

Projekt 1: Wskazanie optymalnej lokalizacji farmy fotowoltaicznej – analizy wielokryterialne (MCE)

Adrian Fabisiewicz (328935)

16 stycznia 2025

Spis treści

1 Wybór lokalizacji farmy fotowoltaicznej	2
2 Cel projektu	3
3 Analizowane kryteria	4
4 Realizacja	5
4.1 Ustalenie środowiska pracy i ścieżek do danych	5
4.2 Kryterium 1: odległość od rzek i zbiorników wodnych	5
4.3 Kryterium 2: odległość od budynków mieszkalnych	8
4.4 Kryterium 3: pokrycie terenu	10
4.5 Kryterium 4: dostęp do dróg utwardzonych	12
4.6 Kryterium 5: nachylenie stoków	14
4.7 Kryterium 6: dostęp do światła słonecznego	16
4.8 Kryterium 7: dojazd do istotnych drogowych węzłów komunikacyjnych	18
4.9 Ocena przydatności terenu	20
4.10 Wybór przydatnych działek	23
4.11 Koszt przyłącza do sieci SN	24
5 Test modelu na danych z innego obszaru	31
5.1 Opis obszaru	31
5.2 Kryterium 1: odległość od rzek i zbiorników wodnych	31
5.3 Kryterium 2: odległość od budynków mieszkalnych	32
5.4 Kryterium 3: pokrycie terenu	32
5.5 Kryterium 4: dostęp do dróg utwardzonych	33
5.6 Kryterium 5: nachylenie stoków	33
5.7 Kryterium 6: dostęp do światła słonecznego	34
5.8 Kryterium 7: dojazd do istotnych drogowych węzłów komunikacyjnych	34
5.9 Ocena przydatności terenu	34
5.10 Wybór przydatnych działek	36
5.11 Przyłącze do sieci SN	37
6 Podsumowanie i wnioski	40
6.1 Omówienie wyników	40
6.2 Strona techniczna	41
6.3 Wyzwania, problemy modelu	41
6.4 Propozycja dodatkowego kryterium	41

1 Wybór lokalizacji farmy fotowoltaicznej

Wybór optymalnej lokalizacji dla farmy fotowoltaicznej jest kluczowym etapem w procesie inwestycyjnym, wymagającym uwzględnienia szeregu czynników środowiskowych, technicznych, ekonomicznych i prawnych. Celem niniejszego sprawozdania jest przedstawienie wielokryterialnej analizy (MCE) mającej na celu wskazanie najlepszej lokalizacji dla farmy fotowoltaicznej, z uwzględnieniem zarówno aspektów teoretycznych, jak i obowiązujących regulacji prawnych.

Przy wyborze lokalizacji farmy fotowoltaicznej należy wziąć pod uwagę między innymi takie czynniki jak:

- nasłonecznienie terenu - podstawowy czynnik wpływający na efektywność instalacji
- ukształtowanie terenu - preferowane są tereny płaskie lub o niewielkim nachyleniu w kierunku południowym
- powierzchnia i kształt działki; elektrownia fotowoltaiczna to instalacja o mocy od 1 MW - ma montaż elektrowni o takiej mocy potrzeba około 2 ha powierzchni i szerokość minimum 50 m¹
- odległość od zabudowań mieszkalnych - zalecana minimalna odległość to 500 m ze względu na potencjalne uciążliwości
- dostępność dróg dojazdowych - ułatwia transport i logistykę podczas budowy i eksploatacji
- odległość od rzek i zbiorników wodnych
- pokrycie terenu - preferowane są tereny niezadrzewione i niezaciecione
- dostępność infrastruktury energetycznej - bliskość sieci elektroenergetycznej średniego napięcia (zalecana odległość do 200 metrów)²
- klasa gruntu - preferowane są grunty grunty klasy IV lub niższej, aby nie blokować terenów o wysokiej wartości rolniczej³

Analiza wielokryterialna pozwala na kompleksową ocenę potencjalnych lokalizacji, uwzględniając wszystkie wymienione czynniki. Metoda ta umożliwia obiektywne porównanie różnych wariantów i wybór optymalnej lokalizacji.

W kontekście prawnym, kluczowe akty regulujące proces lokalizacji i budowy farm fotowoltaicznych to⁴:

- Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym
- Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. - Prawo budowlane
- Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii
- Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych

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

²<https://electrum.pl/jak-wybrac-najlepsza-lokalizacje-do-budowy-farmy-fotowoltaicznej/>

³<https://electrum.pl/jak-zalozyc-farmę-fotowoltaiczną-wyjasniamy-etapy/>

⁴https://www.prawo-budowlane.info/budowa-farmy-fotowoltaicznej-procedury-i-pozwolenia,544,material_prawo_budowlane.html

2 Cel projektu

Celem projektu było wskazanie optymalnej lokalizacji nowej farmy fotowoltaicznej dla obszaru gminy Świeradów-Zdrój (powiat lubański, województwo dolnośląskie).



