

# Wskazanie optymalnej lokalizacji farmy fotowoltaicznej

## 1. Cel projektu

Celem projektu jest wyznaczenie optymalnej lokalizacji farmy fotowoltaicznej w gminie Świeradów-Zdrój oraz napisanie skryptu w języku Python z wykorzystaniem biblioteki arcpy w środowisku Arcgis Pro.

## 2. Wstęp teoretyczny

Farma fotowoltaiczna to rozległa instalacja słoneczna, składająca się z dziesiątek, setek a nawet tysięcy modułów, zintegrowanych w jeden wspólny system. Jej głównym celem jest generowanie dużych ilości energii elektrycznej, która jest najczęściej na sprzedaż. Planując taką inwestycję trzeba wziąć pod uwagę szereg istotnych kryteriów technicznych, środowiskowych i ekonomicznych, a także spełnić obowiązujące wymogi prawne.

Aby zrealizować realizację farmy fotowoltaicznej należy wziąć pod uwagę następujące warunki środowiskowe i techniczne:

**Odległość od rzek i zbiorników wodnych-** Obszary położone w pobliżu zbiorników wodnych często mają dobrze rozwiniętą infrastrukturę drogową, co ułatwia transport sprzętu na miejsce budowy oraz codzienną obsługę techniczną farmy. Ponadto woda może być przydatna do czyszczenia paneli. Farma fotowoltaiczna musi być oddalona dostatecznie daleko od wody w celu zapobiegania erozji gleby oraz zanieczyszczenia wód.

**Odległość od budynków mieszkalnych-** Farma fotowoltaiczna powinna znajdować się jak najdalej od budynków ze względu na hałas generowany przez falowniki, brak akceptacji społecznej oraz wymogi planistyczne.

**Pokrycie terenu-** Nie ma przepisów prawnych zabraniających usytuowanie farmy fotowoltaicznej w pobliżu lasu. Natomiast drzewa rzucają cień na panele, więc nie byłoby możliwe pełne wykorzystanie docierającej energii słonecznej. Ponadto pyłki i liście mogą zanieczyszczać panele, które wymagałyby częstszego czyszczenia, a spadające gałęzie mogłyby uszkodzić panele.

**Dostęp do dróg utwardzonych-** Inwestycja powinna znajdować się jak najbliżej dróg utwardzonych. Jest to kluczowe w celu transportu materiałów na budowę, gdzie musi dojechać ciężki specjalistyczny sprzęt. Taka lokalizacja zmniejsza koszty logistyczne w przypadku awarii, serwisu czy konserwacji.

**Nachylenie stoków-** Optymalne są płaskie tereny, które umożliwiają montaż paneli oraz ich optymalne ustawnienie względem promieniowania słonecznego. Im większe nachylenie gruntu, tym większy koszt budowy oraz zagrożenie erozją gleby.

**Dostęp do światła słonecznego-** Podczas budowy farmy fotowoltaicznej wybiera się stoki o ekspozycji południowej, które gwarantują maksymalną ilość światła słonecznego, co bezpośrednio przekłada się na wydajność farmy fotowoltaicznej.

**Dobry dojazd do węzłów komunikacyjnych-** Bliskość dużych węzłów komunikacyjnych zmniejsza koszty transportu w fazie budowy oraz w czasie późniejszego utrzymania.

**Rodzaj gleby i zagospodarowanie terenu-** Teren nie może być cenny przyrodniczo tzn. nie znajdować się w obszarze Natura 2000, rezerwacie przyrody, parku narodowym czy krajobrazowym. Ponadto należy uwzględnić klasę bonitacyjną gleby- ziemie wysokiej klasy zazwyczaj są wyłączone z takich inwestycji.

**Zanieczyszczenie środowiska-** Trzeba sprawdzić czy teren, gdzie jest planowana inwestycja nie jest skażony substancjami, które mogłyby negatywnie wpłynąć na funkcjonowanie farmy.

Proces uzyskania pozwoleń dla farmy fotowoltaicznej obejmuje:

**1. Wniosek o zezwolenie na wyłączenie gruntów z produkcji rolnej**

Zgodnie z Ustawą o ochronie gruntów rolnych i leśnych<sup>1</sup>, jeżeli inwestycja ma być realizowana na gruntach rolnych, konieczne może być wyłączenie gruntów z produkcji rolnej. Decyzję w tej sprawie wydaje odpowiedni organ (np. starosta lub wojewoda) w zależności od klasy gruntu. Konieczne jest również wniesienie opłat za wyłączenie gruntów wyższych klas.

**2. Wniosek o decyzję o warunkach zabudowy**

Zgodnie z Ustawą o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym<sup>2</sup> w przypadku braku miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego (MPZP), konieczne jest uzyskanie decyzji o warunkach zabudowy (WZ). Decyzję wydaje wójt, burmistrz lub prezydent miasta. Warunkiem uzyskania decyzji jest m.in. dostęp do drogi publicznej, wystarczające uzbrojenie terenu oraz zgodność z sąsięnią zabudową.

**3. Wniosek o decyzję o środowiskowych uwarunkowaniach**

Zgodnie z Ustawą o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływanego na środowisko<sup>3</sup>, inwestycja o charakterze farmy fotowoltaicznej może potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko. W takim przypadku wymagana jest decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach. Wniosek składa się przed uzyskaniem decyzji o warunkach zabudowy lub pozwolenia na budowę, a decyzję wydaje wójt, burmistrz lub prezydent miasta (w zależności od lokalizacji i zakresu inwestycji).

**4. Wniosek o pozwolenie na budowę**

Zgodnie z art. 28 Prawa budowlanego<sup>4</sup>, budowa farmy fotowoltaicznej o mocy większej niż 50 kW wymaga uzyskania pozwolenia na budowę oraz zatwierdzenia projektu budowlanego. Inwestor musi złożyć wniosek do właściwego organu administracji architektoniczno-budowlanej. Stronami postępowania będą właściciele i użytkownicy wieczyści nieruchomości, które znajdują się w obszarze oddziaływania inwestycji.

### **Gmina Świeradów Zdrój**

W projekcie obszarem poszukiwań najlepszej lokalizacji pod inwestycję jest gmina Świeradów-Zdrój. Jest to miasto uzdrowiskowe i leży na Dolnym Śląsku, w południowo-zachodniej części województwa dolnośląskiego, w południowej części powiatu lubańskiego, w Sudetach Zachodnich. Położony jest na wysokości 450–710 m n.p.m. w Górnach Izerskich, w dolinie rzeki Kwisy. Miasto sąsiaduje z gminami: Mirsk i Leśna oraz z Czechami. Tereny Świeradowa zbudowane są ze skał metamorficznych- gnejsów i granitognejsów. Świeradów- Zdrój jak sama nazwa wskazuje jest miejscowością o uzdrawiającym mikroklimacie oraz obecności wód leczniczych. Gospodarka Świeradowa oparta jest głównie na turystyce i działalności uzdrowiskowej. W mieście, głównie na obrzeżach, działają również niewielkie zakłady przemysłowe. Przez miasto przebiegają dwie drogi wojewódzkie.

<sup>1</sup> <https://lexlege.pl/ustawa-o-ochronie-gruntow-rolnych-i-lesnych/art-7/>

<sup>2</sup> <https://lexlege.pl/ustawa-o-planowaniu-i-zagospodarowaniu-przestrzennym/art-59/>  
<https://lexlege.pl/ustawa-o-planowaniu-i-zagospodarowaniu-przestrzennym/art-60/>  
<https://lexlege.pl/ustawa-o-planowaniu-i-zagospodarowaniu-przestrzennym/art-61/>

<sup>3</sup> <https://lexlege.pl/udost-inf-o-srodow/art-71/>  
<https://lexlege.pl/udost-inf-o-srodow/art-72/>  
<https://lexlege.pl/udost-inf-o-srodow/art-75/>

<sup>4</sup> <https://lexlege.pl/prawo-budowlane/art-28/>



Rys. 1 Położenie gminy Świeradów-Zdrój

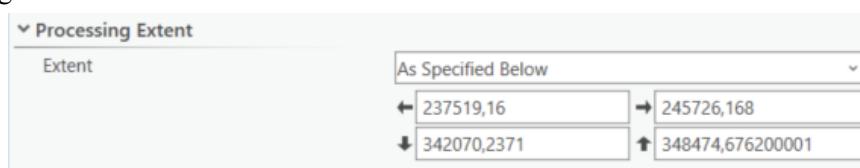
### 3. Realizacja projektu

#### Pozyskanie danych

Projekt rozpoczęto od pozyskania danych. Drogi, pokrycie terenu, budynek, wody powierzchniowe, linie energetyczne, Numeryczny Model Terenu zostały pobrane z BDOT10k z geoportalu. Granice gmin pobrano z Państwowego Rejestru Granic. Działki w powiecie lubańskim pobrano za pomocą usługi WFS z Ewidencji zbiorów i usług danych przestrzennych w QGIS, a za pomocą wtyczki Quick OSM w środowisku zostały pobrane główne drogi w gminie oraz punkty przecięć tych dróg.

#### Zmiana ustawień w Arcgis Pro

Po stworzeniu buforu wokół gminy, zmieniane są ustawienia środowiskowe w zakładce Geoprocessing->Environments.



Rys. 2 Ustawienia projektu- Processing Extent



Rys. 3 Ustawienia projektu- Raster Analysis

Wybrano wyjściowy układ współrzędnych w zakładce Output Coordinates: 2180.



Rys. 4 Ustawienia projektu- Output Coordinates

W Processing Extent i w zakładce Mask w Raster Analysis wybrano warstwę buforu wokół gminy. Dzięki temu przetwarzane i dodawane nowe rastery będą automatycznie przycinane do warstwy gminy powiększonej o bufor.

## Dodanie danych do projektu

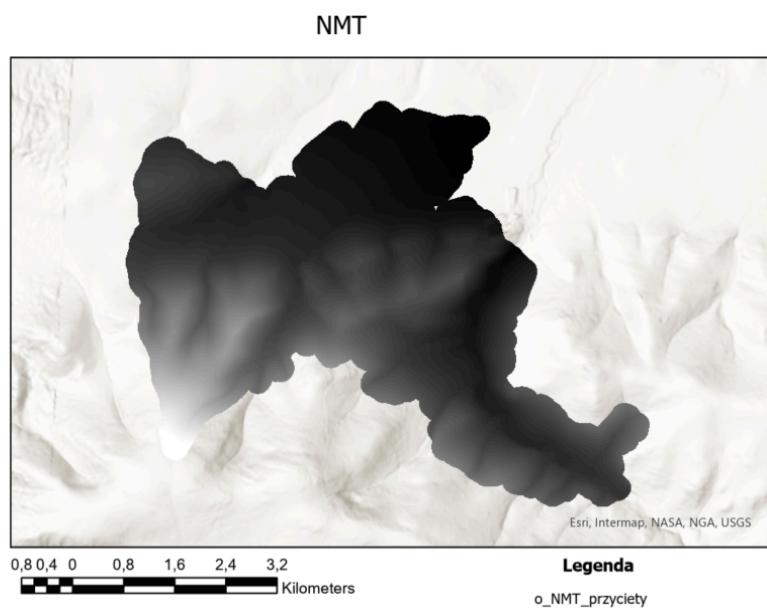
Po dodaniu naszych danych do projektu, zmieniono ścieżkę do geobazy i nazwy warstw w kodzie.

```
#Sciezka do geobazy
arcpy.env.workspace = r"C:\Users\user\Documents\ArcGIS\Projects\MyProject7\MyProject7.gdb"

#Warstwy projektu
swrs="swrs"
ptwp="ptwp"
nmt="NMT.tif"
gmina="gmina_swieradow"
budynki = "bubd"
ptlz="ptlz"
skjz="skjz"
raster_wezly= "link_raster.tif"
dzialki="dzialki_lubanski"
linie_energetyczne="linie_energetyczne"
ptzb="ptzb"
ptut="ptut"
pttr="pttr"
ptrk="ptrk"
ptpl="ptpl"
ptnz="ptnz"
ptkm="ptkm"
ptgn="ptgn"
gmina_bufor="gmina_swieradow_bufor"
```

Rys. 5 Warstwy potrzebne do wykonania programu

Następnie uruchamiamy kod. Na początku tworzy się przycięty do buforu gminy raster NMT, a następnie są przetwarzane kolejne kryteria.



Rys. 6 Raster NMT

## Tworzenie kryteriów

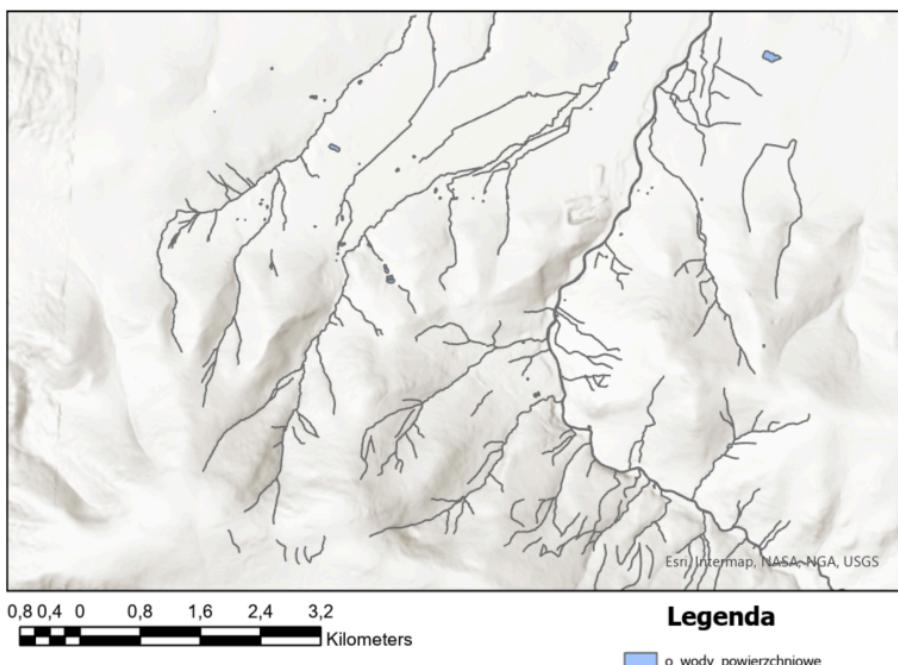
Lp.	Kryteria	Parametry
1	odległość od rzek i zbiorników wodnych	jak najbliżej, poza strefą bezpieczeństwa wynoszącą 100m
2	odległość od budynków mieszkalnych	jak najdalej, powyżej 150m
3	pokrycie terenu	nie w lesie, powyżej 15 m od lasu, optymalnie powyżej 100m od lasu
4	dostęp do dróg utwardzonych	jak największe zagęszczenie
5	nachylenie stoków	optymalnie płasko- maksymalnie 10 %
6	dostęp do światła słonecznego	optymalnie: stoki południowe (SW-SE)
7	dobry dojazd od istotnych drogowych węzłów komunikacyjnych	jak najkrótszy czas dojazdu

Tab. 1 Zbiór kryteriów

### Kryterium nr 1

Na początku do projektu wczytywane są dwie warstwy: swrs (rzeki) oraz ptwp (wody powierzchniowe). Stworzono bufor o szerokości 1 m wokół rzek. Powstała warstwa poligonalna została połączona z warstwą wód powierzchniowych za pomocą narzędzia Merge.

