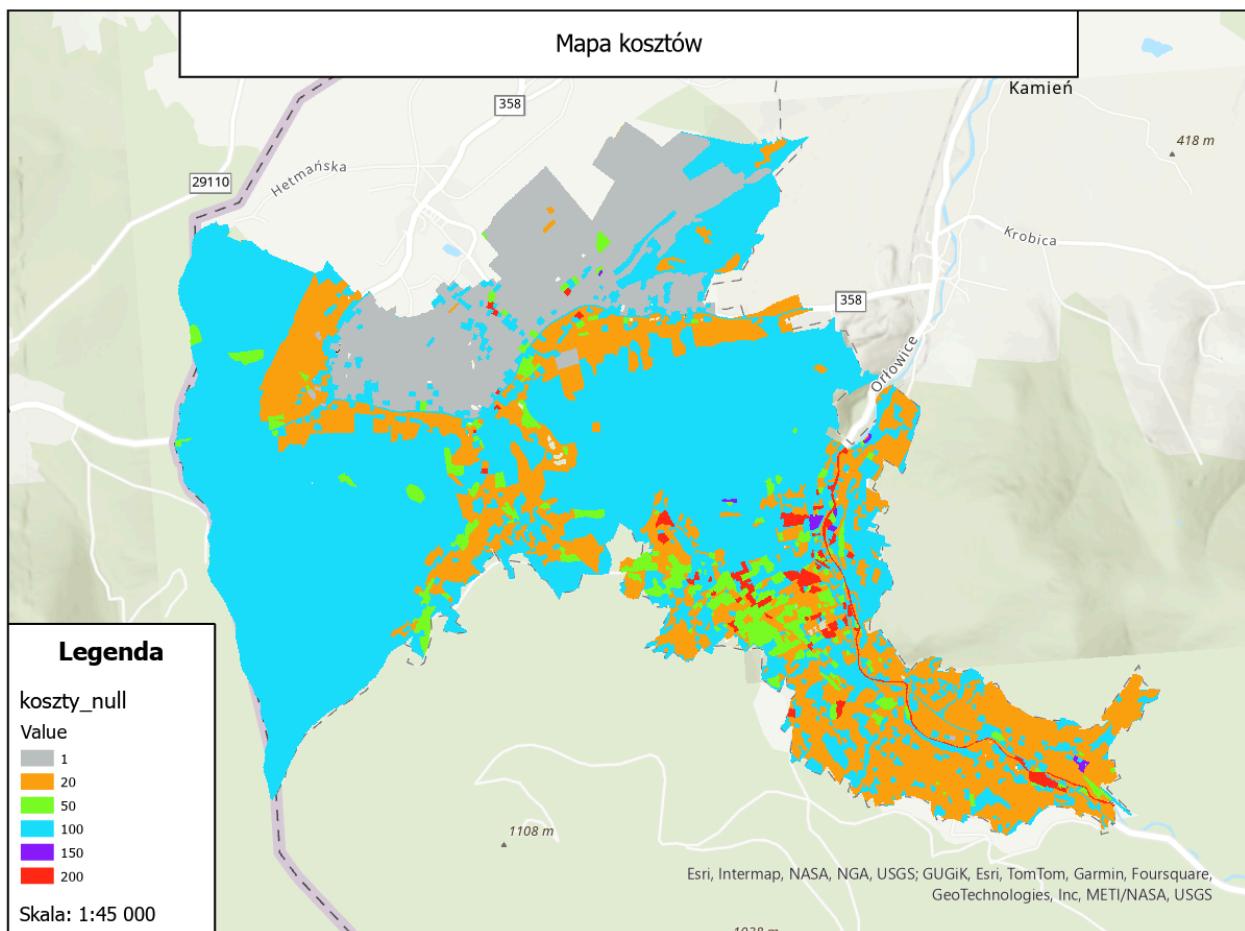
## 2.10. Mapa kosztów

Mając wybrane obszary spełniające kryteria, należało rozważyć, który obszar okaże się najtańszy pod względem podpięcia do mediów, w tym przypadku sieci energetycznej. Do takiej analizy niezbędna jest mapa kosztów, która przedstawia faktyczny lub umowny koszt zbudowania przyłącza przez dany obszar. Przyjęto, że koszt 1 to najmniejszy koszt, koszt dla pozostałych obszarów to wielokrotność tego kosztu. W mapie kosztów uwzględniono obszary barier wzajemnych, czyli obszary przez które zbudowanie przyłącza jest możliwe, ale bardzo kosztowne (koszt 150-200). Uwzględniono również bariery absolutne, czyli obszary przez które doprowadzenie przyłącza jest nie możliwe. Takie obszary przyjmują wartość NoData. Aby przygotować mapę kosztów należy połączyć warstwy z BDOT10k: PTWP\_A (woda powierzchniowa), PTZB\_A (zabudowa), PTLZ\_A (teren leśny i zadrzewiony), PTRK\_A (roślinność krzewista), PTUT\_A (uprawa trwała), PTTR\_A (roślinność trawiasta i uprawa rolna), PTKM\_A (teren pod drogami kołowymi, szynowymi i lotniskowymi), PTGN\_A (grunt nieużytkowany), PTPL\_A (plac), PTSO\_A (składowisko odpadów), PTWZ\_A (wyrobisko i zwala), PTNZ\_A (pozostały teren niezabudowany), stworzyć funkcję, która na podstawie typu obiektu dopisze od niego odpowiedni X\_KOD, a następnie na jego podstawie koszt wzajemny. W realizowanym projekcie użyto gotowej warstwy do stworzenia mapy kosztów. Za pomocą CalculateField na podstawie pola X\_kod dopisano wartości kosztów wzajemnych.

```
#Do warstwy zawierającej połączone odpowiednie warstwy z BDOT10k, dodanie pola koszt,
#koszt jest wybierany na podstawie warunków
arcpy.management.CalculateField(
    in_table="PT_merge_cliped",
    field="KOSZT",
    expression="calculate(!X_KOD!)",
    expression_type="PYTHON3",
    code_block="""
def calculate(nazwa):
    if nazwa in ["PTWP01", "PTWP03", "PTUT01", "PTKM04", "PTS001", "PTSS002", "PTWZ01", "PTWZ02"]:
        return 0
    elif nazwa in ["PTWP02", "PTZB01", "PTZB04", "PTZB03", "PTKM02", "PTKM03"]:
        return 200
    elif nazwa in ["PTZB02", "PTLZ01", "PTUT03", "PTKM01"]:
        return 100
    elif nazwa in ["PTZB05", "PTLZ02", "PTLZ03", "PTPL01"]:
        return 50
    elif nazwa in ["PTRK01", "PTRK02"]:
        return 15
    elif nazwa in ["PTUT02"]:
        return 90
    elif nazwa in ["PTUT04", "PTUT05", "PTTR01"]:
        return 20
    elif nazwa in ["PTTR02", "PTGN01", "PTGN02", "PTGN03", "PTGN04"]:
        return 1
    elif nazwa in ["PTNZ01", "PTNZ02"]:
        return 150
    else:
        return 0""",
    field_type="Short",
    enforce_domains="NO_ENFORCE_DOMAINS"
)
```

Zdj. 22. Przypisanie kosztów do danych typów obiektów

Mając tak utworzoną warstwę należało przekonwertować warstwę na raster, a następnie w celu uwzględnienia barier absolutnych zamienić wartości 0 na NULL.



Zdj. 23. Wizualizacja mapy kosztów

Kolejnym krokiem było utworzenie mapy kosztów skumulowanych oraz mapy kierunków dla 3 wariantów. Wszystkie wariant powstawały w analogiczny sposób. Mapa kosztów skumulowanych powstaje na podstawie mapy kosztów względnych, wartość danego piksela oznacza najmniejszy skumulowany koszt, jaki byłoby trzeba ponieść aby dotrzeć do tego piksela z piksela początkowego. Do utworzenia mapy kosztów skumulowanych wykorzystano narzędzie CostDistance, które wykorzystuje mapę kosztów oraz wyselekcjonowane w poprzednich krokach działki. Wynikiem funkcji jest raster będący mapą kosztów skumulowanych oraz mapa kierunków (backlink raster), czyli raster przyjmujący wartości, które definiują kierunki pikseli, identyfikując najbliższe sąsiednie piksele wzduż drogi o najmniejszym skumulowanym koszcie od danego piksela. Mając tak utworzone warstwy, można było przejść do ostatniego etapu analizy, czyli wybrania ścieżki przyłącza, za pomocą CostPath. Funkcja przyjmuje warstwę z liniami energetycznymi oraz warstwy wynikowe z poprzedniej funkcji. Wybrano również aby typ wynikowej ścieżki był najlepszy pojedynczy, przez co wynikiem funkcji jest piksel oznaczający najlepsze miejsce przyłącza.