Rysunek 1: Położenie gminy Świeradów-Zdrój na mapie województwa dolnośląskiego

3 Analizowane kryteria

Lp	Kryterium	Parametry	Źródło danych do kryterium
1	odległość od rzek i zbiorników wodnych	jak najbliżej; nieprzekraczalna 100-metrowa strefa ochronna	BDOT10k(SWRS, PTWP)
2	odległość od budynków mieszkalnych	jak najdalej, powyżej 150m	BDOT10k(BUBD)
3	pokrycie terenu	powyżej 15m od lasu, optymalnie powyżej 100m od lasu	BDOT10k(PTLZ)
4	dostęp do dróg utwardzonych	jak największe zagleśzczenie	BDOT10k(SKDR)
5	nachylenie stoków	jak najbardziej płasko	NMT
6	dostęp światła słonecznego	optymalnie: stoki południowe (SW-SE)	NMT
7	dobry dojazd od istotnych drogowych węzłów komunikacyjnych	jak najkrótszy czas dojazdu	BDOT10k(SKDR)
Łączanie kryteriów			
8	ocena przydatności terenu (próg przydatności)	80% / 90% max. przydatności	
9	przydatne działki / grupy działek	min 60% działki na terenie przydatnym	EGIB
10	powierzchnia i min. szerokość obszaru	2ha / 50m	
11	koszt przyłącza do sieci SN (mapy kosztów)	jak najniższy	BDOT10k (wszystkie warstwy PT)

Tabela 1: Tabela z kryteriami lokalizacji

4 Realizacja

4.1 Ustalenie środowiska pracy i ścieżek do danych

Na początku pracy z Pythonem należało zainportować odpowiednie moduły z biblioteki arcpy oraz zadbać o to, żeby jako interpreter języka Python została wybrana wersja Pythona instalowana razem z oprogramowaniem ArcGIS.

```
1 import arcpy.analysis
2 import arcpy.management
3 import arcpy.sa
```

Przed rozpoczęciem pracy z danymi należało ustalić odpowiednie parametry środowiska. Ustalono odpowiedni folder odczytu i zapisu danych na geobazę projektu, w której znajdowały się odpowiednie dane. Ustawiono układ współrzędnych na EPSG:2180 oraz rozmiar komórki na 5, zgodny z rozmiarem pobranego przez nas rastra NMT. Zakres oraz maskę projektu dostosowano do powierzchni warstwy, zawierającej 200-metrowy bufor wokół terenu gminy. Ustalono również nadpisywanie warstw w przypadku, jeżeli warstwa o tej samej nazwie już by istniała w folderze.

```
1 geobaza = "ściezka_do_geobazy"
2 arcpy.env.workspace = "in_memory"
3 arcpy.env.outputCoordinateSystem = arcpy.SpatialReference("ETRS_1989_Poland_CS92")
4 arcpy.env.extent = f'{geobaza}\\gmina_buffer'
5 arcpy.env.mask = f'{geobaza}\\gmina_buffer'
6 arcpy.env.cellSize = 5
7 arcpy.env.overwriteOutput = True
```

4.2 Kryterium 1: odległość od rzek i zbiorników wodnych

Jako dane wejściowe do rozpatrzenia kryterium pierwszego wykorzystano obiekty o kodzie OT_SWRS_L z bazy BDOT10k, reprezentujące rzeki i strumienie, oraz obiekty o kodzie OT_PTWP_A, reprezentujące wody powierzchniowe. Wokół obiektów liniowych stworzono centymetrowy bufor, aby zamienić je na obiekty poligonalne i móc połączyć je w jedną klasę z obiektami reprezentującymi wody powierzchniowe. Użyto do tego narzędzi *Buffer* oraz *Merge*.

```
1 swrs_0210_buffer = arcpy.analysis.Buffer(f'{geobaza}\\SWRS_L_0210',
    ↵ f'{geobaza}\\SWRS_L_0210_buffer', '1 Centimeter')
2 swrs_0212_buffer = arcpy.analysis.Buffer(f'{geobaza}\\SWRS_L_0212',
    ↵ f'{geobaza}\\SWRS_L_0212_buffer', '1 Centimeter')
3 water = arcpy.management.Merge([swrs_0210_buffer, swrs_0212_buffer,
    ↵ f'{geobaza}\\PTWP_A_0210', f'{geobaza}\\PTWP_A_0212'], 'water')
```

Pierwszym krokiem analizy dla tego kryterium było wykonanie mapy odległości od wód z użyciem narzędzia *Distance Accumulation* z zestawu narzędzi *Spatial Analyst*.

```
1 water_accumulation = arcpy.sa.DistanceAccumulation(in_source_data=water)
```

Następnie, z użyciem narzędzia *Fuzzy Membership* zbadano członkostwo poszczególnych komórek, wykorzystując do tego utworzony w poprzednim kroku raster.

```
1 increasing_water = arcpy.sa.FuzzyMembership(water_accumulation, fuzzy_function="LINEAR 100
    ↵ 102")
2 decreasing_water = arcpy.sa.FuzzyMembership(water_accumulation, fuzzy_function="LINEAR
    ↵ 1000 500")
```