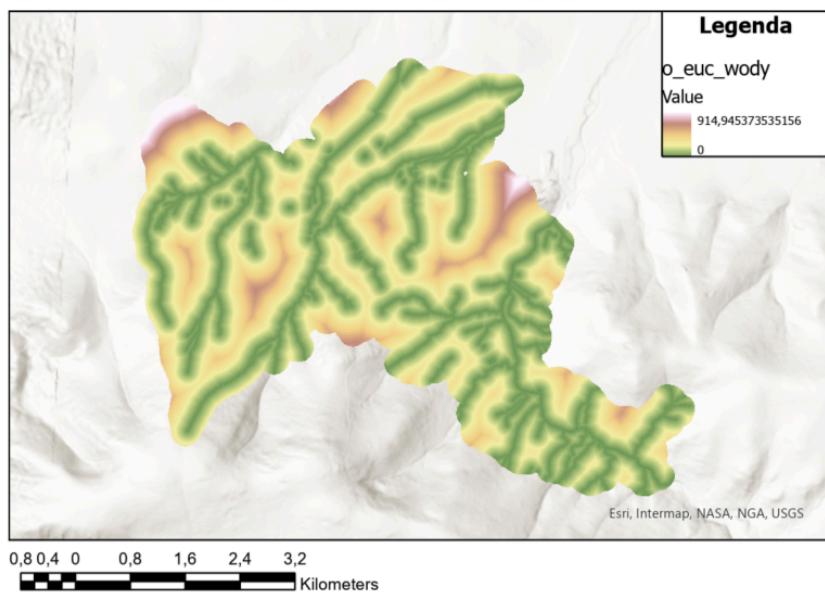
Wody powierzchniowe



Rys. 7 Wody powierzchniowe

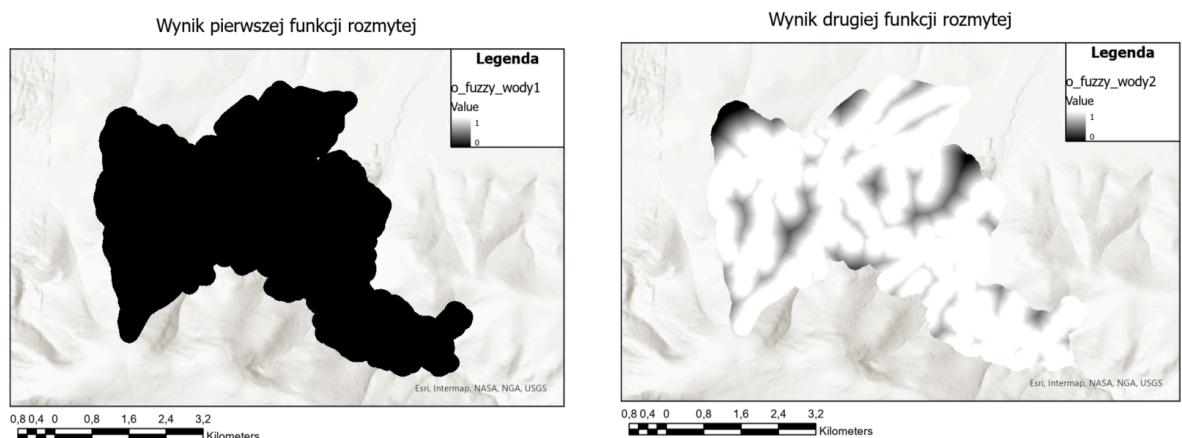
Następnie obliczana jest odległość euklidesowa od tych wód, a wynik jest zapisywany jako raster.

### Odległość od wód powierzchniowych



Rys. 8 Wynik Euclidean Distance dla wód powierzchniowych

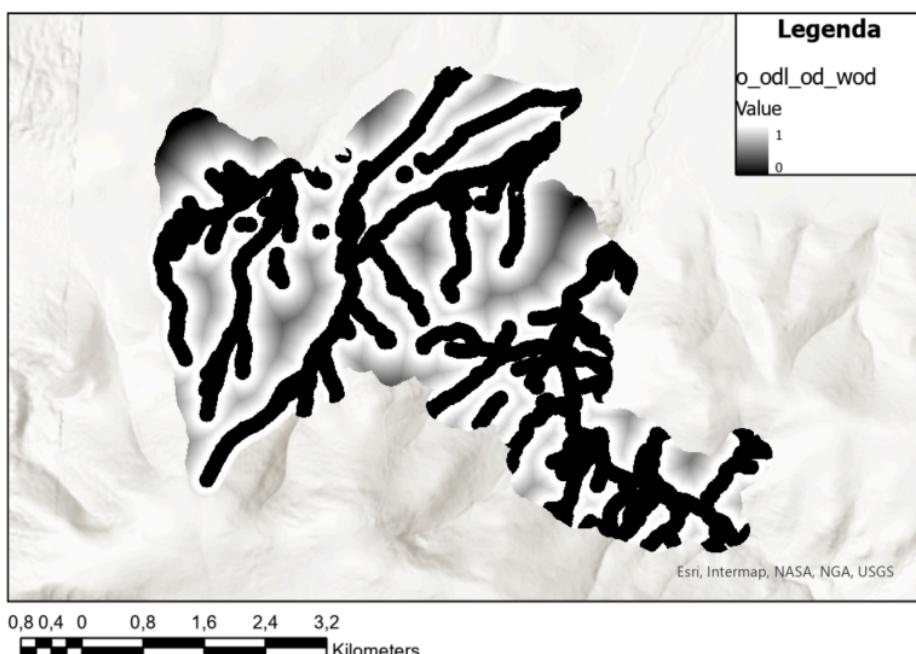
Po tym etapie stosowane są funkcje rozmyte (Fuzzy Membership) w celu oceny lokalizacji pikseli w zależności od ich odległości od wód, na podstawie różnych parametrów funkcji rozmytej.



Rys. 9 i 10 Wynik Fuzzy Membership dla wód powierzchniowych

Na końcu dwie funkcje rozmyte są łączone za pomocą operacji Fuzzy Overlay, tworząc końcowy raster, który będzie wykorzystywany w dalszej analizie.

### Kryterium 1

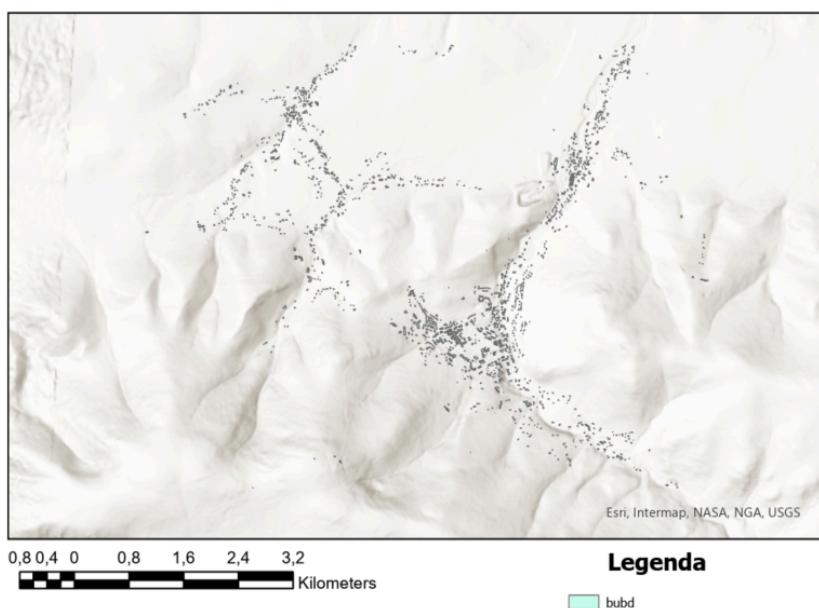


Rys. 11 Raster wynikowy kryterium 1

### Kryterium nr 2

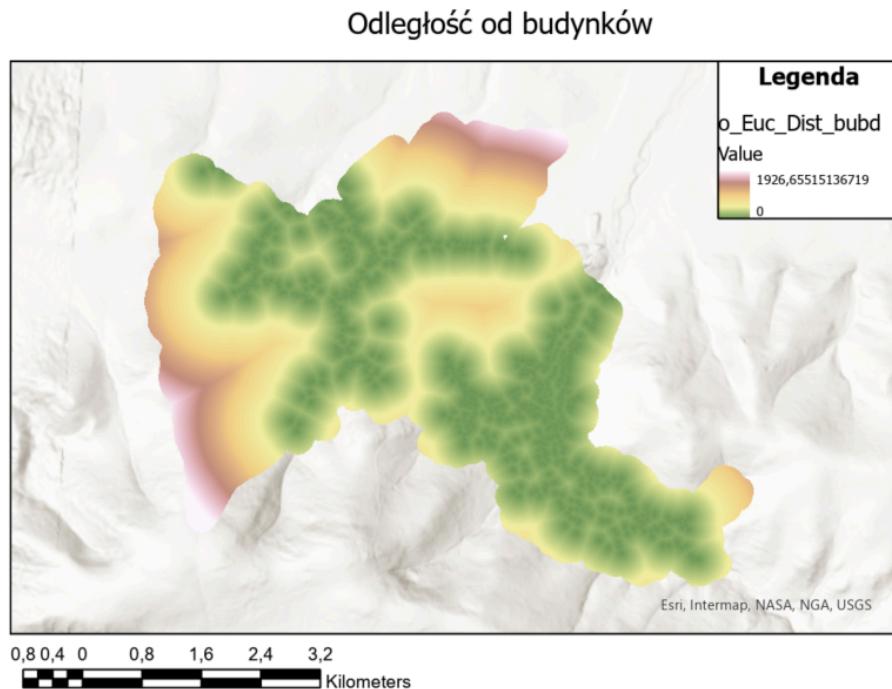
Wczytywana jest warstwa bubd (budynki).

### Budynki



Rys. 12 Budynki

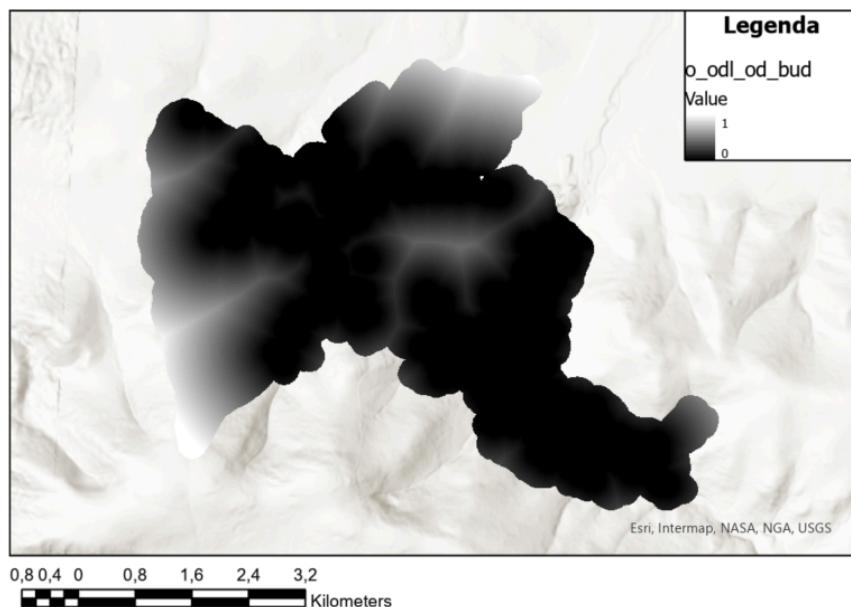
Następnie wyselekcjonowano budynki na podstawie określonego warunku (atrybuty funOgolnaB): budynki mieszkalne jednorodzinne, budynki o dwóch mieszkaniach, budynki o trzech i więcej mieszkaniach, budynki zbiorowego zamieszkania. Następnie obliczona została odległość euklidesowa od tych budynków, a wynik został zapisany w postaci rastra.



Rys. 13 Euclidean Distance dla budynków

Po obliczeniu odległości warstwa tymczasowa jest usuwana. Kolejno, na podstawie odległości euklidesowej, tworzony jest raster funkcji rozmytej (Fuzzy Membership), na podstawie którego przydatność w odległości powyżej 150 m jest największa. Następnie jest zapisywany jako raster wynikowy.

#### Kryterium 2

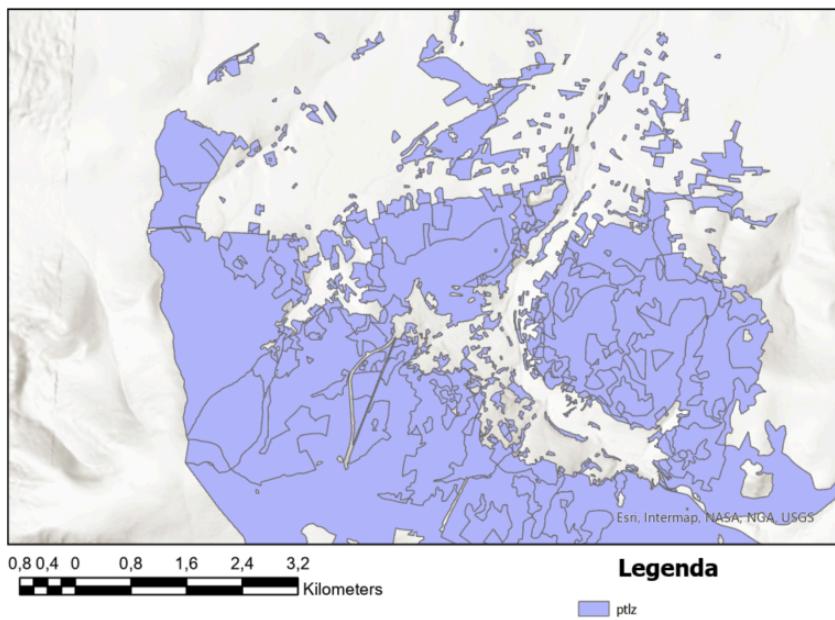


Rys. 14 Wynikowy raster dla kryterium 2

#### Kryterium nr 3

Wczytana została warstwa ptlz (lasy).

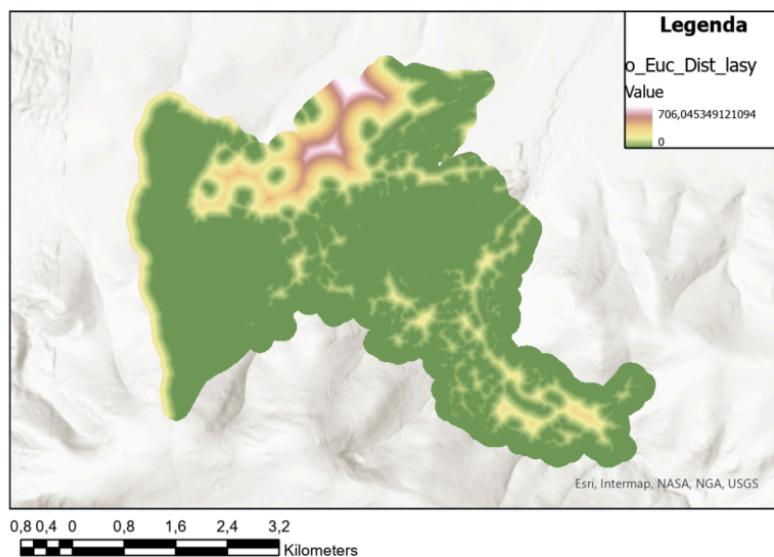
### Lasy



Rys. 15 Lasy

Następnie została obliczona odległość euklidesowa.

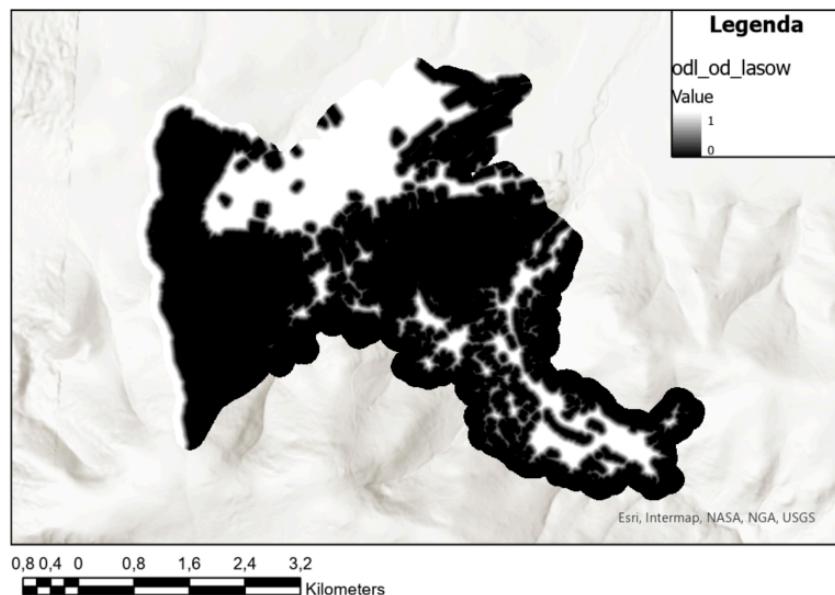
Odległość od lasów



Rys. 16 Euclidean Distance dla lasów

Następnie na podstawie rastra, tworzona jest funkcja rozmyta (Fuzzy Membership), która ocenia piksele pod względem ich odległości od lasów (w odległości do 15 m przydatność jest niska, a powyżej 100 m jest najwyższa).