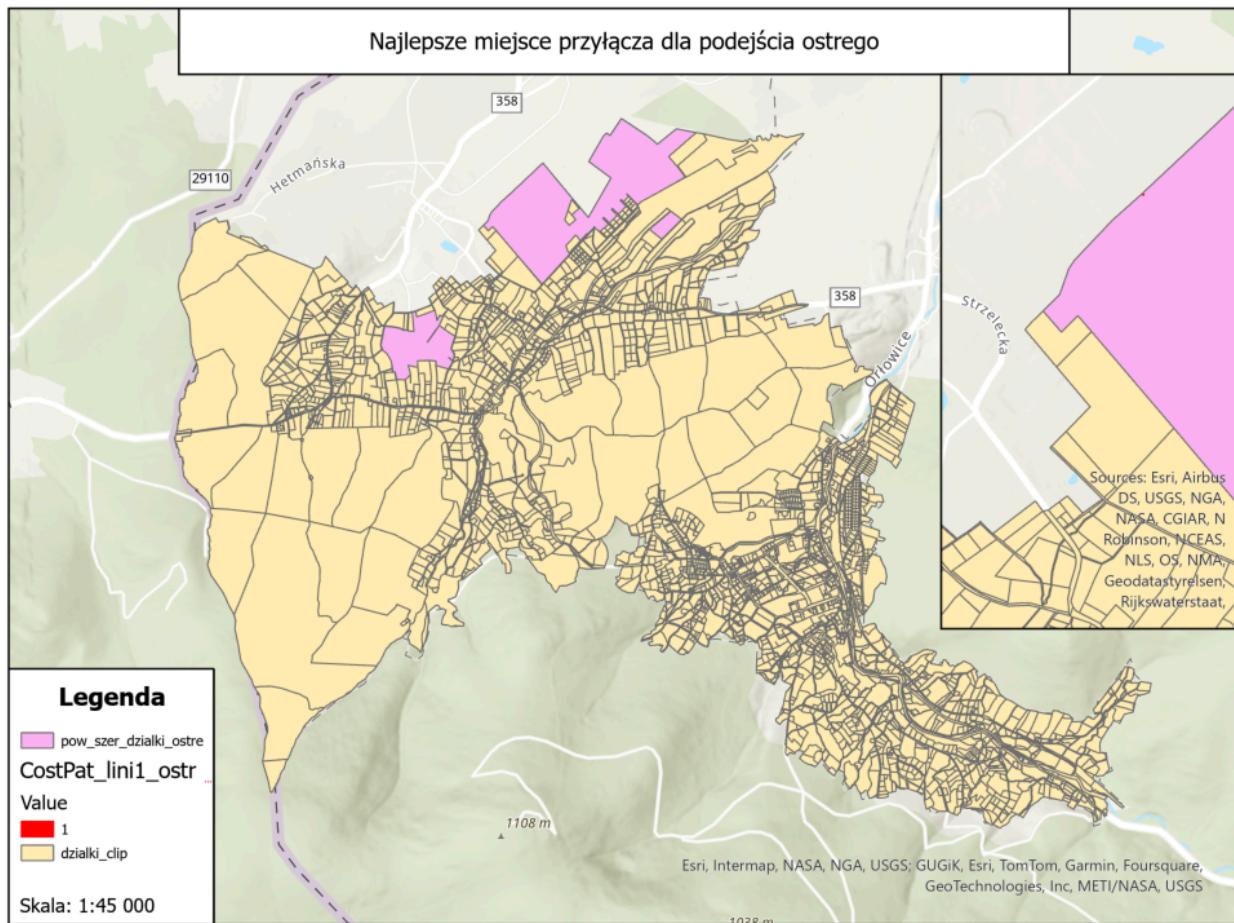
```

#Sprawdzenie czy zalezono działki spełniające kryteria, jeżeli tak mapy są tworzone
count_powi = arcpy.management.GetCount("pow_szer_dzialki")[0]
if int(count_powi) > 0:
    out_distance_raster = arcpy.sa.CostDistance(
        in_source_data="pow_szer_dzialki",
        in_cost_raster="koszty_null",
        maximum_distance=None,
        out_backlink_raster=r"C:\Sem5\Analizy_przestrzenne\farma_foto\farma_foto\farma_foto.gdb\backlink_raster",
        source_cost_multiplier=None,
        source_start_cost=None,
        source_resistance_rate=None,
        source_capacity=None,