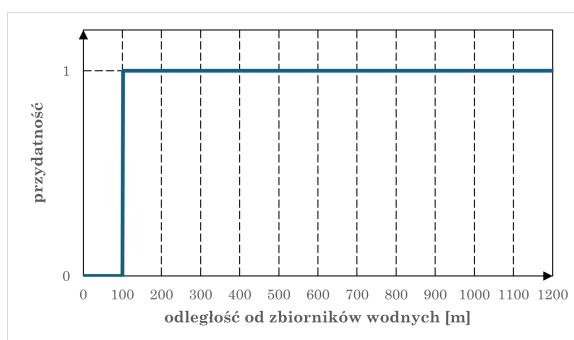
W pierwszej funkcji, rosnącej:

- wartości ≤ 100 otrzymują wartość członkostwa 0 (nie spełniają kryterium)
- wartości ≥ 102 otrzymują wartość członkostwa 1 (pełne spełnienie kryterium)
- wartości pomiędzy 100 a 102 otrzymują wartość członkostwa proporcjonalnie do ich odległości od 100

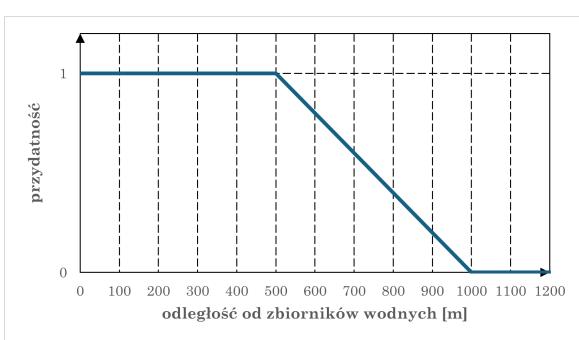
Dla drugiej funkcji, malejącej:

- wartości ≥ 1000 otrzymują wartość członkostwa 0 (nie spełniają kryterium)
- wartości ≤ 500 otrzymują wartość członkostwa 1 (pełne spełnienie kryterium)
- wartości pomiędzy 1000 a 500 otrzymują wartość członkostwa proporcjonalnie do ich odległości od 1000.

Reklasyfikacji dokonano zgodnie z poniższymi rysunkami.



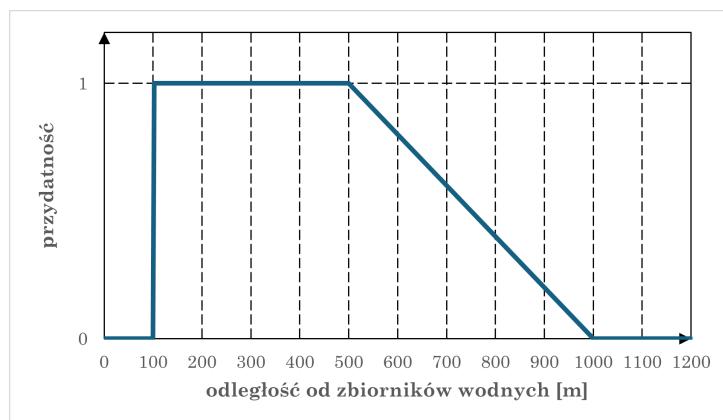
Rysunek 2: Funkcja rosnąca



Rysunek 3: Funkcja malejąca

Ostateczny wynik dla kryterium pierwszego uzyskano po połączeniu obu warstw utworzonych wcześniej przy użyciu logiki rozmytej. Wykorzystano do tego narzędzie *FuzzyOverlay*. Raster wynikowy pokazuje obszary, które spełniają oba kryteria jednocześnie, uwzględniając najniższy poziom spełnienia.

```
1 water_map = arcpy.sa.FuzzyOverlay([increasing_water, decreasing_water], 'AND')
```



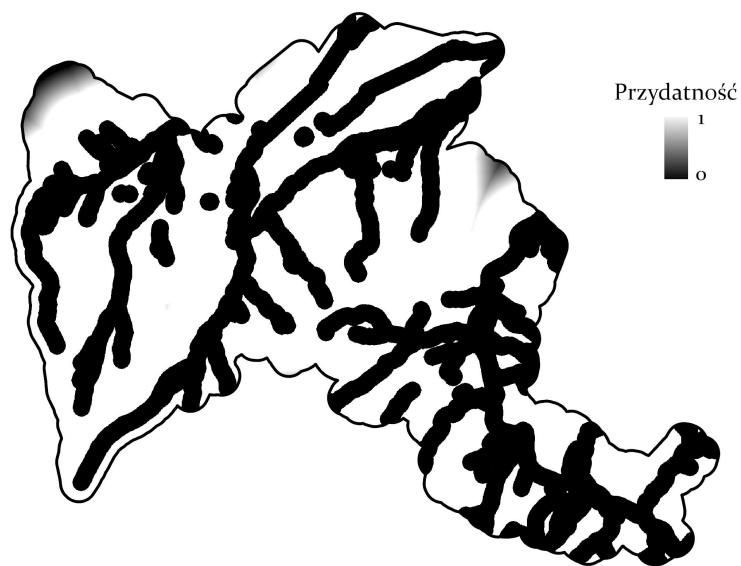
Rysunek 4: Reklasyfikacja dla kryterium 1.

Przydatność dla kryterium pierwszego pokazuje poniższa mapa.