### Kryterium 3

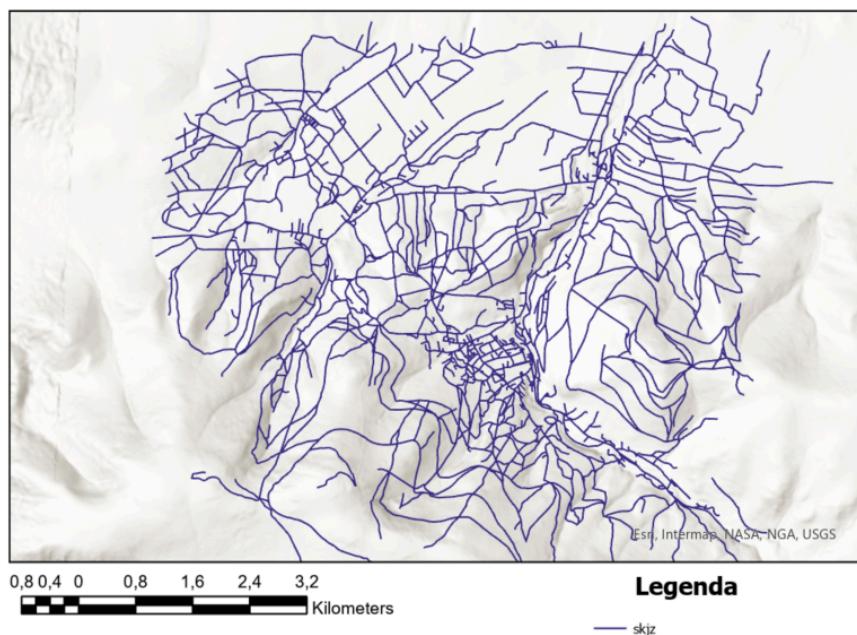


Rys. 17 Wynikowy raster dla kryterium 3

### Kryterium nr 4

Na początku wczytywana jest warstwa skjz (drogi) i tworzona jest selekcja dróg, których materiał nawierzchni to masa bitumiczna.

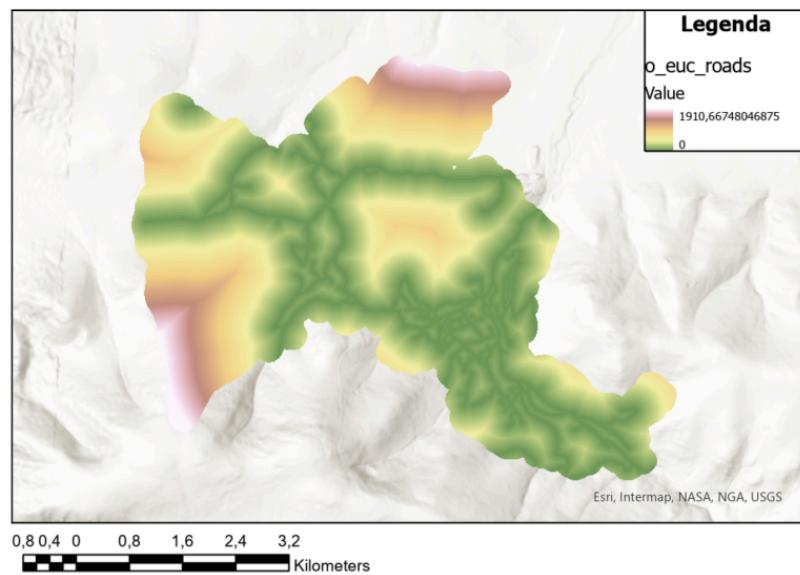
#### Drogi



Rys. 18 Drogi

Następnie obliczana jest odległość euklidesowa od wybranych dróg.

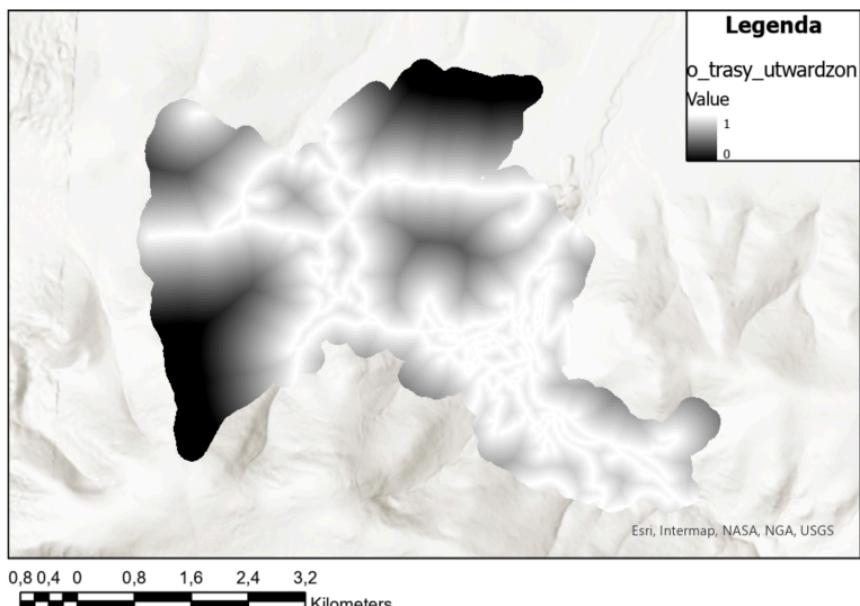
### Odległość od dróg utwardzonych



Rys. 19 Euclidean Distance dla dróg

Kolejno, funkcja Fuzzy Membership przekształca raster odległości na raster rozmyty, w którym piksele są oceniane pod kątem ich odległości od dróg. Największa przydatność występuje w odległości 1313 m i stopniowo maleje dla większych odległości.

### Kryterium 4

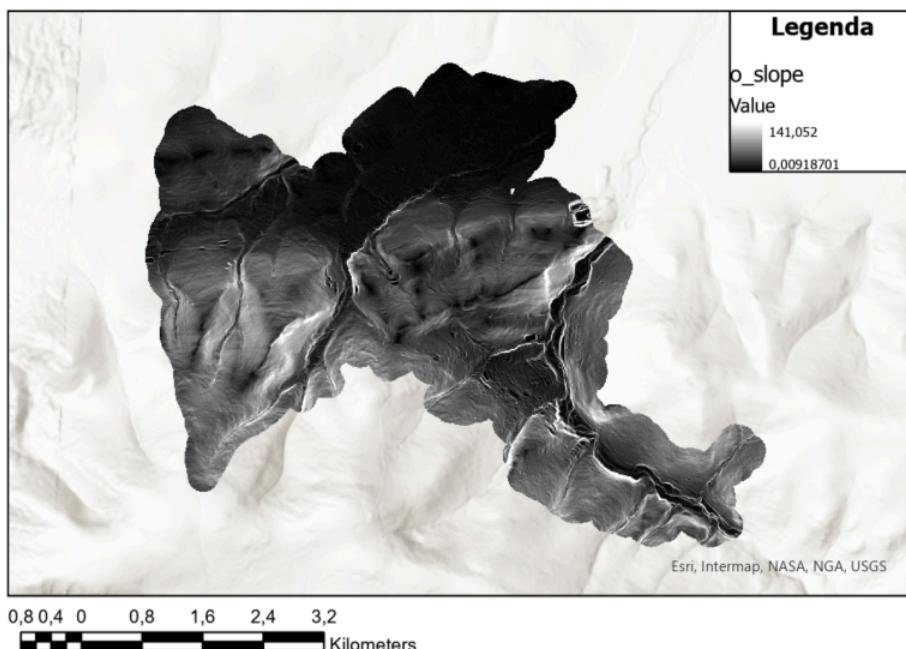


Rys. 20 Wynikowy raster dla kryterium 4

### Kryterium nr 5

W tym kryterium wczytywany jest raster modelu wysokościowego NMT, a następnie wykorzystany w funkcji Slope, która oblicza nachylenie terenu i przedstawia je w postaci rastra.

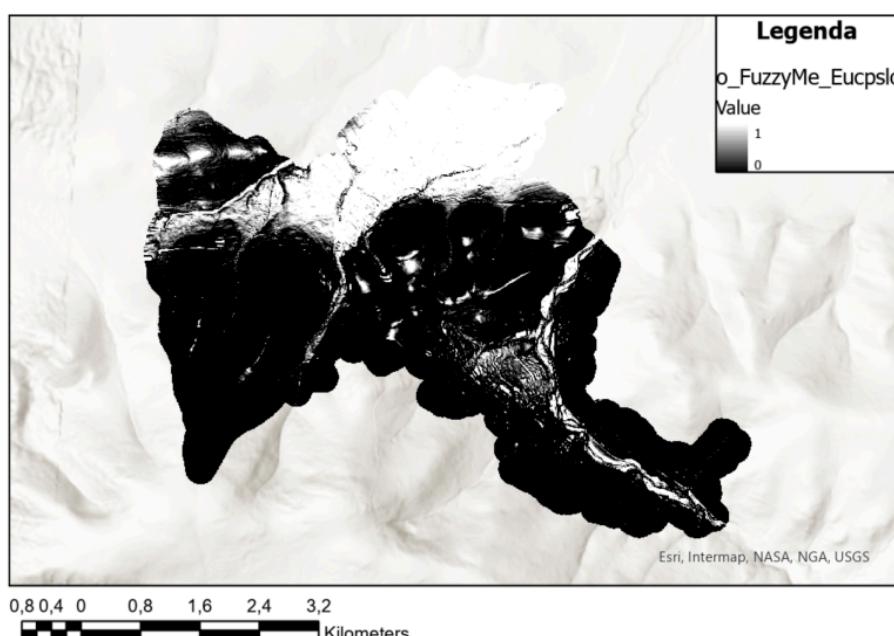
### Wynik funkcji Slope



Rys. 21 Wynik funkcji Slope

Następnie, na podstawie tego rastra nachylenia, tworzona jest funkcja rozmyta (Fuzzy Membership), która ocenia piksele pod kątem wartości nachylenia. Piksele o nachyleniu 0- 10% mają najwyższą przydatność. Obliczenia są zapisywane w rastrze wynikowym.

### Kryterium 5

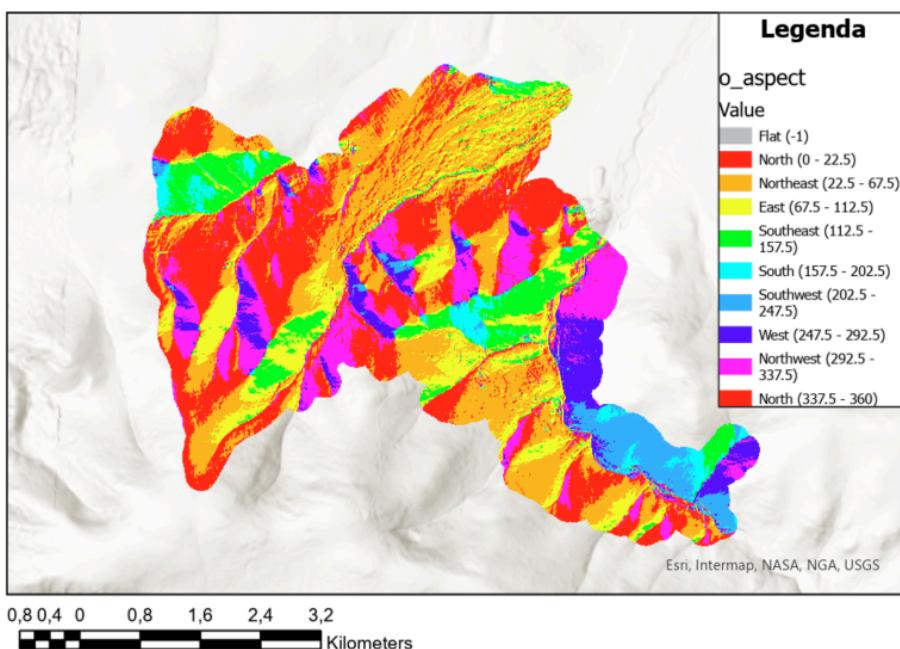


Rys. 22 Wynikowy raster dla kryterium 5

## Kryterium nr 6

W kryterium szóstym analizowane jest nachylenie ekspozycji terenu (aspect), czyli kierunek w którym są skierowane stoki. Obliczenia odbywają się na podstawie uprzednio wczytanego rastra NMT przy użyciu funkcji Aspect. Narzędzie to generuje raster określający kierunek nachylenia w stopniach ( $0^\circ$  oznacza północ,  $90^\circ$  wschód,  $180^\circ$  południe,  $270^\circ$  zachód).

Wynik funkcji Aspect



Rys. 23 Wynik funkcji Aspect na NMT

Następnie, na podstawie tego rastra, tworzone są dwie funkcje rozmyte (Fuzzy Membership), które przypisują pikselom stopień dopasowania w zależności od ich ekspozycji: najwyższe dopasowanie dla ekspozycji  $270^\circ$  stopni, a najniższe dla  $90^\circ$  stopni.

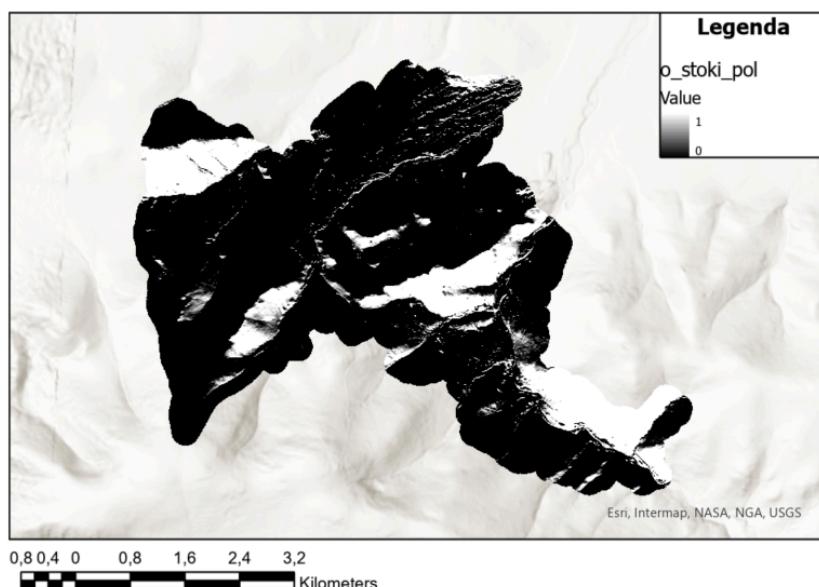
Wynik 2 funkcji rozmytej



Rys. 24 i 25 Wynik Fuzzy Membership dla wynikowego rastra funkcji Aspect

W kolejnym kroku rastry te są łączone za pomocą operacji FuzzyOverlay, która stosuje funkcję logicznego "AND" w celu zidentyfikowania obszarów spełniających oba kryteria jednocześnie.