        source_direction=""
    )
    out_distance_raster.save(r"C:\Sem5\Analizy_przestrzenne\farma_foto\farma_foto\farma_foto.gdb\CostDis_powi1")

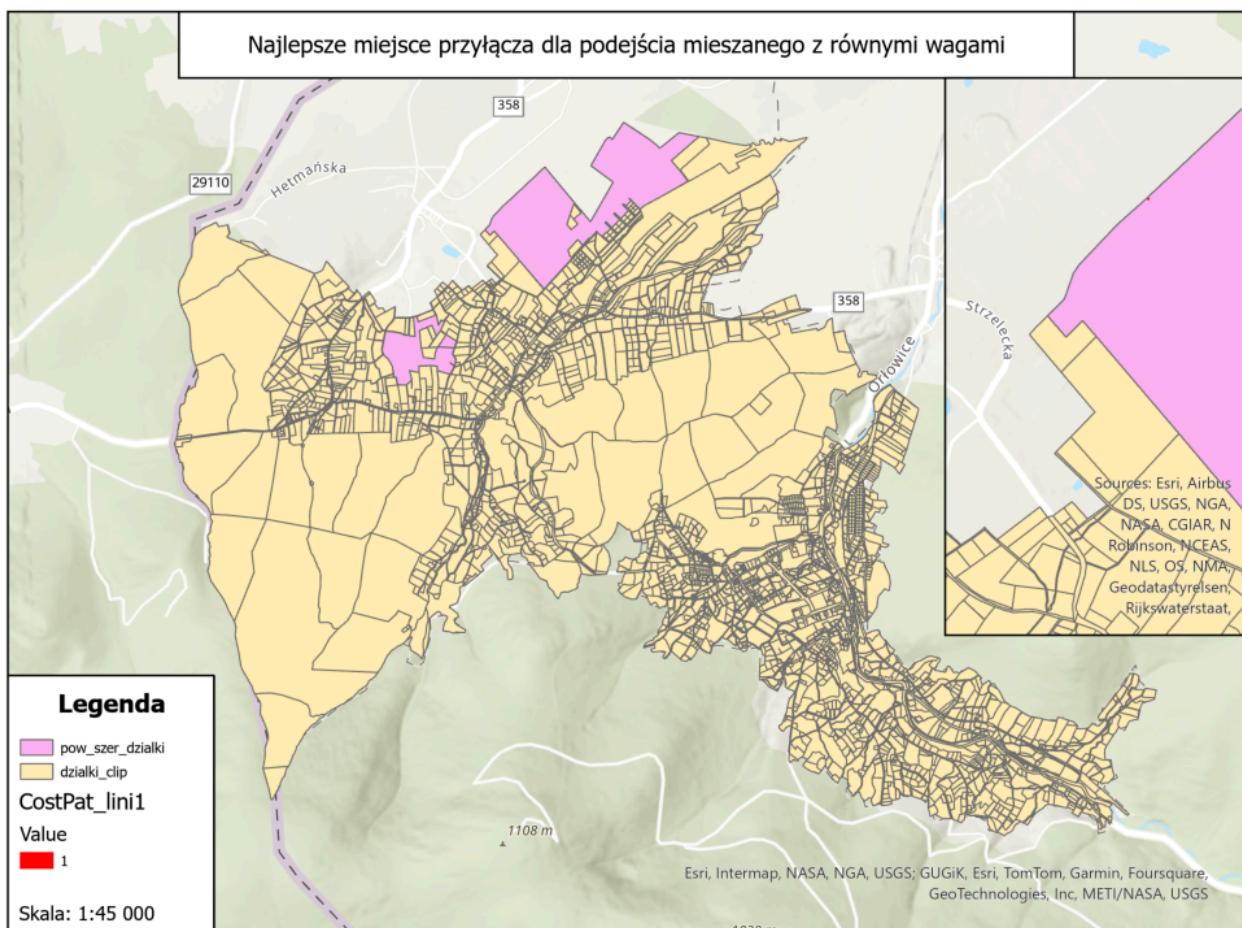
    CostPat_lini1 = arcpy.sa.CostPath(
        in_destination_data="linie_Clip",
        in_cost_distance_raster="CostDis_powi1",
        in_cost_backlink_raster="backlink_raster",
        path_type="BEST_SINGLE",
        destination_field="OBJECTID",
        force_flow_direction_convention="INPUT_RANGE"
    )
    CostPat_lini1.save(r"C:\Sem5\Analizy_przestrzenne\farma_foto\farma_foto\farma_foto.gdb\CostPat_lini1")