Tereny przydatne (białe obszary) stanowią około 80.6% całkowitej powierzchni, co świadczy o dużej dostępności terenów pod inwestycję. Tereny nieprzydatne (czarne obszary) to tylko około 16.2% powierzchni, co oznacza, że strefa buforowa 150m od wody oraz obszary położone powyżej 1000m od wody

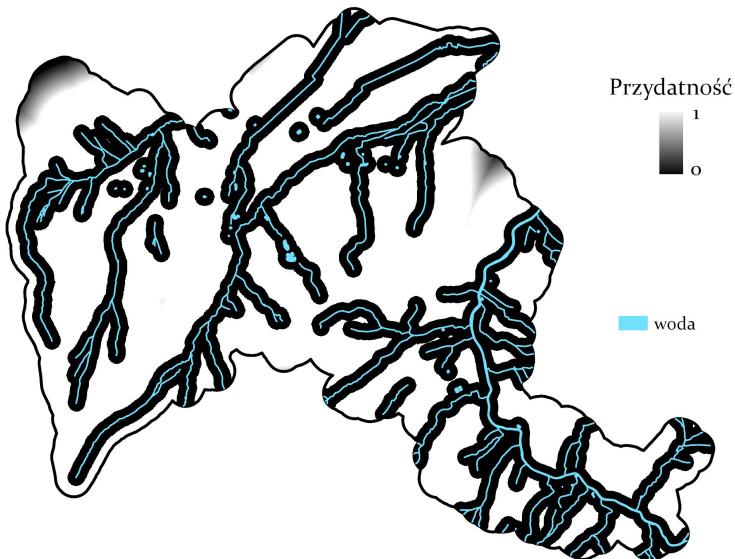
zajmują stosunkowo niewielką część analizowanego obszaru.

Większość terenu jest więc dostępna pod inwestycję, a strefy wykluczone układają się w charakterystyczny wzór wzdłuż cieków wodnych.



Rysunek 5: Mapa przydatności dla kryterium 1.

Poniżej zaprezentowano mapę przedstawiającą rzeki i wody powierzchniowe na tle utworzonej mapy przydatności.



Rysunek 6: Rzeki oraz wody powierzchniowe na tle mapy przydatności

4.3 Kryterium 2: odległość od budynków mieszkalnych

W celu rozpatrzenia kryterium odległościowego od budynków mieszkalnych, pobrano z bazy BDOT10k poligonową warstwę z obiektami o kodzie OT_BUBD_A, reprezentującymi budynki.

```
1 buildings = arcpy.management.Merge([f'{geobaza}\\BUBD_A_0210', f'{geobaza}\\BUBD_A_0212'],
    ↴ 'buildings')
```

Następnie wybrano z nich jedynie te będące budynkami mieszkalnymi. Skorzystano w tym celu z atrybutu *FOBUD*, informującego o funkcji ogólnej budynku. Skonstruowano odpowiednie zapytanie i wybrano zgodne obiekty, korzystając z funkcji *Select*.

```
1 arcpy.analysis.Select(buildings, 'residential_buildings', "FOBUD = 'budynki mieszkalne'")
```

Z użyciem narzędzia *Distance Accumulation* utworzono mapę odległości, na której każdemu pikselowi przypisano wartość odległości do najbliższego budynku mieszkalnego.

```
1 buildings_accumulation =
    ↴ arcpy.sa.DistanceAccumulation(in_source_data='residential_buildings')
```

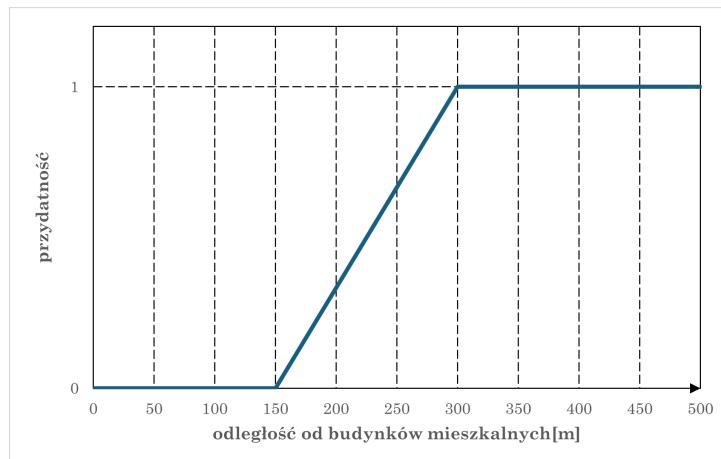
Dla utworzonej warstwy dokonano określenia członkostwa z użyciem rosnącej funkcji liniowej.

```
1 residential_buildings = arcpy.sa.FuzzyMembership(buildings_accumulation,
    ↴ fuzzy_function="LINEAR 150 300")
```

- wartości ≤ 150 otrzymują wartość członkostwa 0 (nie spełniają kryterium)
- wartości ≥ 300 otrzymują wartość członkostwa 1 (pełne spełnienie kryterium)

- wartości pomiędzy 150 a 300 otrzymują wartość członkostwa proporcjonalnie do ich odległości od 150