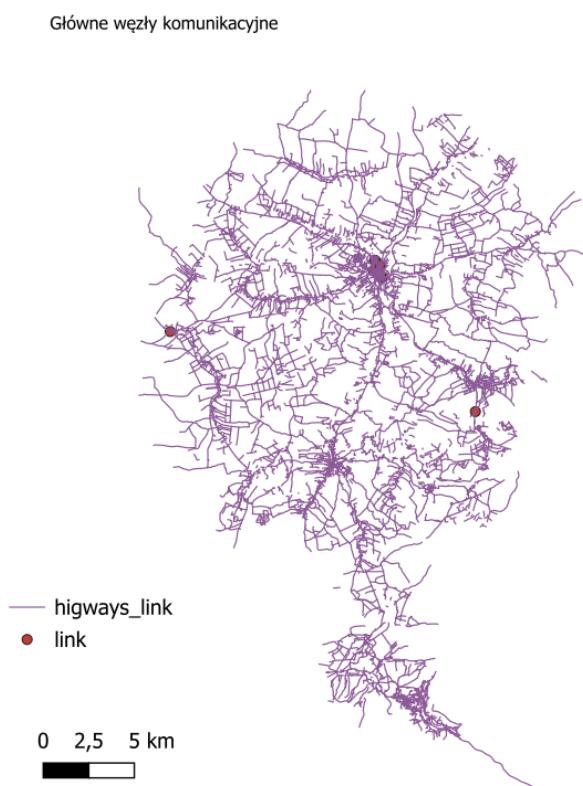
### Kryterium 6



Rys. 26 Wynikowy raster dla kryterium 6

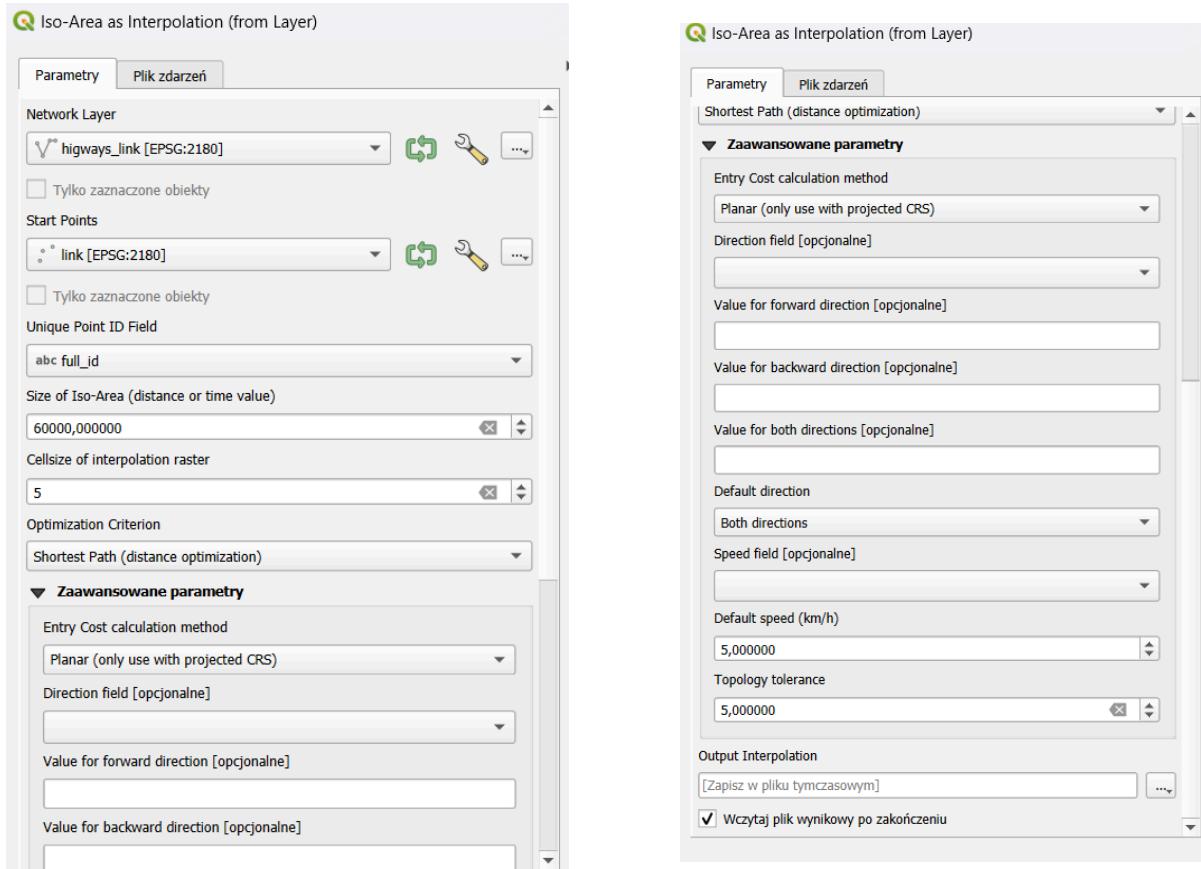
### Kryterium nr 7

To kryterium było realizowane częściowo w środowisku QGIS, a w końcowym etapie w Arcgis Pro. Na początku pobieramy warstwę dróg highway, za pomocą wtyczki QuickOSM, która generuje warstwę liniową dróg oraz warstwę punktową skrzyżowań tych dróg. Następnie wybierane są tylko główne drogi oraz punkty ich przecięć.



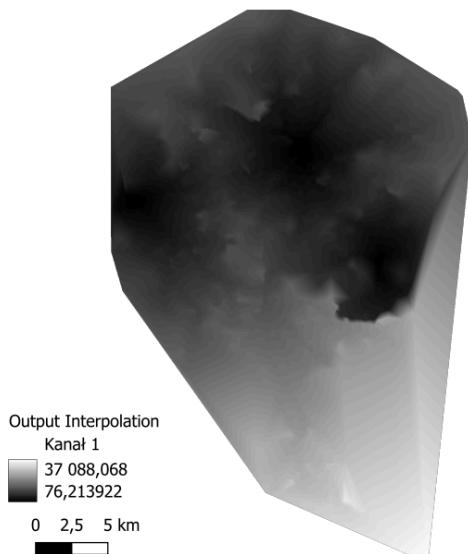
Rys. 27 Wybrane główne węzły komunikacyjne

Za pomocą narzędzia Iso-Area as Interpolation (from Layer) z wtyczki QNEAT3 tworzony jest raster, który wizualizuje zasięg lub dostępność w określonym czasie lub odległości od wybranych punktów.



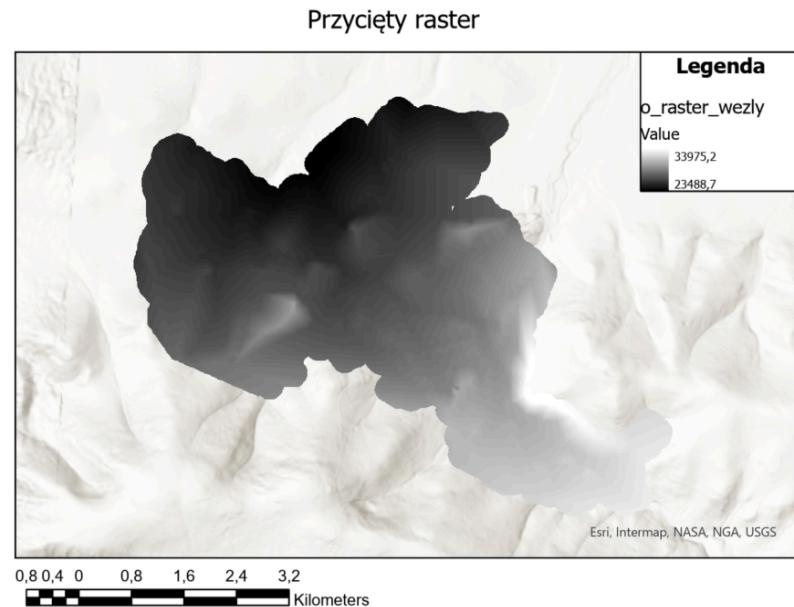
Rys. 28 i 29 Wybrane parametry w narzędziu ISO-Area

Główne węzły komunikacyjne



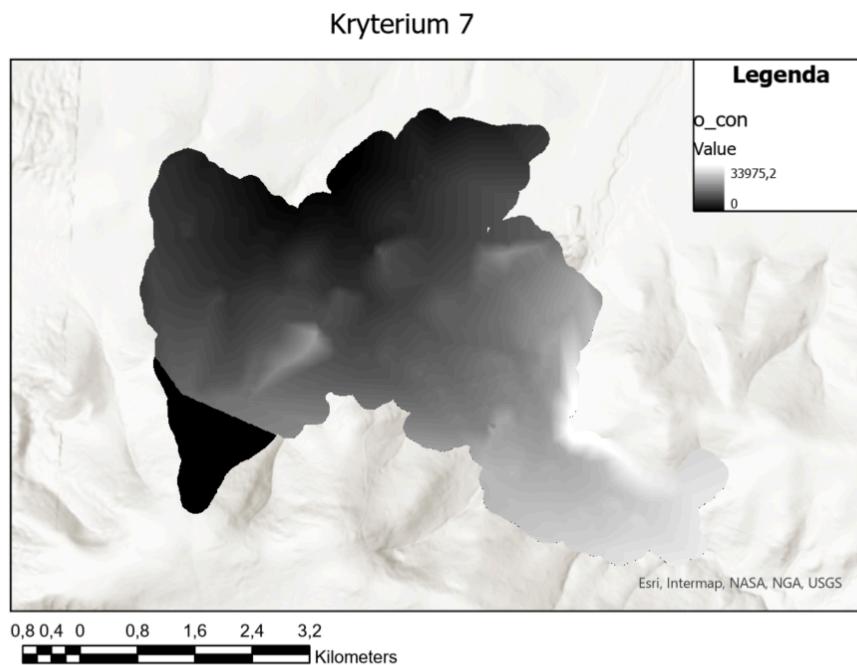
Rys. 30 Wynik wykonania narzędzia ISO-Area

Następnie wynikowy raster jest importowany do projektu w Arcgis Pro i przycinany do granicy bufora gminy.



Rys. 31 Przycięty raster z wybranymi węzłami komunikacyjnymi do NMT

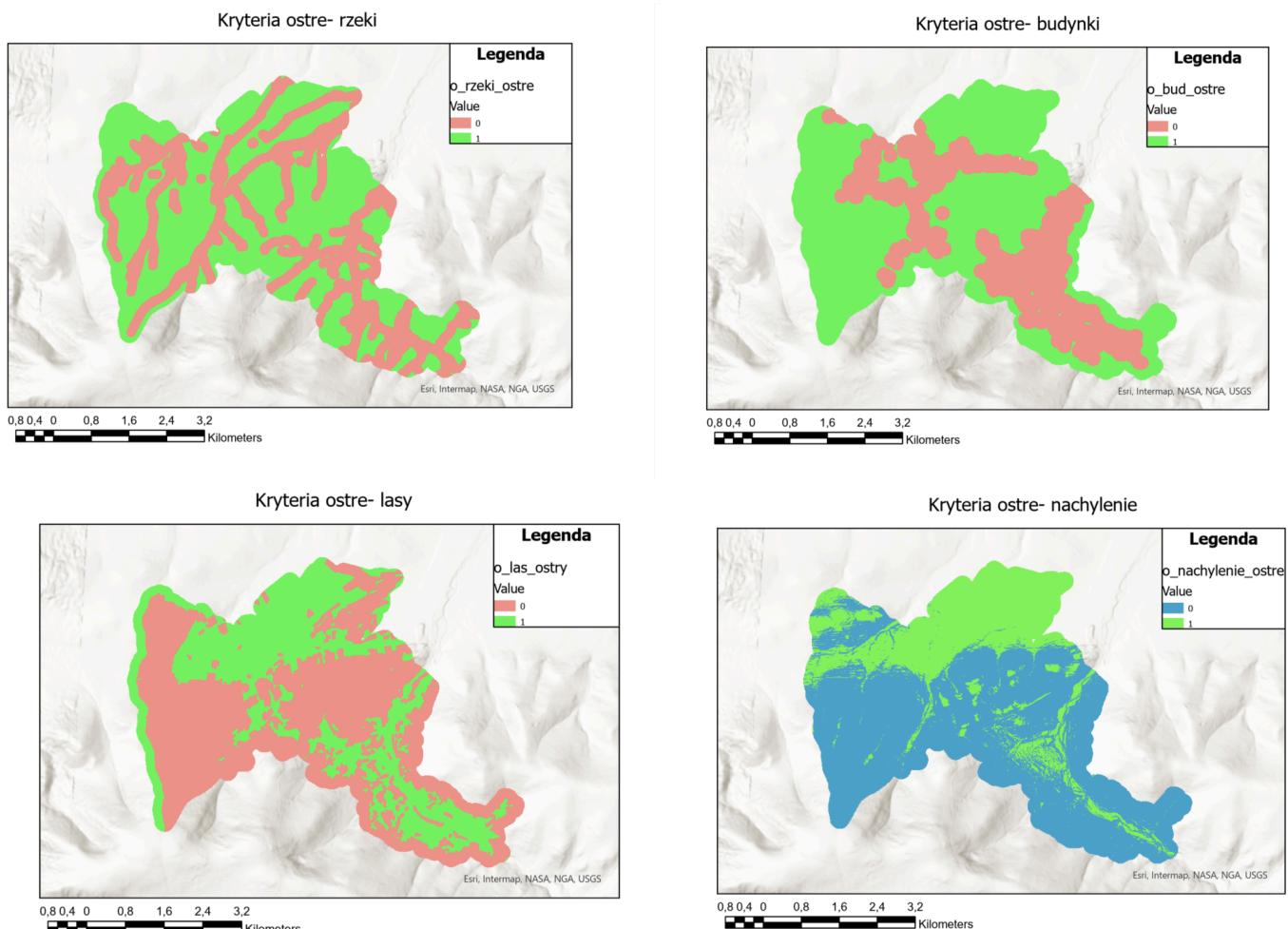
Raster jest przekształcany za pomocą funkcji Con, która zastępuje brakujące wartości (NULL) wartością 0, a pozostałe piksele zachowują swoje oryginalne wartości. Tworzony jest raster za pomocą funkcji rozmytej, który pozwala wyznaczyć obszary o największej przydatności.



Rys. 32 Wynikowy raster dla kryterium 7

## Łączanie kryteriów

Na początku tworzone są kryteria ostre. W tym celu przekształcane są rastery rozmyte na binarne rastery "ostre", gdzie każdy piksel przyjmuje wartość 1 lub 0. Proces ten realizowany jest za pomocą funkcji *Con.* Konwersji poddawane są warstwy przedstawiające rzeki, budynki, lasy oraz nachylenie terenu. Wybór tych warstw wynika z faktu, że zawierają one obszary, na których budowa farmy fotowoltaicznej jest całkowicie wykluczona. Dzięki temu możliwe jest jednoznaczne określenie terenów niedostępnych pod inwestycję.



Rys. 33-36 Raster wynikowe dla podejścia ostrego dla rzek, budynków, lasów i nachylenia

Następnie łączone są kryteria rozmyte z wykorzystaniem narzędzia Weighted Sum. Ten proces wykonuje się dla rastrów o takiej samej wadze oraz o różnych wagach, które są wybierane na podstawie metody AHP.

A - wrt AHP priorities - or B?		Equal	How much more?
1	<input type="radio"/> K1_odl_od_rzek	<input checked="" type="radio"/> K2_odl_od_bud	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
2	<input type="radio"/> K1_odl_od_rzek	<input checked="" type="radio"/> K3_pokrycie_terenu	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
3	<input type="radio"/> K1_odl_od_rzek	<input checked="" type="radio"/> K4_dostep_do_utwardzonych	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
4	<input type="radio"/> K1_odl_od_rzek	<input checked="" type="radio"/> K5_nachylenie_stokow	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
5	<input type="radio"/> K1_odl_od_rzek	<input checked="" type="radio"/> K6_dostep_do_sloneczka	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
6	<input checked="" type="radio"/> K1_odl_od_rzek	<input type="radio"/> K7_dojazd_do_wezlow	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
7	<input checked="" type="radio"/> K2_odl_od_bud	<input type="radio"/> K3_pokrycie_terenu	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
8	<input checked="" type="radio"/> K2_odl_od_bud	<input type="radio"/> K4_dostep_do_utwardzonych	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
9	<input type="radio"/> K2_odl_od_bud	<input checked="" type="radio"/> K5_nachylenie_stokow	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
10	<input type="radio"/> K2_odl_od_bud	<input checked="" type="radio"/> K6_dostep_do_sloneczka	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
11	<input checked="" type="radio"/> K2_odl_od_bud	<input type="radio"/> K7_dojazd_do_wezlow	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
12	<input type="radio"/> K3_pokrycie_terenu	<input checked="" type="radio"/> K4_dostep_do_utwardzonych	<input checked="" type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
13	<input type="radio"/> K3_pokrycie_terenu	<input checked="" type="radio"/> K5_nachylenie_stokow	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
14	<input type="radio"/> K3_pokrycie_terenu	<input checked="" type="radio"/> K6_dostep_do_sloneczka	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
15	<input checked="" type="radio"/> K3_pokrycie_terenu	<input type="radio"/> K7_dojazd_do_wezlow	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
16	<input type="radio"/> K4_dostep_do_utwardzonych	<input checked="" type="radio"/> K5_nachylenie_stokow	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
17	<input type="radio"/> K4_dostep_do_utwardzonych	<input checked="" type="radio"/> K6_dostep_do_sloneczka	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
18	<input checked="" type="radio"/> K4_dostep_do_utwardzonych	<input type="radio"/> K7_dojazd_do_wezlow	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
19	<input type="radio"/> K5_nachylenie_stokow	<input checked="" type="radio"/> K6_dostep_do_sloneczka	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
20	<input checked="" type="radio"/> K5_nachylenie_stokow	<input type="radio"/> K7_dojazd_do_wezlow	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>
21	<input checked="" type="radio"/> K6_dostep_do_sloneczka	<input type="radio"/> K7_dojazd_do_wezlow	<input type="radio"/> 1 ○ <sub>2</sub> ○ <sub>3</sub> ○ <sub>4</sub> ○ <sub>5</sub> ○ <sub>6</sub> ○ <sub>7</sub> ○ <sub>8</sub> ○ <sub>9</sub>