```

Zdj. 24. Stworzenie mapy kosztów skumulowanych, mapy kierunków oraz ścieżki przyłącza



Zdj. 25. Wizualizacja optymalnego miejsca przyłącza podejście ostre



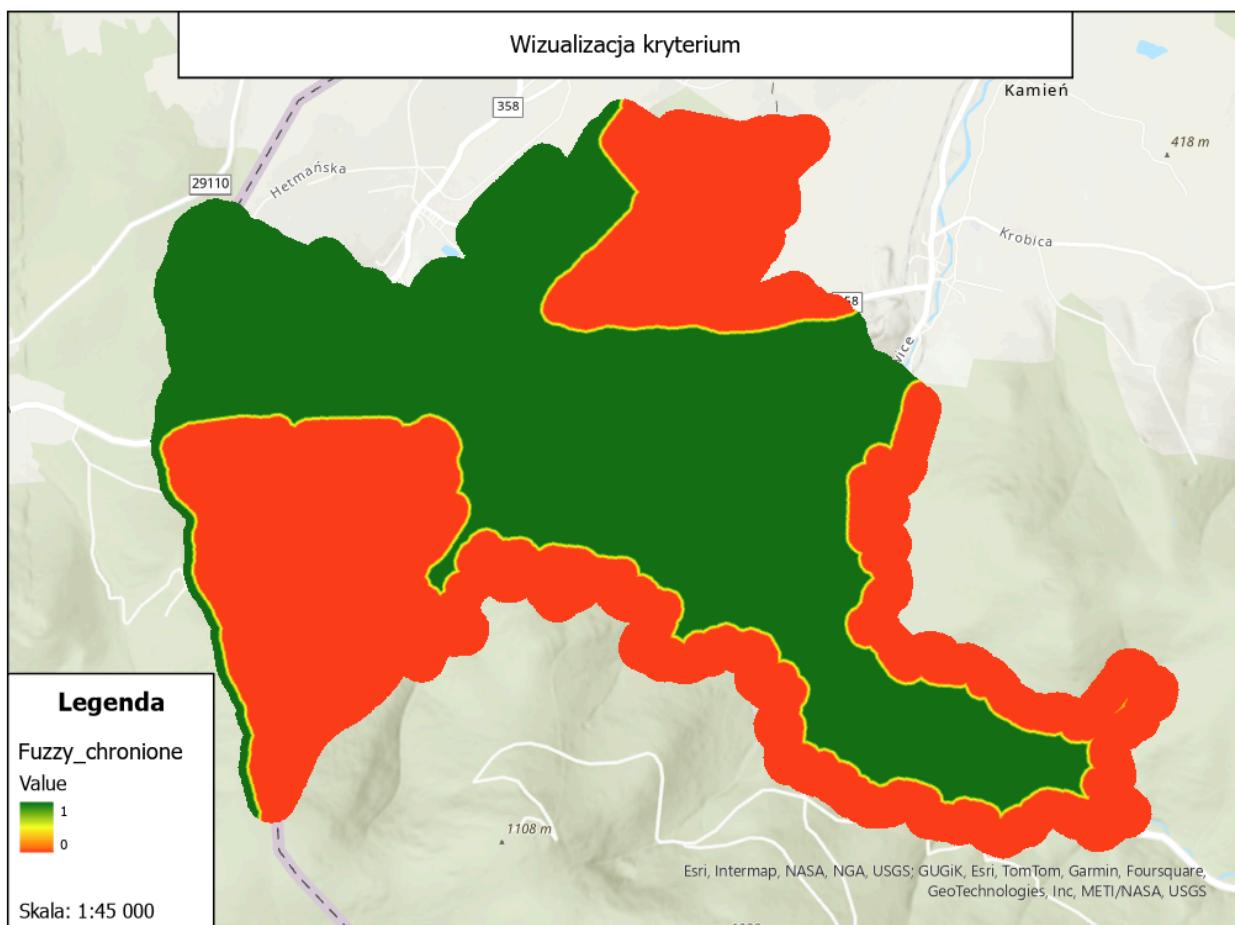
Zdj. 26. Wizualizacja optymalnego miejsca przyłącza podejście z równymi wagami

W podejściu mieszanym z różnymi wagami nie znaleziono działek spełniających kryteria, dlatego również najlepsza lokalizacja przyłącza nie została wybrana. Pozostałe warianty dały ten sam wynik. Przyłącze w podejściu ostrym i podejściu mieszanym z tymi samymi wagami dało ten sam wynik.

### 3. Dodatkowe kryterium

W projekcie zostały uwzględnione różnorodne kryteria, jednak nie zostały uwzględnione wszystkie możliwe zagadnienia. Jednym z zagadnień, które warto byłoby uwzględnić w projekcie są obszary chronione. Zgodnie z art. 15 ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody farmy fotowoltaiczne nie mogą się znajdować na terenie parków narodowych oraz rezerwatów przyrody. W przypadku parków krajobrazowych ich lokalizacja jest możliwa jedynie, gdy odpowiednie organy uznają, że nie oddziałują negatywnie na przyrodę parku krajobrazowego. Jednak wybór lokalizacji na terenie parku krajobrazowego jest ryzykowny, ponieważ w części przypadków farma fotowoltaiczna może mocno wpływać na walory przyrodnicze parku. Podobnie jest w przypadku Obszarów Natura 2000, są to formy ochrony

przyrody, w których nie można znacząco negatywnie oddziaływać na przyrodę. Dlatego farmy fotowoltaiczne nie mogą również powstawać na terenie Obszarów Natura 2000. Realizacja powyższego kryterium może przebiec w kilku krokach. Najważniejszym etapem jest pobranie danych, mogą być to dane z BDOT10k. Warstwy interesujące użytkownika to TCON (obszary Natura 2000), TCPK (park krajobrazowy), TCPN (park narodowy), TCRZ (rezerwat). Następnym krokiem po pobraniu danych jest ich połączenie za pomocą narzędzia Merge, dane muszą zostać przycięte do zasięgu analizowanego obszaru z uwzględnieniem bufora. Następnym krokiem jest stworzenie mapy odległości euklidesowych za pomocą narzędzia EuclideanDistance. Na podstawie wyżej przytoczonej ustawy uznano dla zachowania uniwersalności kodu, że w żadnej z wymienionych form ochrony nie można zlokalizować farmy fotowoltaicznej. Dodatkowo uwzględniono 100 metrowy bufor ochronny wokół form ochrony przyrody. Następnym krokiem było przeliczenie wartości rastra do przedziału 0-1, krok ten zrealizowano za pomocą narzędzia FuzzyMembership. Jako wartość minimalną użyto wartości 100, czyli maksymalnej odległości od form ochrony przyrody, dla której przydatność jest równa 0. Wartość maksymalna to 150, czyli minimalna odległość od form ochrony przyrody, dla której przydatność jest już równa 1. Jako wynik otrzymano raster przyjmujący wartości od 0 do 1. Tak utworzoną warstwę można uwzględnić w dalszych analizach, łącząc ją z pozostałymi rastrami powstałymi przy realizacji pozostałych kryteriów.