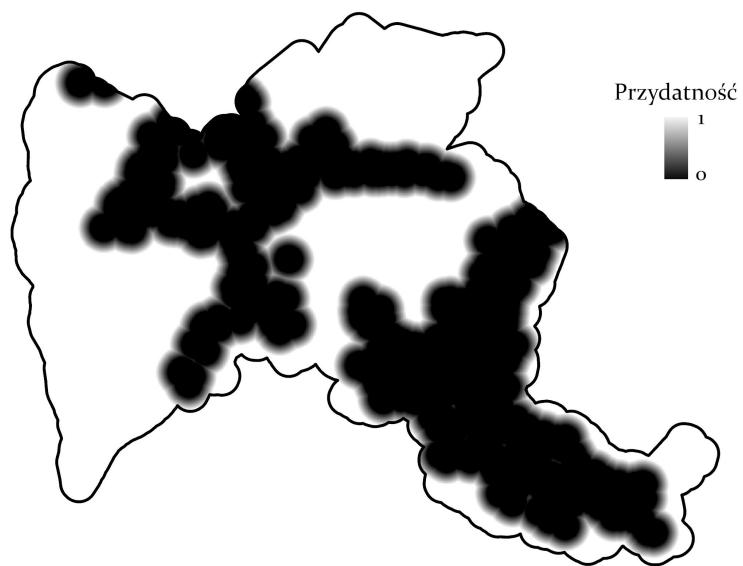
Reklasyfikacji dokonano zgodnie z funkcją przedstawioną poniżej.



Rysunek 7: Reklasyfikacja dla kryterium 2.

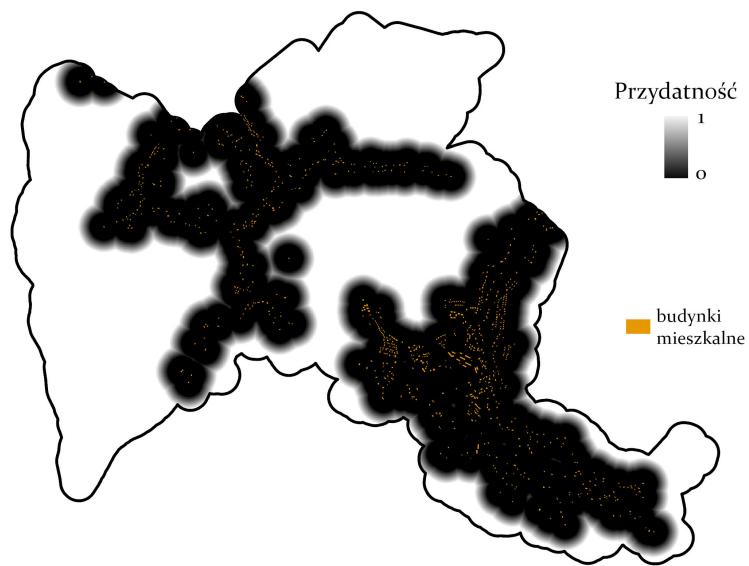
Wynikiem analizy dla kryterium drugiego była poniższa mapa.

Obszary czarne (nieprzydatne) tworzą 2 wzory, które koncentrują się w południowo-wschodniej oraz północno-zachodniej części terenu i rozgałęziają się w różne strony. Tereny o najwyższej przydatności (białe) występują w formie większych, zwartych obszarów, szczególnie w północnej, centralnej i zachodniej części mapy. Widoczne są również szare strefy przejściowe, które reprezentują tereny o pośredniej przydatności.



Rysunek 8: Mapa przydatności dla kryterium 2.

Poniżej zaprezentowano mapę przedstawiającą budynki mieszkalne na tle utworzonej mapy przydatności.



Rysunek 9: Budynki mieszkalne na tle mapy przydatności

4.4 Kryterium 3: pokrycie terenu

Warstwą wejściową w kryterium trzecim była warstwa OT_PTLZ_A zawierająca tereny leśne i zadrzewione.

```
1 trees = arcpy.management.Merge([f'{geobaza}\PTLZ_A_0210', f'{geobaza}\PTLZ_A_0212'],
    ↴ 'trees')
```

W celu obliczenia odległości komórek od terenów leśnych, wykorzystano funkcję *Distance Accumulation*.

```
1 trees_accumulation = arcpy.sa.DistanceAccumulation(in_source_data=trees)
```

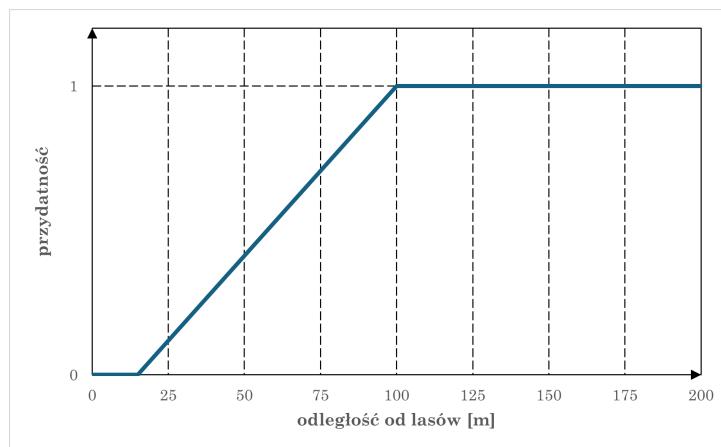
Następnie określono poziom członkostwa przy użyciu *Fuzzy Membership*.

```
1 trees_map = arcpy.sa.FuzzyMembership(trees_accumulation, fuzzy_function="LINEAR 15 100")
```