CR = 29.9% Adjust highlighted judgments to improve consistency

Rys. 37 Wybór ważności kryteriów w Calculator AHP<sup>s</sup>

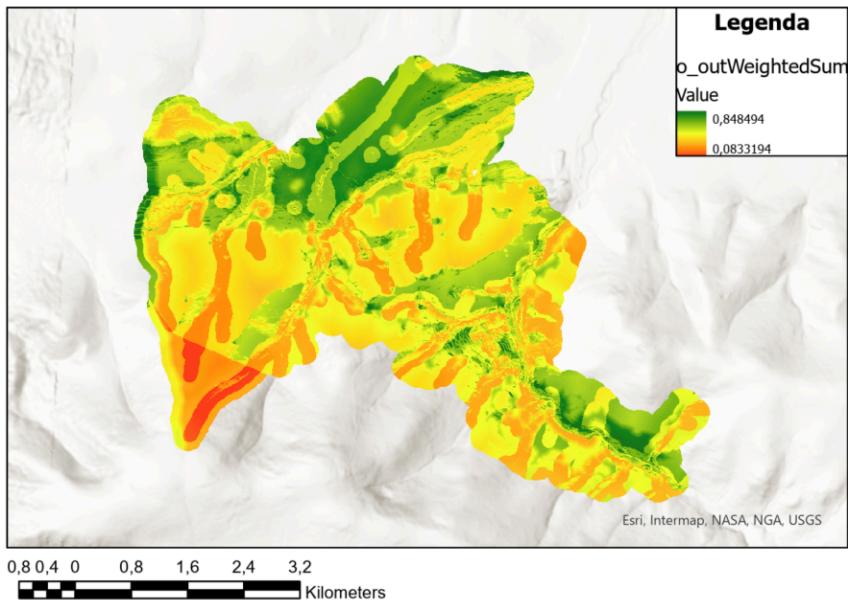
Lp.	Kryteria	Waga
1	odległość od rzek i zbiorników wodnych	0.027
2	odległość od budynków mieszkalnych	0.14
3	pokrycie terenu	0.05
4	dostęp do dróg utwardzonych	0.07
5	nachylenie stoków	0.24
6	dostęp do światła słonecznego	0.443
7	dobry dojazd od istotnych drogowych węzłów komunikacyjnych	0.03

Tab. 2 Przedstawienie wag dla wszystkich kryteriów

5

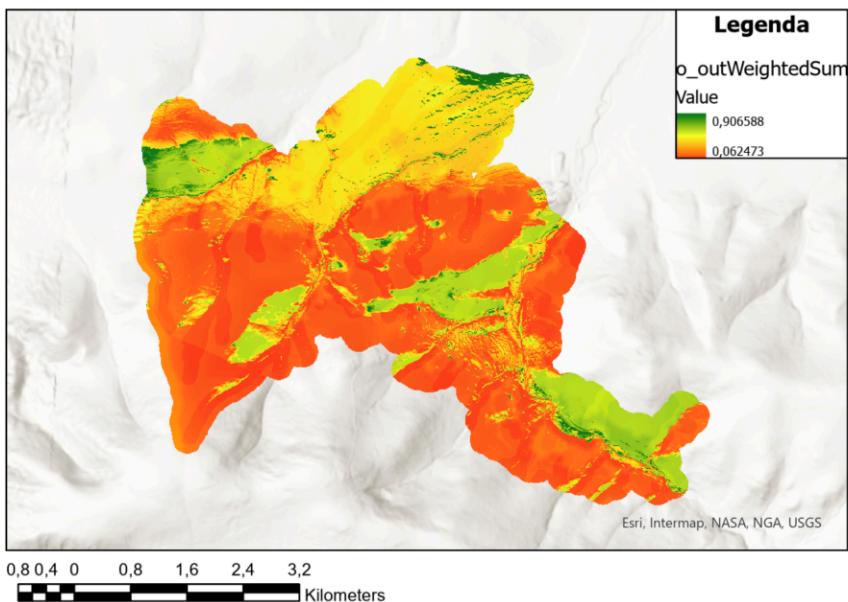
[https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php?n=7&t=AHP+priorities&c\[0\]=K1\\_odl\\_od\\_rzek&c\[1\]=K2\\_odl\\_od\\_bud&c\[2\]=K3\\_pokrycie\\_terenu&c\[3\]=K4\\_dostep\\_do\\_utwardzonych&c\[4\]=K5\\_nachylenie\\_stokow&c\[5\]=K6\\_dostep\\_do\\_sloneczka&c\[6\]=K7\\_dojazd\\_do\\_wezlow](https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php?n=7&t=AHP+priorities&c[0]=K1_odl_od_rzek&c[1]=K2_odl_od_bud&c[2]=K3_pokrycie_terenu&c[3]=K4_dostep_do_utwardzonych&c[4]=K5_nachylenie_stokow&c[5]=K6_dostep_do_sloneczka&c[6]=K7_dojazd_do_wezlow)

### Wynik narzędzia Weighted Sum z jednakowymi wagami



Rys.38 Raster oceny terenu – równoważone kryteria

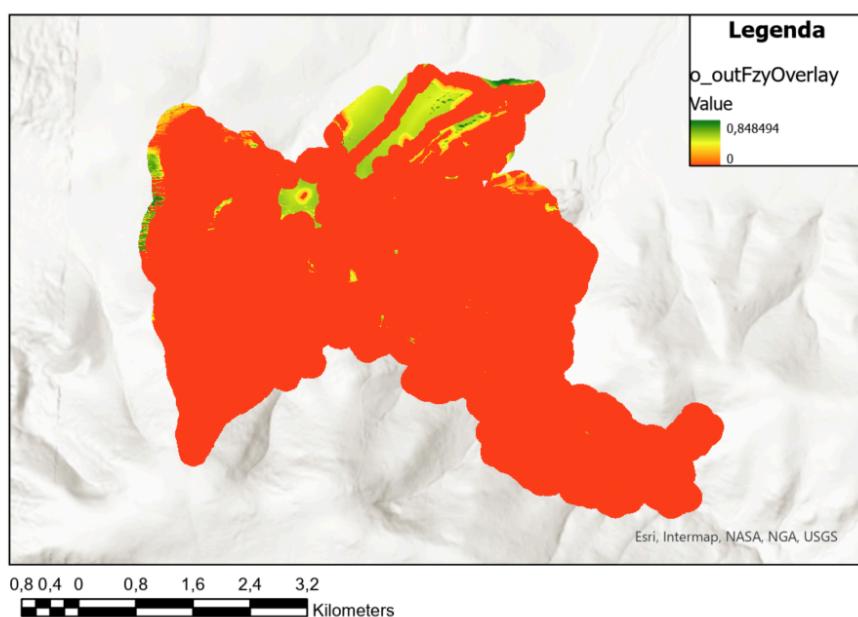
### Wynik narzędzia Weighted Sum z różnymi wagami



Rys.39 Raster oceny terenu – różnoważone kryteria

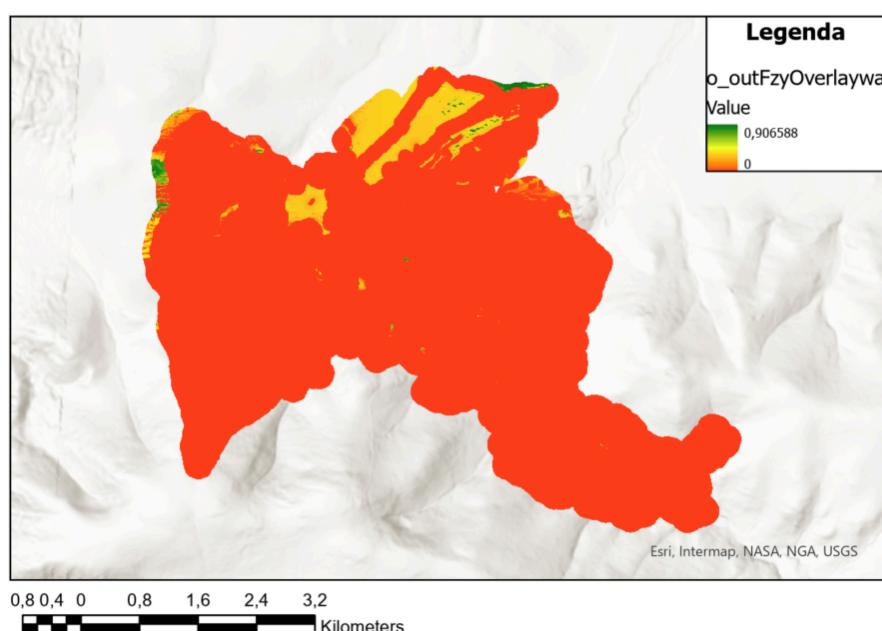
Następnie połączone warstwy rozmyte (z jednakową wagą i różnymi) łączymy z rastrami kryteriów ostrych przy pomocy narzędzia Fuzzy Overlay.

Wynik narzędzia Fuzzy Overlay- jednakowe wagi



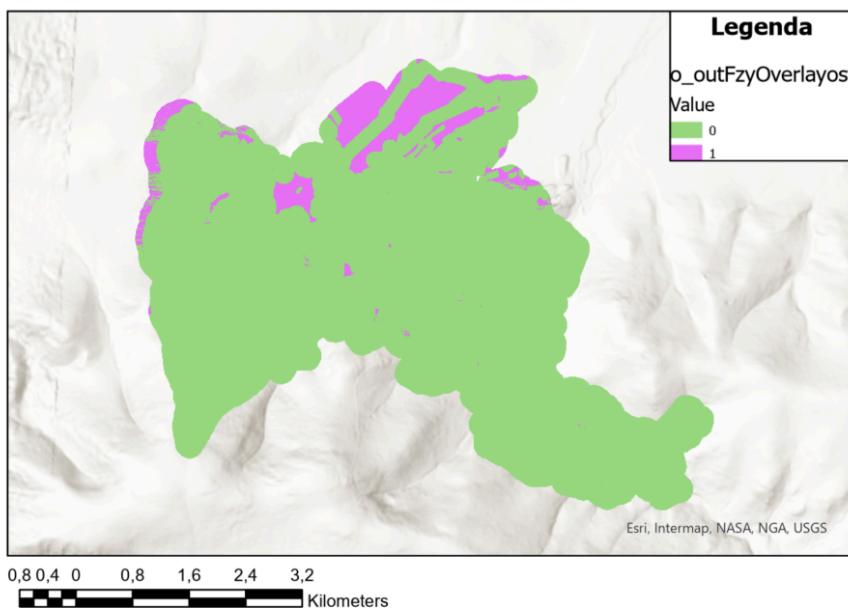
Rys. 40 Raster wynikowy Fuzzy Overlay- równoważne kryteria

Wynik narzędzia Fuzzy Overlay- różne wagi



Rys. 41 Raster wynikowy Fuzzy Overlay- różnoważne kryteria

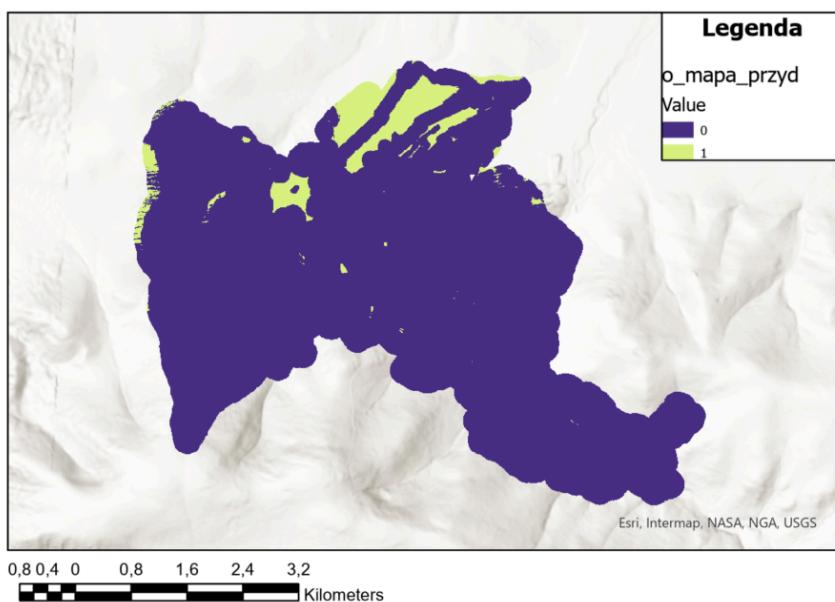
### Wynik narzędzia Fuzzy Overlay- kryteria ostre



Rys. 42 Raster wynikowy Fuzzy Overlay- kryteria ostre

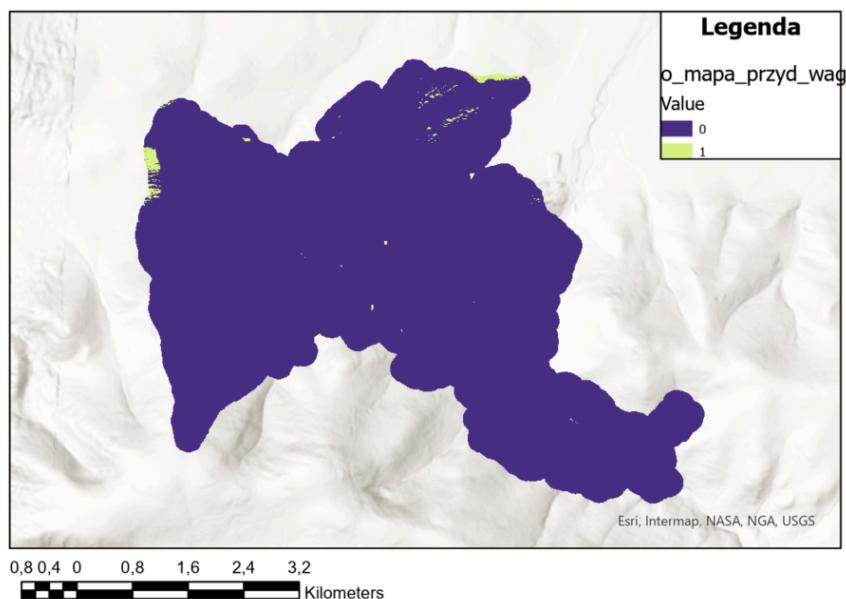
Następnie wyznaczamy wartości maksymalne z 3 rastrów i wybieramy tylko te obszary których przydatność jest większa od 60%, czyli wybieramy te obszary których wartość jest większa od  $0,6 * \text{maksymalna wartość w rastrze}$ .

Mapa przydatności- jednakowe wagи



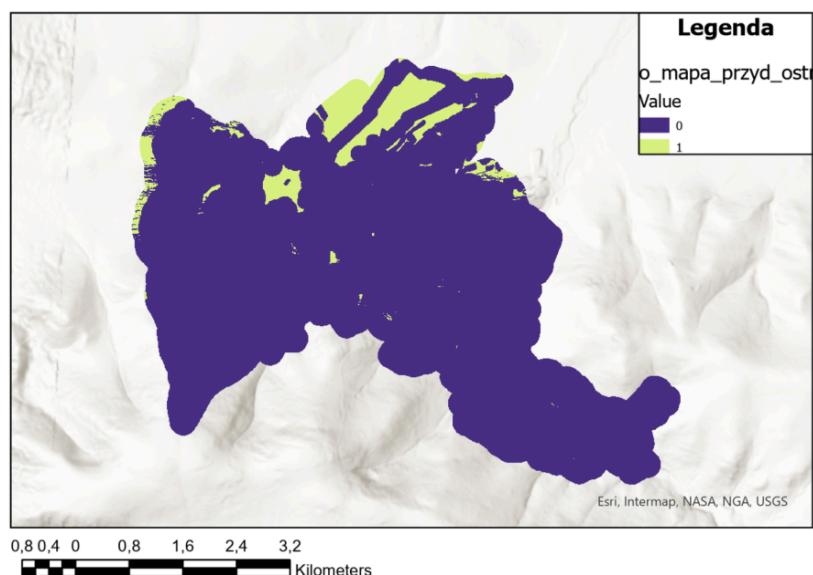
Rys. 43 Mapa przydatności- równoważne kryteria

Mapa przydatności- różne wagi



Rys. 44 Mapa przydatności- różnoważne kryteria

Mapa przydatności- kryteria ostre



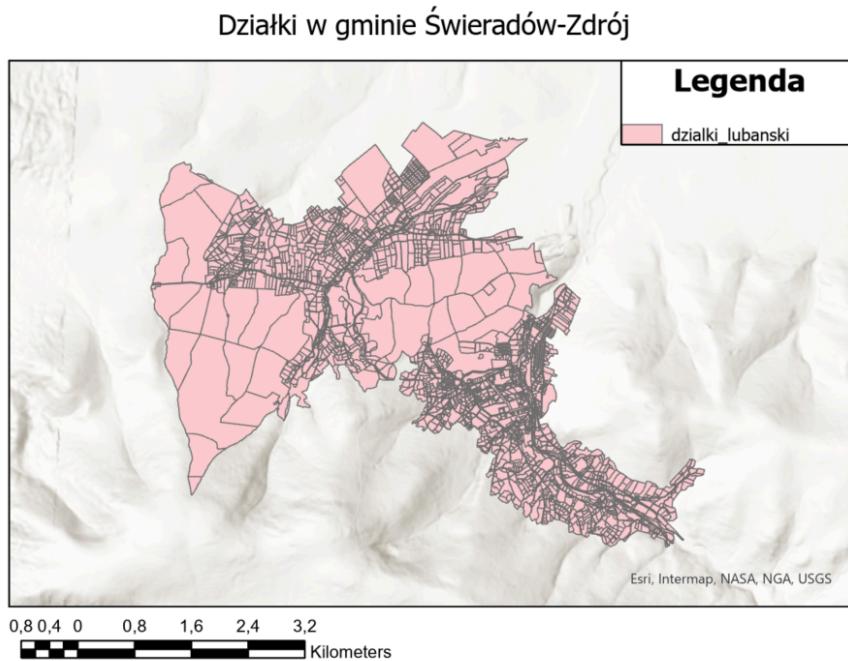
Rys. 45 Mapa przydatności- kryteria ostre

#### Wnioski cząstkowe

Z wyników metody AHP, można stwierdzić, że najważniejszymi kryteriami podczas wyboru najlepszej lokalizacji budowy farmy fotowoltaicznej są nasłonecznienie i nachylenie stoków. W tym obszarze jest to szczególnie ważne, ponieważ jest to obszar podgórski, co może mieć znaczący wpływ na koszty budowy.