Zdj. 27. Wizualizacja kryterium z obszarami chronionymi

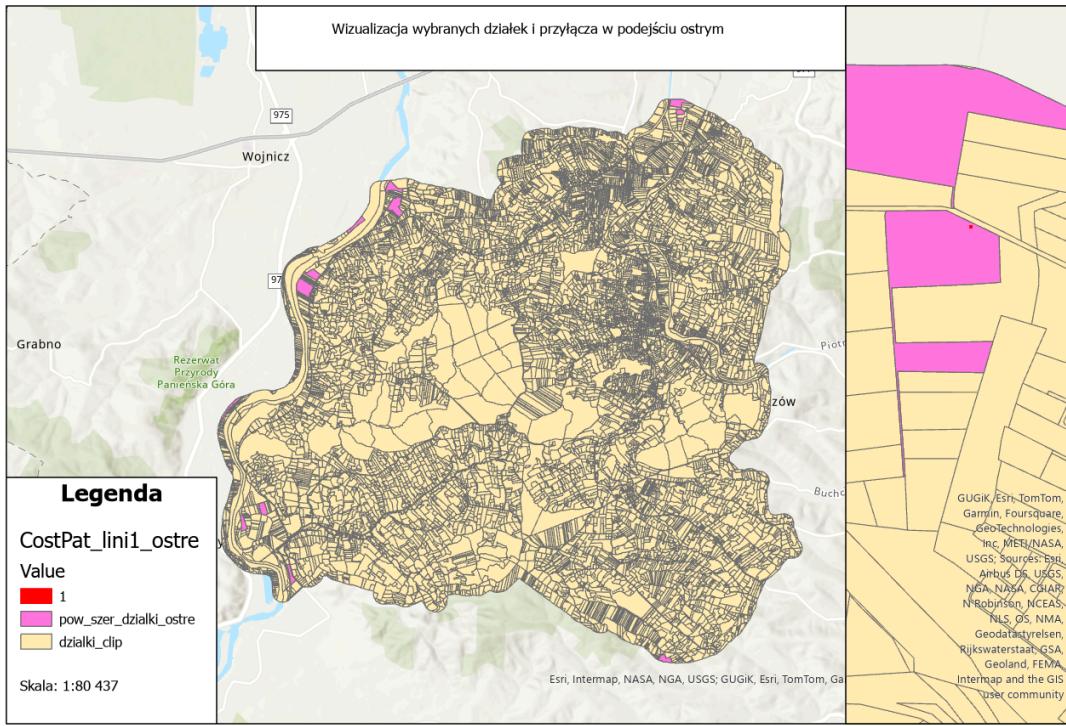
Uwzględnienie dodatkowego kryterium w znaczącym stopniu wpłynęłoby na wyniki analizy. Część wybranej działki znajduje się na terenie obszarów chronionych, na etapie wybierania działek, działki te nie byłyby uwzględnione. Z tego powodu wybrany obszar z uwzględnieniem kryterium byłby odpowiednio mniejszy.