Dla powyższej funkcji:

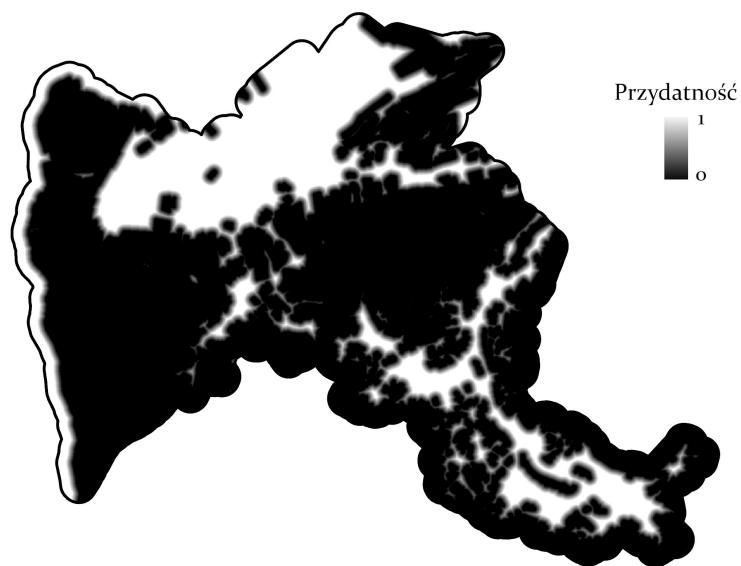
- wartości ≤ 15 otrzymują wartość członkostwa 0 (nie spełniają kryterium)
- wartości ≥ 100 otrzymują wartość członkostwa 1 (pełne spełnienie kryterium)
- wartości pomiędzy 15 a 100 otrzymują wartość członkostwa proporcjonalnie do ich odległości od 15

Reklasyfikacji dokonano zgodnie z funkcją przedstawioną poniżej.



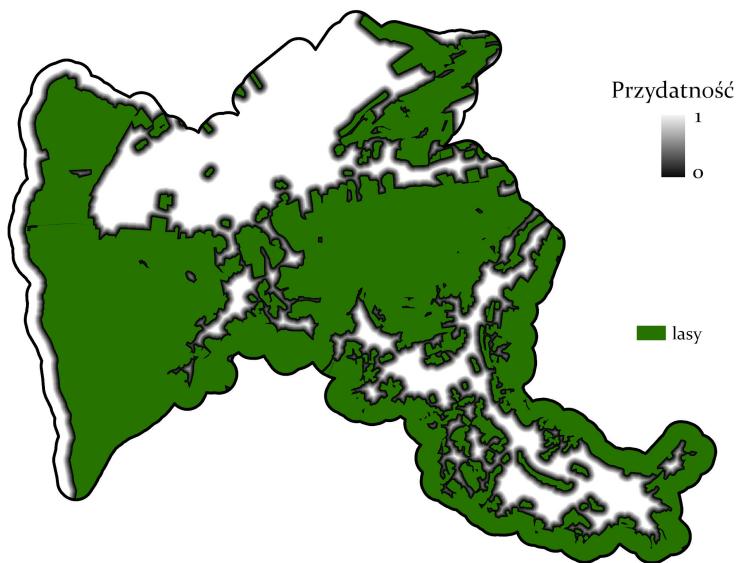
Rysunek 10: Reklasyfikacja dla kryterium 3.

Wynikiem analizy dla kryterium trzeciego była poniższa mapa. Obszary nieprzydatne stanowią dużą część obszaru, rozciągając się na zachodzie, w centrum oraz wzdłuż granic gminy. Przydatne są głównie duże tereny na północy gminy oraz w południowo-wschodniej części.



Rysunek 11: Mapa przydatności dla kryterium 3.

Poniżej zaprezentowano mapę przedstawiającą lasy na tle utworzonej mapy przydatności.



Rysunek 12: Lasy na tle mapy przydatności

4.5 Kryterium 4: dostęp do dróg utwardzonych

Drogi pobrano z bazy BDOT10k, wybierając obiekty o klasie OT_SKDR_L.

```
1 roads = arcpy.management.Merge([f'{geobaza}\\SKDR_L_0210', f'{geobaza}\\SKDR_L_0212'],
                                'roads')
```

Ze wszystkich dróg wybrano jedynie te utwardzone, tj. takie, których materiał nawierzchni to beton, bruk, kostka kamienna, kostka prefabrykowana, masa bitumiczna lub płyty betonowe.

```
1 selected_roads = arcpy.analysis.Select(roads, 'selected_roads', "MATERIAŁ_NAWIĘCZNY IN ('beton',
                                'bruk', 'kostka kamienna', 'kostka prefabrykowana', 'masa bitumiczna', 'płyty
                                betonowe')")
```

Korzystając z narzędzia *Line Density* utworzono raster z gęstością dróg utwardzonych na km².

```
1 roads_density = arcpy.sa.LineDensity(
2     in_polyline_features=selected_roads,
3     population_field=None,
4     cell_size=5,
5     search_radius=1000,
6     area_unit_scale_factor="SQUARE_KILOMETERS",
7 )
```

Aby móc uzależnić funkcję reklasyfikacyjną od wartości rastra, liczona jest maksymalna wartość gęstości dróg w obszarze z użyciem narzędzia *Calculate Statistics*.