## Wybór działek

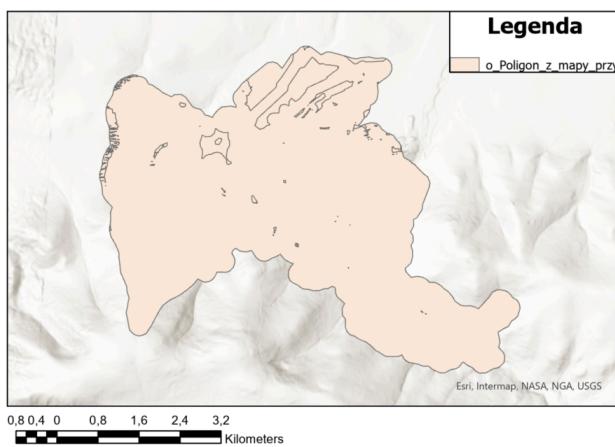
Na początku przycinamy działki żeby znajdowały się w granicach gminy.



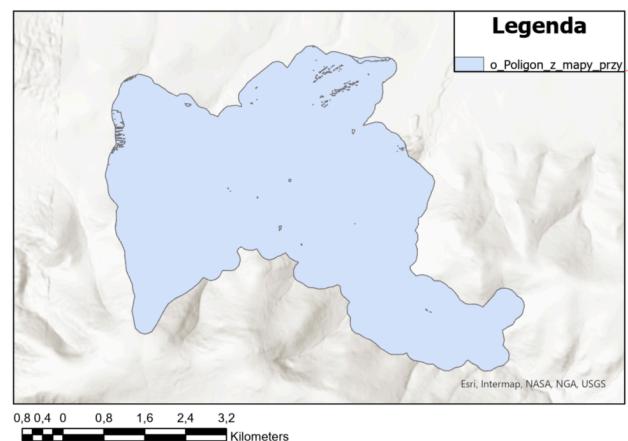
Rys. 46 Działki w Świeradowie- Zdrój

Następnie kopujemy tą warstwę i tworzymy 3 oddzielne warstwy działek. Konwertujemy wyznaczony uprzednio raster przydatności na poligony dla 3 różnych metod.

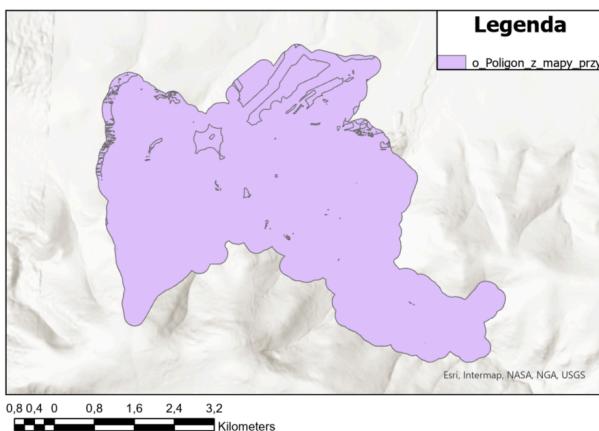
Przekonwertowany raster na poligony- jednakowe wagи



Przekonwertowany raster na poligony- różne wagи



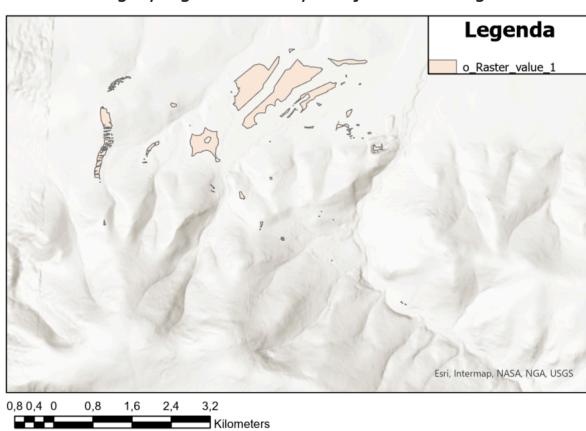
Przekonwertowany raster na poligony- kryteria ostre



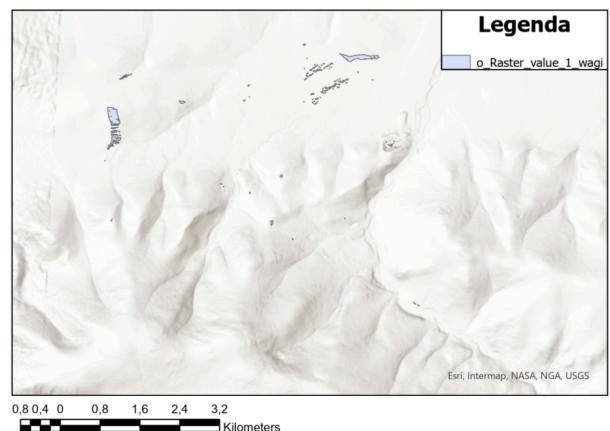
Rys. 47-49 Przekształcone rastry terenu przydatności na wektor- wybrane obszary dla 3 wersji kryteriów

Następnie wybieramy tylko poligony o gridcode=1 czyli najbardziej przydatne.

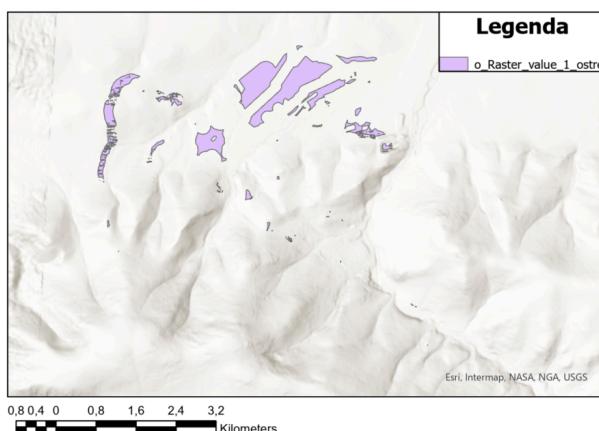
Poligony o gridcode równym 1- jednakowe wagи



Poligony o gridcode równym 1- różne wagи



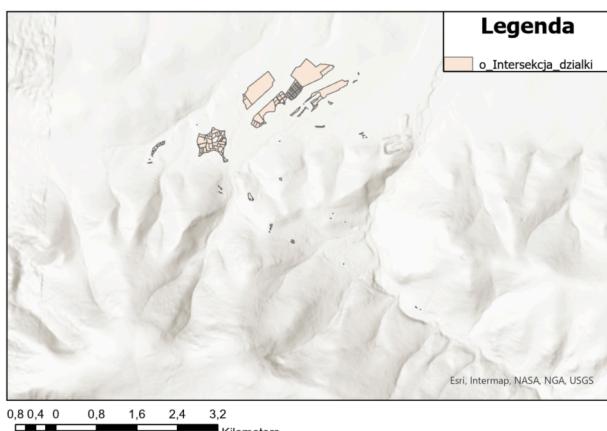
Poligony o gridcode równym 1- kryteria ostre



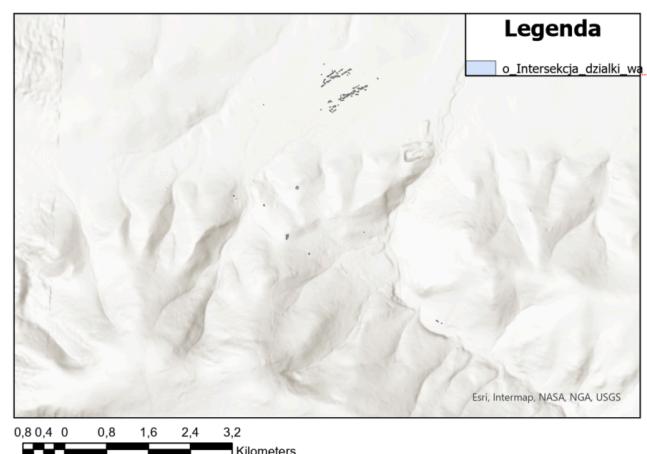
Rys. 50-52 Wybrane poligony dla 3 wersji kryteriów

Tworzona jest intersekcja z działkami. Wynik poligonu jest przecinany z warstwą działek, co pozwala na identyfikację części działek znajdujących się w wybranych obszarach.

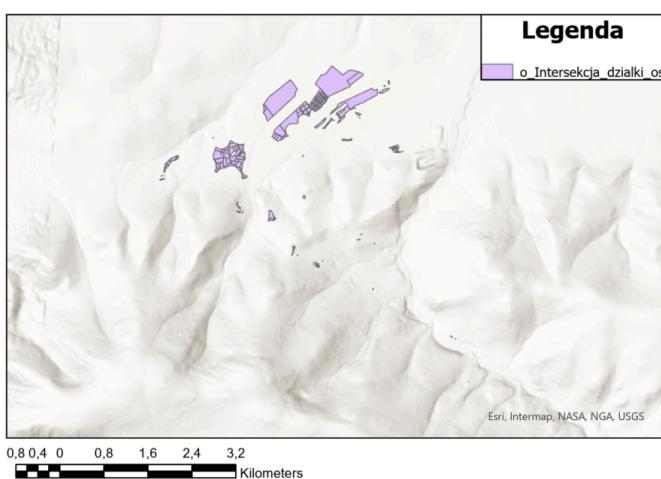
Wynik intersekcji- jednakowe wagи



Wynik intersekcji- rózne wagи



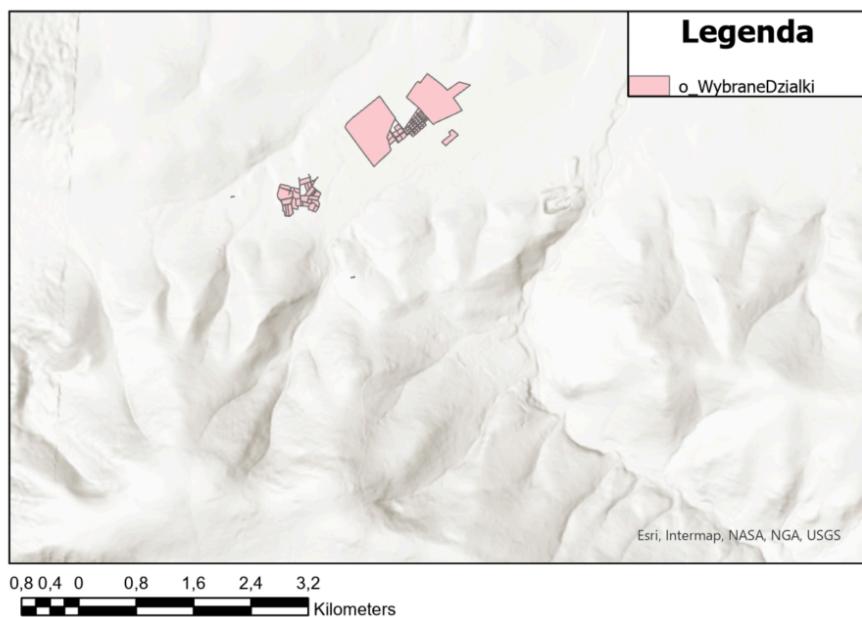
Wynik intersekcji- kryteria ostre



Rys. 53-55 Wynik intersekcji dla 3 wersji kryteriów

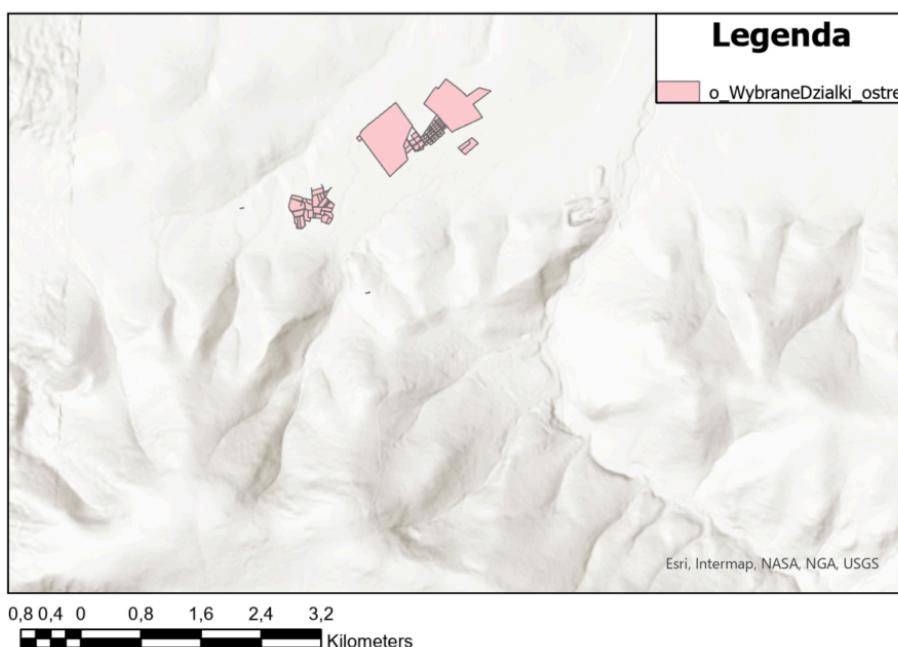
Wynik intersekcji jest następnie analizowany statystycznie, obliczając sumaryczną powierzchnię dla każdej działki. Następnie obliczany jest procentowy udział powierzchni intersekcji w całkowitej powierzchni działki. W przypadku gdy 60% powierzchni działki znajduje się w wyznaczonym obszarze, zostaje mu przypisana wartość 1 w nowo utworzonym polu. W wersji z różnymi wagami algorytm nie znalazł żadnych działek spełniających kryteria.

Wybrane działki- wynik pośredni- jednakowe wagi



Rys. 56 Wybrane działki- równoważne kryteria

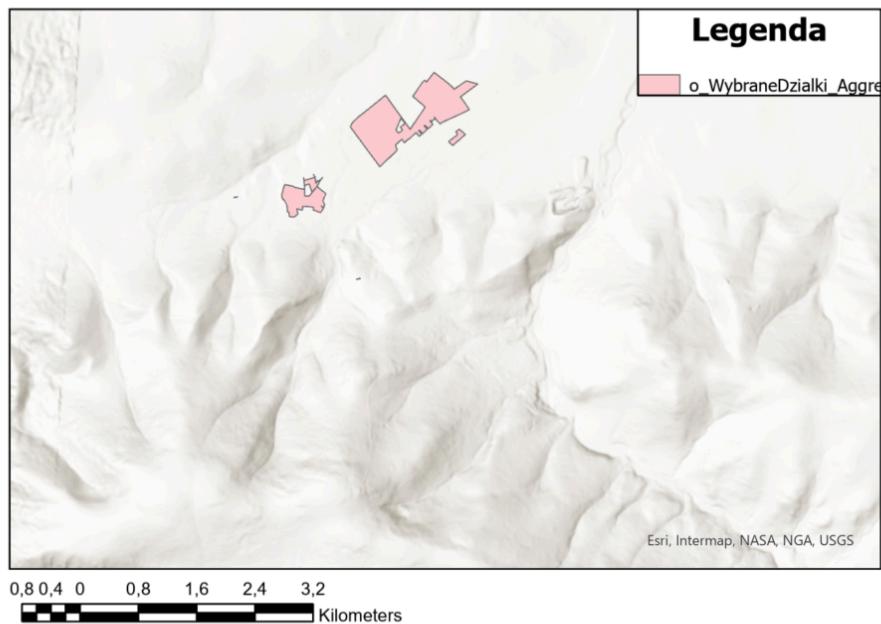
Wybrane działki- wynik pośredni- kryteria ostre



Rys. 57 Wybrane działki- kryteria ostre

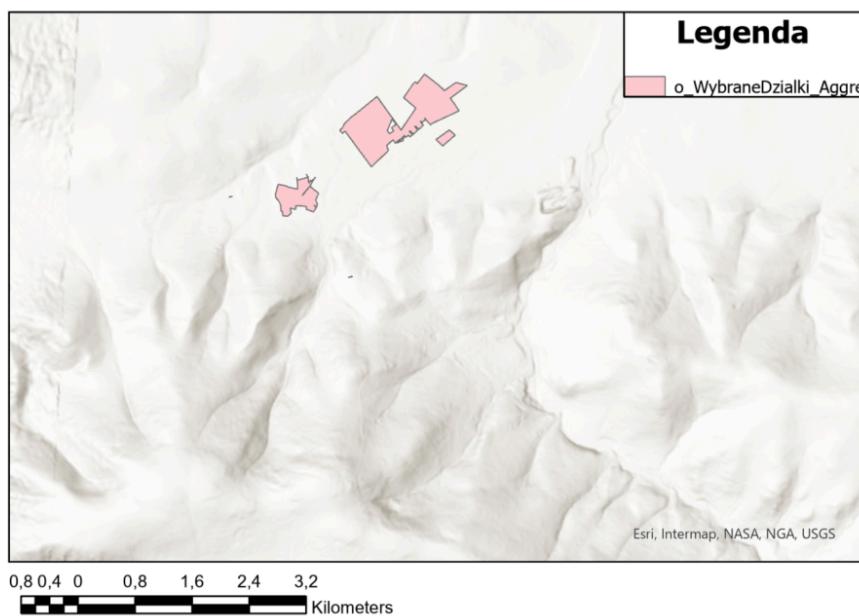
Następnie poligony odpowiadające wybranym działkom są agregowane za pomocą AggregatePolygons, co pozwala na ich uproszczenie i usunięcie niewielkich otworów.