#### **4. Raport z testu dla innego obszaru**

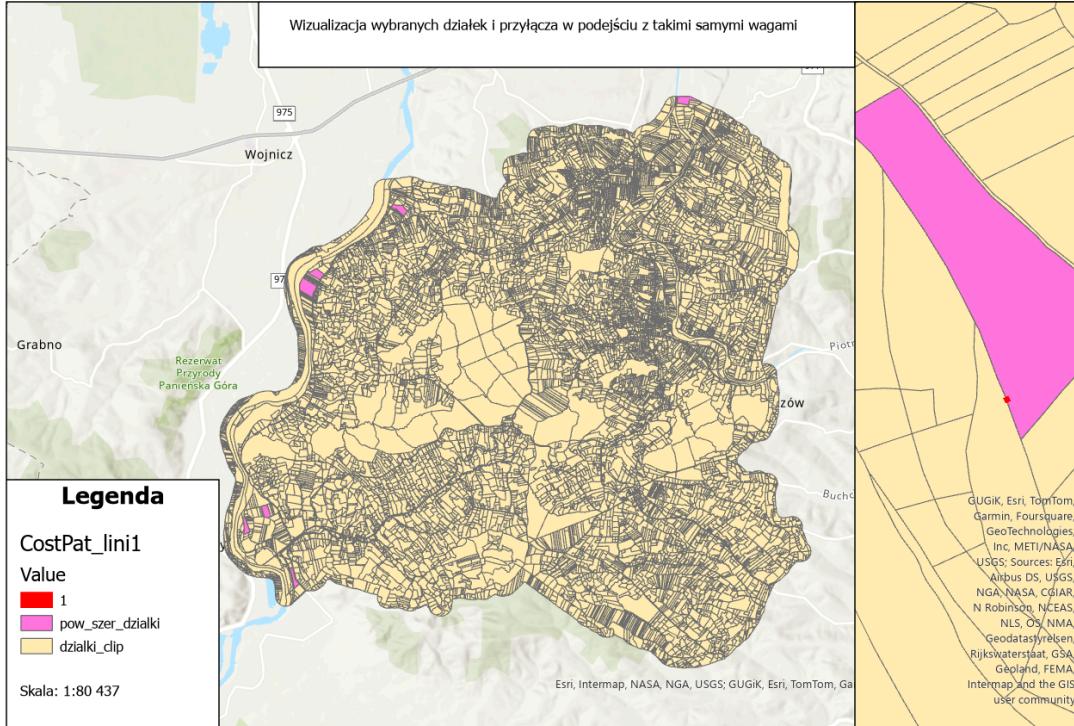
W celu przetestowania stworzonego skryptu, analizę przeprowadzono również dla gminy Pleśna. Jest to gmina wiejska położona w województwie małopolskim w powiecie tarnowskim. Gmina ma powierzchnię  $84,9 \text{ km}^2$ , zamieszkuje ją prawie 12 tysięcy osób. Jest to obszar zróżnicowany topograficznie, w jej granicach znajdują się liczne wzgórza, doliny i rozległe tereny leśne, co tworzy wyjątkowy krajobraz. Gmina charakteryzuje się również dużą ilością gruntów rolnych, co sprawia, że rolnictwo jest jednym z głównych sektorów gospodarki.

Do testów przygotowano warstwy wejściowe: SWRS\_L , PTWP\_A , SKJZ\_L, PTLZ\_A, BUBD\_A, SULN\_L, mapę kosztów, granice administracyjne gminy, działki, mapę przedstawiającą zasięg dostępności w danym czasie, NMT. Dane przyjęto do zasięgu 200 metrowego bufora gminy. Dodano nowy projekt do ArcGis PRO, a do niego przygotowane dane oraz skrypt. Konieczna była konfiguracja środowiska. Dodając do projektu warstwy było trzeba pamiętać o odpowiednim nazewnictwie, aby nazwy warstw pokrywały się z nazwami występującymi w kodzie. Jedynym problemem były ścieżki dostępu do geobazy i warstw, jednak udało się zmienić za pomocą funkcji znajdź i zamień. Kod wykonał się w całości bez błędów. Było to możliwe dzięki próbie zachowania uniwersalności kodu, poprzez zastosowanie uniwersalnych nazw, nie ustawianiu sztywnych wartości, tylko przy każdym wywołaniu kodu liczeniu ich na bieżąco oraz pracy na już przygotowanych danych.

Wywołanie kodu dla danych innego obszaru potwierdziło poprawność kodu. Testowy obszar został przeanalizowany bez błędów oraz zwrócił podobne dane wynikowe, co główny obszar. Podejście z różnymi wagami dla obydwu obszarów nie znalazło optymalnej lokalizacji dla farmy fotowoltaicznej, a podejście ostre również znalazło więcej działek niż podejście z równymi wagami.



Zdj. 28. Wizualizacja wybranych działek i optymalnego miejsca przyłącza dla podejścia ostrego



Zdj. 29. Wizualizacja wybranych działek i optymalnego miejsca przyłącza dla podejścia z równymi wagami