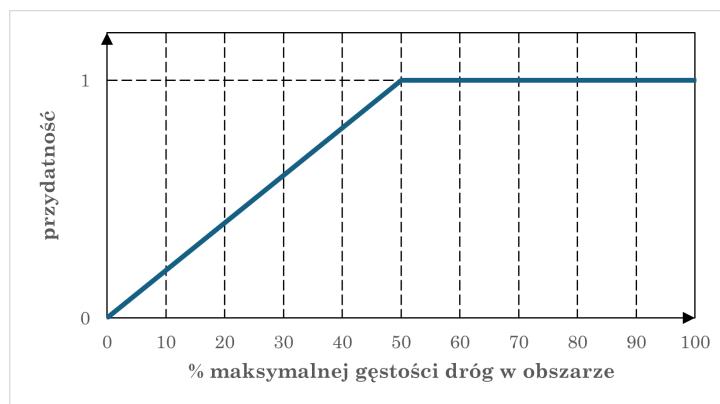
```
1 arcpy.management.CalculateStatistics(roads_density)
2 max_value = roads_density.maximum
```

Przy użyciu *Rescale By Function* zostaje dokonana reklasyfikacja zgodnie z funkcją liniową.

```
1 kryterium_4 = arcpy.sa.RescaleByFunction(
2     in_raster=roads_density,
3     transformation_function=f"LINEAR 0 {0.5 * max_value}",
4     from_scale=0,
5     to_scale=1
6 )
```

- wartości $\geq 50\%$ maksymalnej wartości otrzymują wartość członkostwa 1 (pełne spełnienie kryterium)
- wartości pomiędzy 0 a 50% otrzymują wartość członkostwa proporcjonalnie do ich odległości od 0

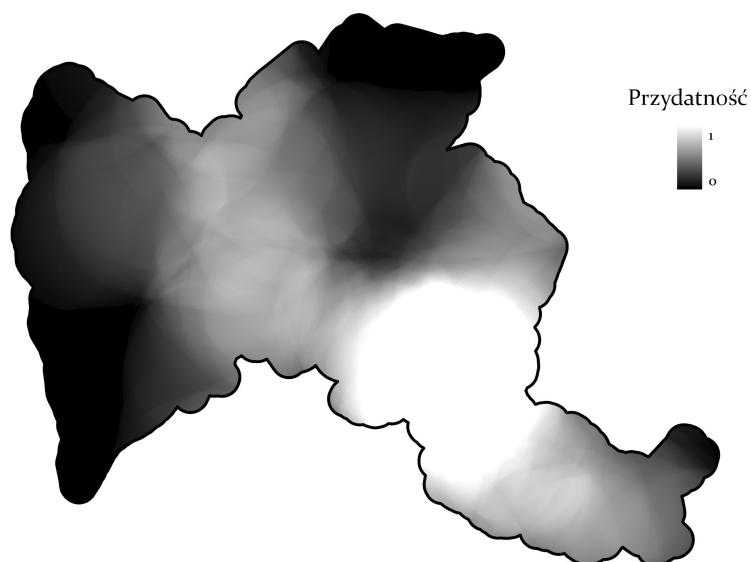
Reklasyfikacji dokonano zgodnie z funkcją przedstawioną poniżej.



Rysunek 13: Reklasyfikacja dla kryterium 4.

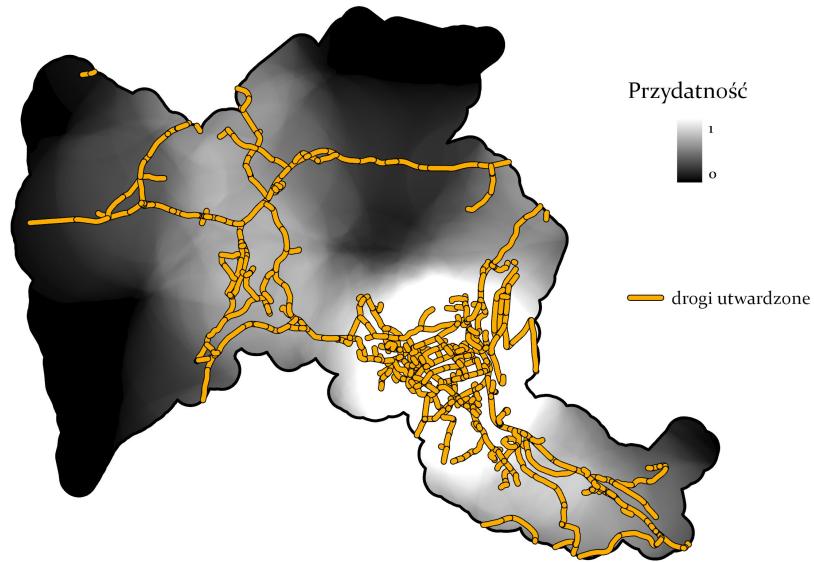
Wynikiem analizy dla kryterium czwartego była poniższa mapa.