### Zagregowane działki- jednakowe wagi



Rys. 58 Zagregowane poligony- równoważne kryteria

### Zagregowane działki- kryteria ostre

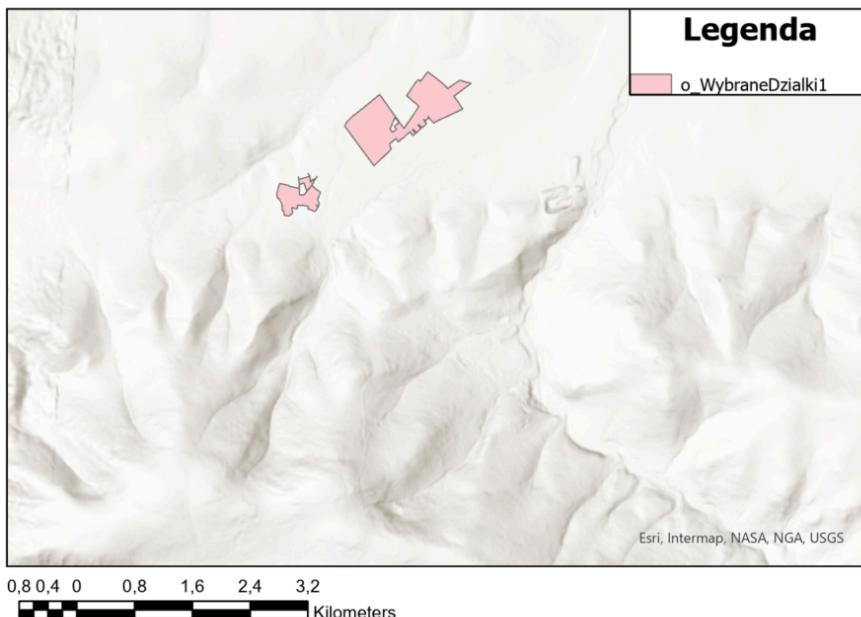


Rys. 59 Zagregowane poligony- kryteria ostre

Agregowane poligony są eksportowane z uwzględnieniem minimalnej powierzchni 20,000 m<sup>2</sup>. Następnie obliczane są minimalne obwiednie prostokątne dla poligonów, co pozwala na określenie szerokości i wysokości działek. Dodawane są pola Width (szerokość) i Height (wysokość) dla obwiedni minimalnych. Wartości te są obliczane na podstawie zakresów geometrii. Dane o szerokości i wysokości obwiedni minimalnych są łączone z warstwą zagregowanych poligonów. Finalny eksport zawiera tylko działki, które spełniają kryteria minimalnej szerokości i wysokości (>50 m). Wynikowa warstwa zawiera działki, które znajdują się na terenach o wysokiej przydatności oraz mają

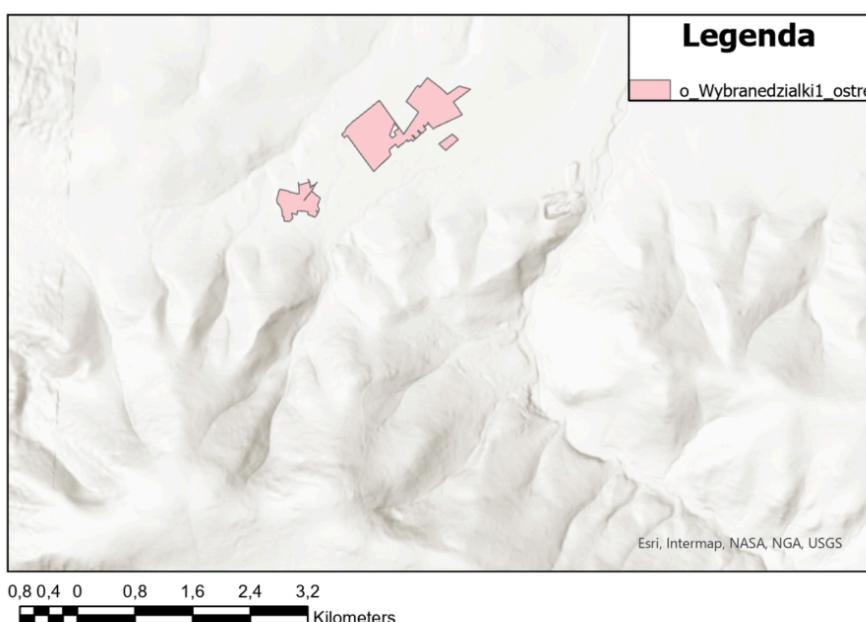
odpowiednią powierzchnię, szerokość i wysokość. Ten proces jest powtarzany dla terenów przydatności dla kryteriów rozmytych z jednakowymi wagami, różnymi i dla kryteriów ostrych.

#### Wybrane działki- jednakowe wagi



Rys. 60 Ostateczny wynik- wybrane działki- równoważne kryteria

#### Wybrane działki- kryteria ostre



Rys. 61 Ostateczny wynik- wybrane działki- kryteria ostre

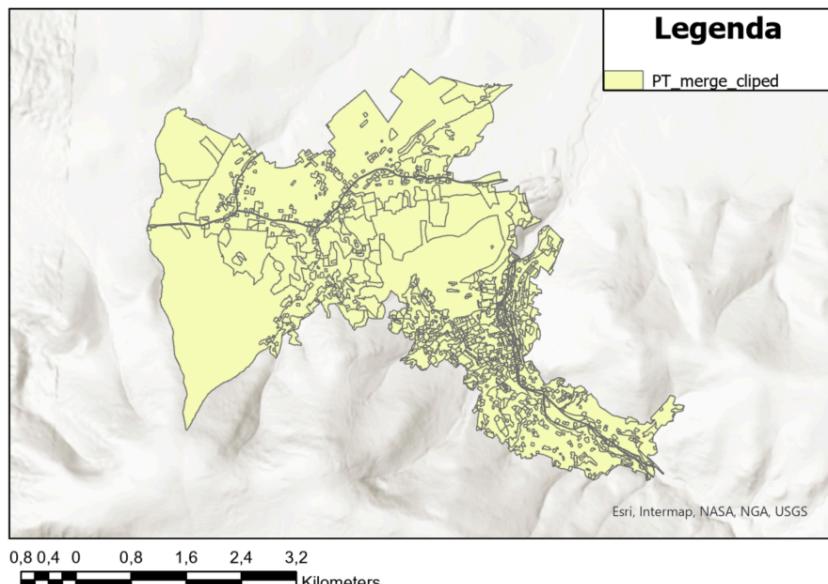
#### Wnioski cząstkowe

Po wykonaniu intersekcji oraz wybraniu działek spełniający warunek przydatności powyżej 60 %, wybrane zostają tylko obszary z wersji z jednakowymi wagami i kryteriami ostrymi. W wersji z różnymi wagami konieczne byłoby obniżyć przydatność do 40-50 % żeby otrzymać wynik w postaci lokalizacji działek.

## Tworzenie mapy kosztów

Na początku tworzona jest mapa kosztów. Za pomocą narzędzia Merge połączono wszystkie warstwy pokrycia terenu w jedną warstwę, co pozwoliło na łatwiejsze przypisywanie kosztów w kolejnych krokach. Każdej warstwie pokrycia terenu przypisano odpowiedni koszt.

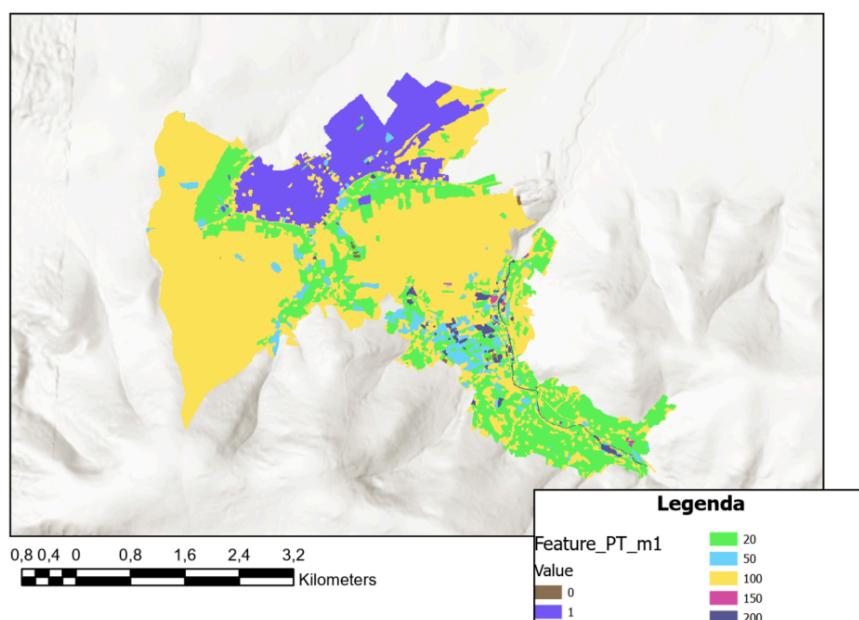
Połączone warstwy pokrycia terenu



Rys. 62 PT\_merge

Przekonwertowano warstwę wektorową na raster, gdzie wartość każdego piksela odpowiadała kosztowi względнемu przypisanemu w poprzednim kroku.

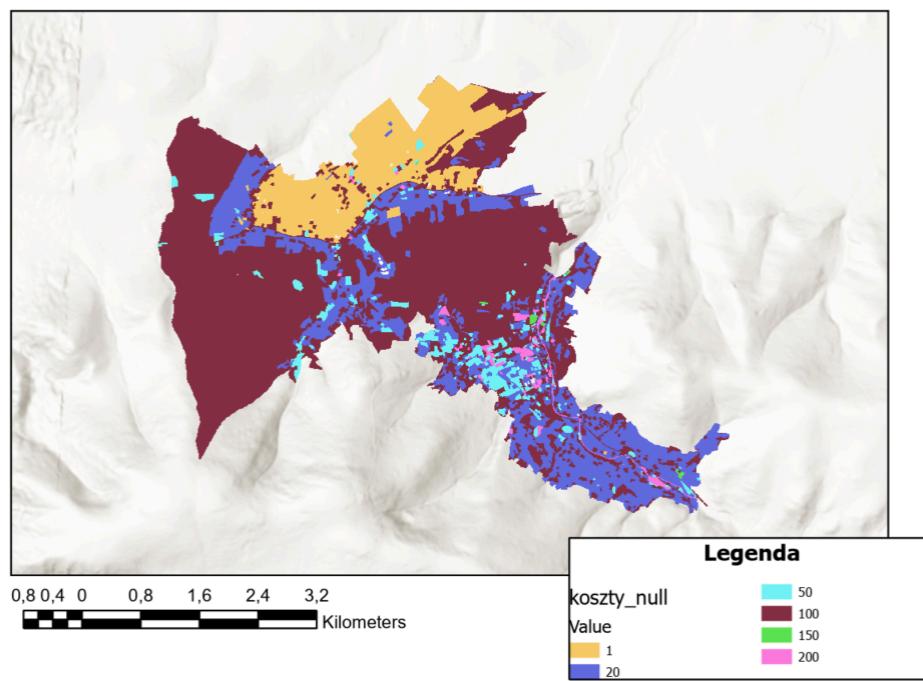
Połączone warstwy pokrycia terenu z przypisanym kosztem



Rys. 63 Mapa kosztów

Piksele odpowiadające barierom absolutnym ustawiono na wartość "NoData" za pomocą narzędzia SetNull.

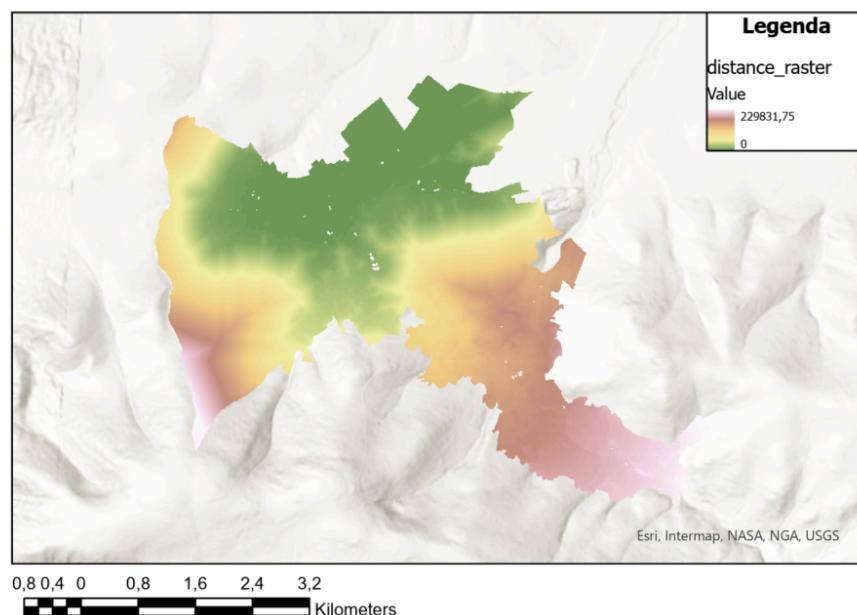
### Połączone warstwy pokrycia terenu z przypisanym kosztem



Rys. 64 Mapa kosztów bez wartości 0

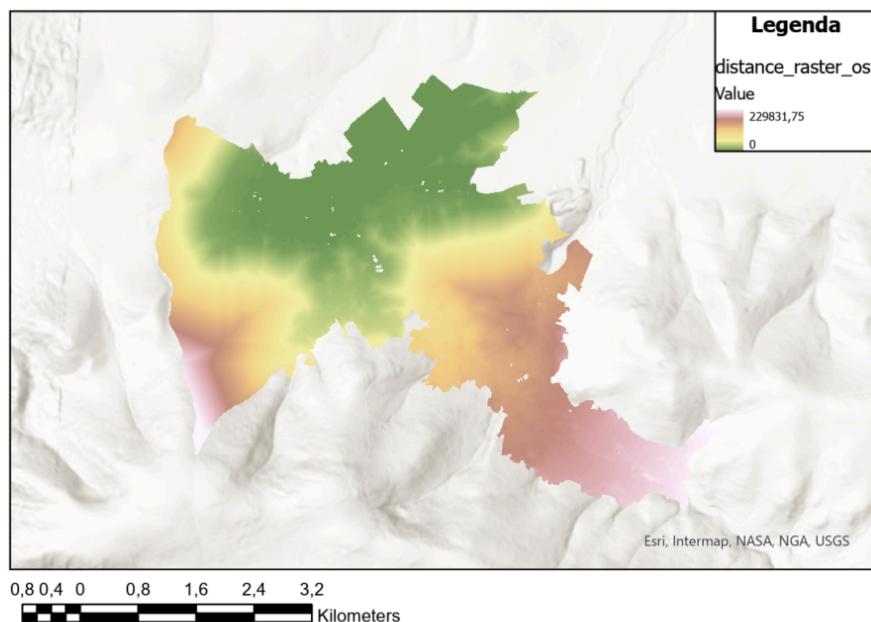
Po utworzeniu mapy kosztów względnych, obliczono mapy kosztów skumulowanych i kierunków. Wygenerowano mapy kosztów skumulowanych oraz mapy kierunków za pomocą narzędzia Cost Distance dla trzech podejść:  
ostre, mieszane z równymi wagami oraz mieszane z różnymi wagami.