## **5. Podsumowanie i wnioski**

1. Zastosowanie podejścia z takimi samymi wagami, różnymi wagami i podejścia ostrego umożliwiło otrzymanie różnych wyników. Zastosowanie różnych wag umożliwiło otrzymanie najwyższych wartości rastra wynikowego (prawie maksymalna przydatność), jednak przez to że wartości przydatności były aż tak wysokie, to również próg przydatności był bardzo wysoki, co skutkowało brakiem działek spełniających kryteria. Właśnie to podejście było najbardziej dokładne, najlepiej realizowało założenia projektu, jednocześnie wybierając obszary w bardzo rygorystyczny sposób. Możliwe że zastosowanie innych wag dla kryteriów, spowodowałoby, że na analizowanym obszarze są działki spełniające kryteria. Przypisanie wysokich wag kryteriom mogło spowodować przeszacowanie wag, co może skutkować wykluczeniem części obszarów. Dodatkowo nadmierne skupienie się na jednym kryterium może spowodować pominięcie innych kluczowych aspektów.
2. Podejście ostre jedynie wykluczało obszary, na których farma fotowoltaiczna nie mogła się znaleźć, dlatego właśnie to podejście dawało najczęściej działek spełniających kryteria. Jednak podejście nie weryfikowało w jakim stopniu obszar spełnia kryteria, możliwe że obszary wybrane w podejściu ostrym mają bardzo niską przydatność, więc budowa farmy fotowoltaicznej na takim obszarze nie przyniosłaby oczekiwanych zysków.
3. Podejście z takimi samymi wagami jest „złotym środkiem”. Algorytm znalazł działki spełniające kryteria, nie są to tylko działki znajdujące się na obszarach, na których budowa farmy fotowoltaicznej nie jest niemożliwa, ale również ich przydatność jest na oczekiwany poziomie. Jednocześnie algorytm bierze wszystkie aspekty inwestycji z taką samą wagą, co powoduje, że żadne kryterium nie będzie zbyt mocno decydować o lokalizacji farmy.
4. Kryteria uwzględnione w projekcie stanowią zaledwie małą część warunków, które powinna spełniać farma podczas planowania prawdziwej inwestycji. Uwzględnienie wszystkich kryteriów dałoby całkiem inne wyniki analizy. Jednocześnie tak zautomatyzowany sposób wyboru lokalizacji mógł by nie brać pod uwagę sytuacji, w których trzeba zrezygnować z któregoś kryterium na rzecz innego kryterium, które przyniesie większe zyski.
5. Otrzymane wyniki mogłyby się różnić w zależności od dokładności dostarczonych danych. Im większa rozdzielcość i dokładność danych tym możliwe byłoby wyznaczanie dokładniejszej optymalnej lokalizacji farmy fotowoltaicznej.
6. Algorytm jest bardzo wrażliwy na nawet drobne zmiany parametrów, dlatego użytkownik wykorzystując algorytm dla nowego obszaru powinien zapoznać się z kodem i zrozumieć jego działanie, aby zweryfikować poprawność dobranych parametrów dla nowego obszaru. Warto również zapoznać się ze specyfiką obszaru.

## **6. Propozycje ulepszeń kodu**

Skrypt działa dla głównego obszaru i obszaru testowego, jednak możliwe byłyby ulepszenia, które mogłyby wprowadzić istotne zmiany w jego działaniu.

1. Większa automatyzacja → obecnie użytkownik sam przygotowuje dane i konfiguruje środowisko, warto wprowadzić automatyzację, która pozwoli na pobranie danych oraz ich przygotowanie i konfiguracja środowiska. Obsługa takiego programu byłaby bardziej

przyjazna dla użytkownika, a proces byłby mniej podatny na błędy wynikające z ręcznej obsługi.

2. Dodanie większej ilości zabezpieczeń na wypadek wprowadzenie złych danych wejściowych lub błędów w trakcie działania programu → warto wdrożyć mechanizmy walidacji danych wejściowych oraz systemy informujące użytkownika o ewentualnych problemach.
3. Uwzględnienie większej ilości kryteriów → dodatkowe kryteria zwiększyłyby wszechstronność analizy, wymagałoby to jednak dodatkowych analiz uwzględnionych w skrypcie
4. Zautomatyzowanie procesu wybierania wag dla podejścia wykorzystującego różne wagi → wagi wybierane ręcznie są podatne na błędy, a ich wybór jest czasochlonny. Łatwo jest przeszacować wagę, przez co algorytm może nie znaleźć żadnego obszaru spełniającego kryteriów. Wykorzystanie uczelni maszynowego i automatycznego wybierania wag mogłoby rozwiązać wiele problemów pojawiających się w skrypcie. Algorytm mógłby również uwzględniać różne kombinacje wag i zaproponować optymalne ustawienie w zależności od wyników analizy.

## 7. Bibliografia

1. <https://farmy-fotowoltaiczne.com.pl/farmy-fotowoltaiczne-jaka-odleglosc-od-zabudowan-jest-wymagana/>
2. <https://electrum.pl/jak-wybrac-najlepsza-lokalizacje-do-budowy-farmy-fotowoltaicznej/>
3. <https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php>
4. [https://heliosstrategia.pl/farmy-fotowoltaiczne-a-kwestie-prawne-jak-uniknac-klopotow/?utm\\_source=chatgpt.com](https://heliosstrategia.pl/farmy-fotowoltaiczne-a-kwestie-prawne-jak-uniknac-klopotow/?utm_source=chatgpt.com)
5. [https://www.prawo-budowlane.info/budowa-farmy-fotowoltaicznej-procedury-i-pozwolenia%2C544%2Cmaterial\\_prawo\\_budowlane.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.prawo-budowlane.info/budowa-farmy-fotowoltaicznej-procedury-i-pozwolenia%2C544%2Cmaterial_prawo_budowlane.html?utm_source=chatgpt.com)