### Mapa odległości- jednakowe wagi



Rys. 65 Mapa odległości na podst. mapy kosztów- równoważne kryteria

Mapa odległości- kryteria ostre



Rys. 66 Mapa odległości na podst. mapy kosztów- kryteria ostre

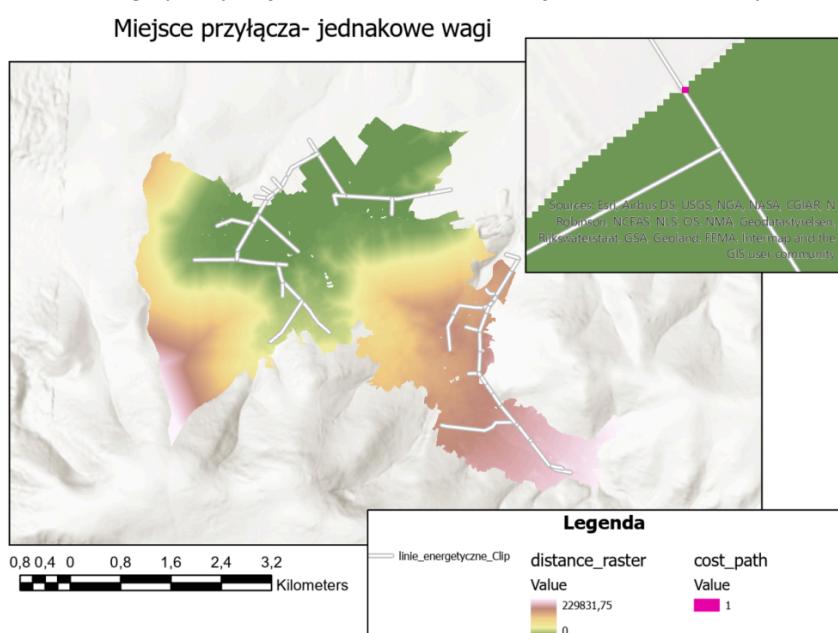
### Wnioski częściowe

Najniższe wartości w powyższych mapach kosztów znajdują się w obszarach centralnych i północnych obszaru gminy, więc najłatwiej będzie tam można dokonać przyłącza do sieci linii energetycznej w kolejnych krokach.

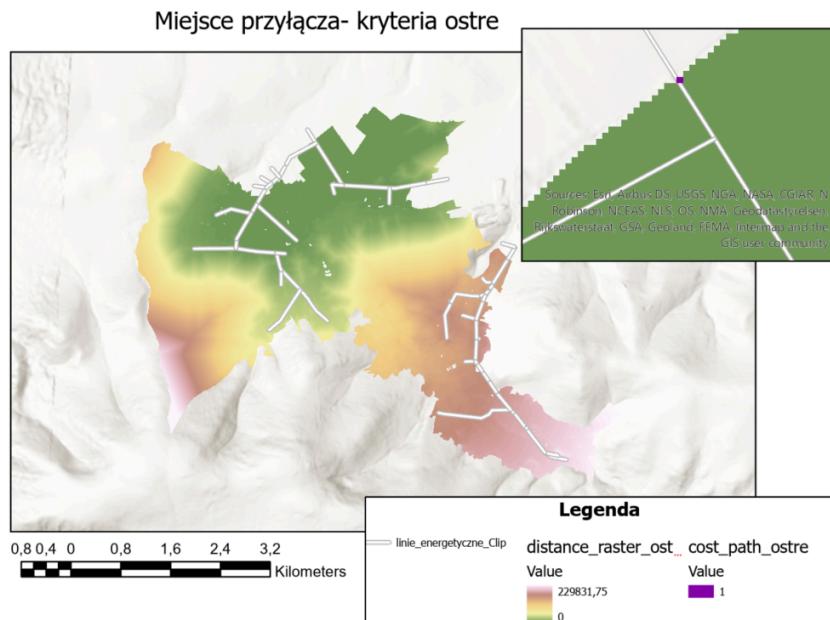
### Wyznaczenie optymalnych ścieżek przyłącza

Dla każdego podejścia obliczono optymalne trasy przyłącza za pomocą narzędzia **Cost Path** (oblicza ścieżkę o najniższym koszcie od źródła do celu), wybierając trasy o najniższych kosztach.

Uwzględniono sieć linii energetycznych jako docelowe dane wejściowe dla analizy.



Rys. 67 Miejsce przyłącza- równoważne kryteria



Rys. 68 Miejsce przyłącza- kryteria ostre

#### Wnioski częściowe

Najbardziej optymalne miejsce przyłącza do sieci energetycznej w przypadku jednakowych wag, jak i kryteriów ostrzych znajduje się w tym samym miejscu, w północnej części gminy Świeradów Zdrój.

### 3. Raport z wykonania kodu dla obszaru próbnego

Drugi obszar analizy przestrzennej budowy farmy fotowoltaicznej obejmował gminę Pleśna. Jest to wiejska gmina w województwie małopolskim, w powiecie tarnowskim, położona na południe od Tarnowa. Graniczy z gminami Tuchów, Gromnik, Zakliczyn i Wojnicz. Przez teren gminy przebiegają droga Tarnów–Zakliczyn oraz linia kolejowa Tarnów–Nowy Sącz–Krynica z odgałęzieniem do Jasła, Krosna i Sanoka. Obszar ten leży na pograniczu Pogórza Ciężkowickiego i Kotliny Sandomierskiej, ograniczony od zachodu rzeką Dunajec, a od północnego wschodu rzeką Białą.

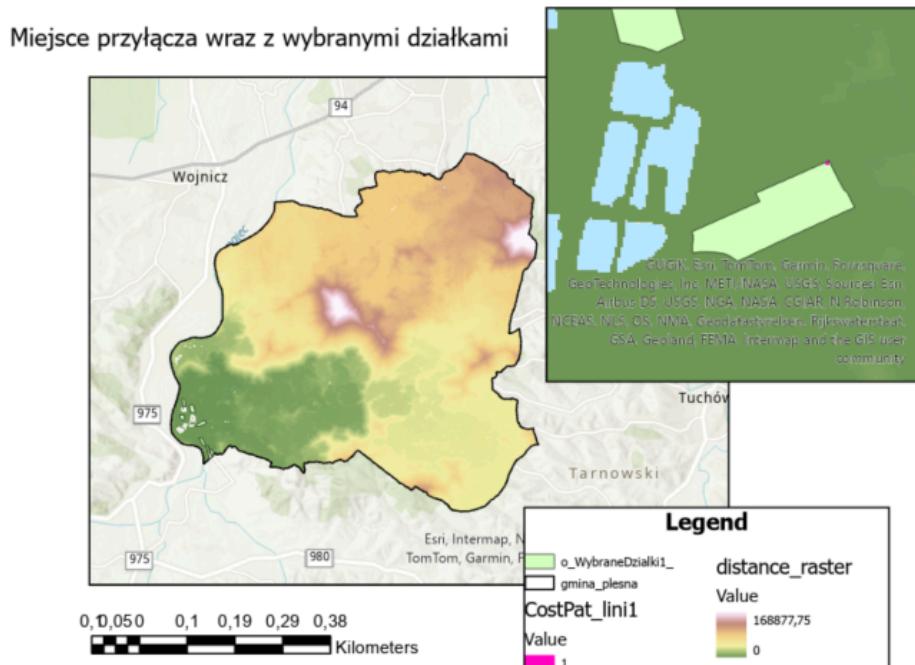
Na początku procesu pobrano wszystkie dane wejściowe analogicznie do tych użytych dla gminy Świeradów-Zdrój. Ze względu na brak gotowej warstwy z połączonymi danymi pokrycia terenu, konieczne było pobranie danych z bazy BDOT i połączenie ich za pomocą narzędzia Merge.

Podczas analizy kod wygenerował błąd związany z klasyfikacją budynków. W bazie BDOT dla gminy Pleśna brakowało atrybutu "FOBUD = 'budynki mieszkalne'", który występował w danych dla Świeradowa-Zdroju. Zamiast tego należało użyć atrybutu "funOgolnaB" z wartościami:

- 1110 – budynki mieszkalne jednorodzinne,
- 1121 – budynki o dwóch mieszkaniach,
- 1122 – budynki o trzech i więcej mieszkaniach,
- 1130 – budynki zbiorowego zamieszkania.

Dodatkowy problem pojawił się przy identyfikacji dróg utwardzonych. W danych dla Świeradowa-Zdroju używano atrybutu "MATE\_NAWIE = 'masa bitumiczna'", natomiast w danych dla Pleśnej odpowiednią kolumną była "materialNa" z wartością "Mb".

Po wprowadzeniu korekt dotyczących klasyfikacji budynków oraz rodzaju nawierzchni dróg, analiza została poprawnie przeprowadzona dla gminy Pleśna. Program znalazł działki tylko w gminie Pleśna tylko dla podejścia z jednakową wagą.



Rys. 69 Obszar wynikowy i miejsce przyłącza dla Pleśnej

#### 4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Projekt umożliwił dokładną analizę przestrzenną terenu pod kątem lokalizacji farmy fotowoltaicznej, uwzględniając kluczowe kryteria techniczne, środowiskowe i ekonomiczne. Wykorzystanie narzędzi GIS, logiki rozmytej oraz metody WLC pozwoliło na zidentyfikowanie najbardziej korzystnych lokalizacji. Analiza wykazała, że wagowanie kryteriów bardzo wpływa na ostateczny wynik.

#### **Propozycja usprawnień modelu analizy**

Powyższy model analizy lokalizacji farmy fotowoltaicznej można znacząco usprawnić poprzez wprowadzenie kilku istotnych zmian. Przede wszystkim, można rozważyć automatyzację pobierania danych przestrzennych. Obecny sposób, który wymaga ręcznego pobierania i wybierania danych, szczególnie kilkunastu kafelków NMT jest nieefektywny. Opracowanie zaawansowanego skryptu, który pobierałby automatycznie większość danych przyspieszyłoby przygotowanie materiałów do analizy, eliminując konieczność wielokrotnego pobierania danych.

Kolejną kwestią jest elastyczność kodu, w odniesieniu do różnic w strukturze danych. Podczas analizy różnych obszarów, takich jak Świeradów-Zdrój i Pleśna, wystąpiły znaczne różnice w nazwach kolumn danych. To skutkowało koniecznością zmian nazw w kodzie. Wprowadzenie warunkowych instrukcji umożliwiających automatyczne rozpoznanie i dostosowywanie się do różnych schematów danych pozwoliłoby na uniknięcie tych problemów i zwiększyłoby uniwersalność skryptu.

Ponadto, proces przycinania warstw do buforu gminy wymaga optymalizacji. Dotychczasowe rozwiązanie było uzależnione od zmian w ustawieniach środowiskowych. Zastosowanie bardziej precyzyjnych i niezależnych od środowiska metod geoprzetwarzania mogłoby wyeliminować ten problem i zapewnić większą stabilność wyników.

Na koniec warto zadbać o wygodniejsze zarządzanie warstwami mapy. Obecnie każda nowo wygenerowana warstwa automatycznie dodaje się do projektu, co z kolei wymaga wyłączania wszystkich warstw, żeby zobaczyć wynik końcowy. Wprowadzenie rozwiązań, które ograniczałoby automatyczne dodawanie warstw poprawiłoby komfort pracy z projektem.

### **Propozowane kryterium**

Odległość od obszarów chronionych i terenów o wysokich walorach krajobrazowych (parki narodowe, rezerwy przyrody, parki krajobrazowe, obszary Natura 2000, obszary chronionego krajobrazu)

#### 1. Pozyskanie danych

Dane można pozyskać z Centralnego Rejestru Form Ochrony Przyrody bezpośrednio przez stronę<sup>6</sup> lub przez gov.pl<sup>7</sup>.

#### 2. Analiza danych

Wykonanie analizy odległości (Euclidean Distance) od granic obszarów chronionych.

Ustalenie minimalnej odległości od granicy obszaru chronionego równej 20 m i oraz maksimum wynoszące 200 m. Tworzy to obszar rozmycia w zakresie 20-200 m. Na podstawie przyjętych wartości minimum i maksimum, wywołanie narzędzia Fuzzy Membership.

#### 3. Uwagi

Kryterium pozwala wykluczyć obszary, na których istnieje całkowity zakaz budowy farmy fotowoltaicznej. Jest to kryterium ostre

### **Wnioski końcowe**

Analiza obszaru gminy Świeradów-Zdrój wykazała, że najlepszym obszarem do budowy farmy fotowoltaicznej są obszary gminy położone najbliżej na północ. Są to działki graniczące z ulicami Długą i Łąkową (pierwszy obszar), a także przy ulicach Dworcowej i Strzeleckiej (drugi obszar). Najbliżej optymalne miejsce do przyłączenia farmy do linii energetycznych, zarówno w przypadku jednakowych wag, jak i kryteriów ostrzych znajduje się w okolicach ul. Krótkiej. Dla gminy Świeradów- Zdrój udało się wyznaczyć działki zarówno dla podejścia z jednakowymi wagami, jak i dla podejścia ostrego, natomiast w gminie Pleśna udało się wyznaczyć działki i proponowane położenie przyłącza tylko dla podejścia z jednakową wagą.

## **5. Bibliografia**

- <https://pl.wikipedia.org/wiki/%C5%9Awierad%C3%B3w-Zdr%C3%B3j>
- [https://www.prawo-budowlane.info/budowa-farmy-fotowoltaicznej-procedury-i-pozwolenia,544,material\\_prawo\\_budowlane.html](https://www.prawo-budowlane.info/budowa-farmy-fotowoltaicznej-procedury-i-pozwolenia,544,material_prawo_budowlane.html)
- <https://gis-support.pl/baza-wiedzy-2/dane-do-pobrania/granice-administracyjne/>
- [https://mapy.geoportal.gov.pl/imap/Imgp\\_2.html?gpmap=gp0](https://mapy.geoportal.gov.pl/imap/Imgp_2.html?gpmap=gp0)
- [https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php?n=7&t=AHP+priorities&c\[0\]=K1\\_odl\\_od\\_rzek&c\[1\]=K2\\_odl\\_od\\_bud&c\[2\]=K3\\_pokrycie\\_terenu&c\[3\]=K4\\_dostep\\_do\\_utwardzonych&c\[4\]=K5\\_nachylenie\\_stokow&c\[5\]=K6\\_dostep\\_do\\_sloneczka&c\[6\]=K7\\_dojazd\\_do\\_wezlow](https://bpmsg.com/ahp/ahp-calc.php?n=7&t=AHP+priorities&c[0]=K1_odl_od_rzek&c[1]=K2_odl_od_bud&c[2]=K3_pokrycie_terenu&c[3]=K4_dostep_do_utwardzonych&c[4]=K5_nachylenie_stokow&c[5]=K6_dostep_do_sloneczka&c[6]=K7_dojazd_do_wezlow)
- <https://crfop.gdos.gov.pl/CRFOP/>
- <https://www.gov.pl/web/gdos/dostep-do-danych-geoprzestrzennych>
- <https://lexlege.pl/ustawa-o-ochronie-gruntow-rolnych-i-lesnych/art-7/>

<sup>6</sup> <https://crfop.gdos.gov.pl/CRFOP/>

<sup>7</sup> <https://www.gov.pl/web/gdos/dostep-do-danych-geoprzestrzennych>

- <https://lexlege.pl/ustawa-o-planowaniu-i-zagospodarowaniu-przestrzennym/art-59/>
- <https://lexlege.pl/ustawa-o-planowaniu-i-zagospodarowaniu-przestrzennym/art-60/>
- <https://lexlege.pl/ustawa-o-planowaniu-i-zagospodarowaniu-przestrzennym/art-61/>
- <https://lexlege.pl/udost-inf-o-srodow/art-71/>
- <https://lexlege.pl/udost-inf-o-srodow/art-72/>
- <https://lexlege.pl/udost-inf-o-srodow/art-75/>
- <https://lexlege.pl/prawo-budowlane/art-28/>
- [https://pl.wikipedia.org/wiki/P%C3%9ble%C5%82na\\_\(gmina\)](https://pl.wikipedia.org/wiki/P%C3%9ble%C5%82na_(gmina))
- <https://www.plesna.pl/dla-turysty/o-gminie/>

Opracowała: Lidia Teleszko