Obszary nieprzydatne stanowią stosunkowo małą część obszaru, głównie w zachodniej i północno-wschodniej części terenu. Całkowicie przydatny jest teren oznaczony dużą białą plamą w środkowo-wschodniej części.



Rysunek 14: Mapa przydatności dla kryterium 4.

Poniżej zaprezentowano mapę przedstawiającą drogi utwardzone na tle utworzonej wyżej mapy.



Rysunek 15: Drogi utwardzone na tle mapy przydatności

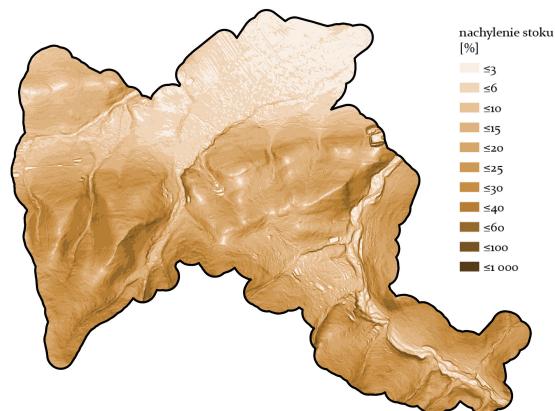
4.6 Kryterium 5: nachylenie stoków

W celu realizacji kryterium pobrano kafelki NMT dla obszaru gminy. Połączono je wcześniej z użyciem narzędzia *Mosaic To New Raster*.

```
1 nmt = f'{geobaza}\nmt'
```

Dla nowo powstałego rastra obliczono procentowe nachylenia stoków z użyciem narzędzia *Slope* z zestawu *3D Analyst*.

```
1 arcpy.dsd.Slope(nmt, "slope", "PERCENT_RISE", 1)
```



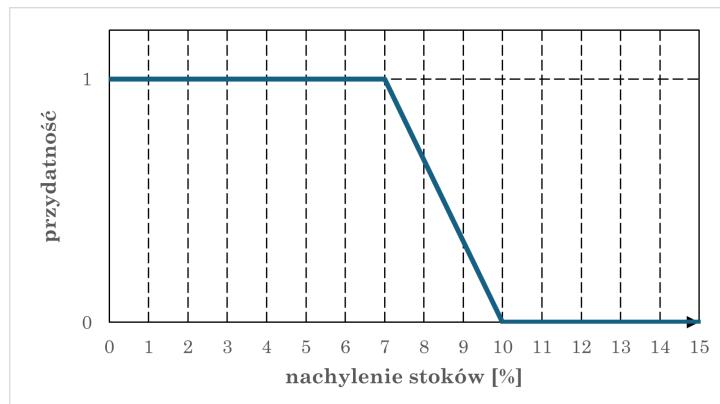
Rysunek 16: Mapa nachyleń stoków powstała z użyciem narzędzie *Slope*

Powstały raster zreklasyfikowano.

```
1 slope_map = arcpy.sa.FuzzyMembership("slope", fuzzy_function="LINEAR 10 7")
```

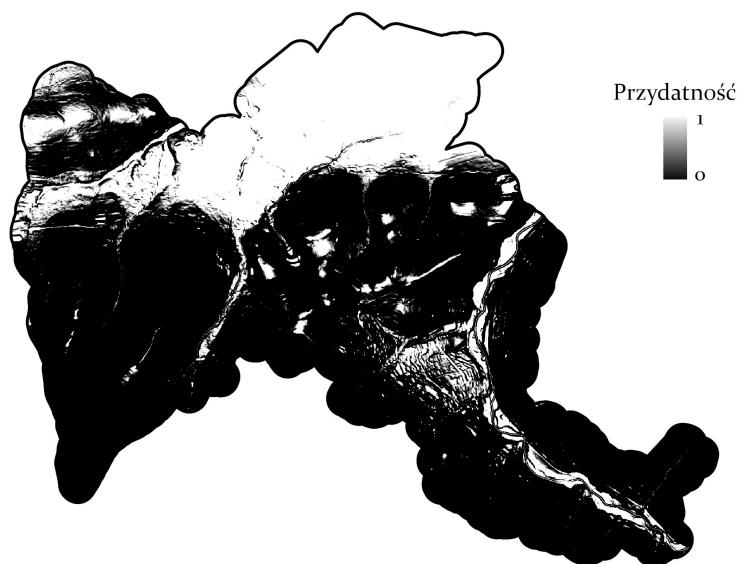
- wartości ≥ 10 otrzymują wartość członkostwa 0 (nie spełniają kryterium)
- wartości ≤ 7 otrzymują wartość członkostwa 1 (pełne spełnienie kryterium)
- wartości pomiędzy 7 a 10 otrzymują wartość członkostwa proporcjonalnie do ich odległości od 10

Reklasyfikacji dokonano zgodnie z funkcją przedstawioną poniżej.



Rysunek 17: Reklasyfikacja dla kryterium 5.

Wynikiem analizy dla kryterium piątego była poniższa mapa. Obszary przydatne to duża północna, północno-wschodnia część gminy. Reszta obszaru, z wyjątkiem niewielkich przydatnych enklaw, ma niekorzystne uwarunkowania w zakresie tego kryterium.



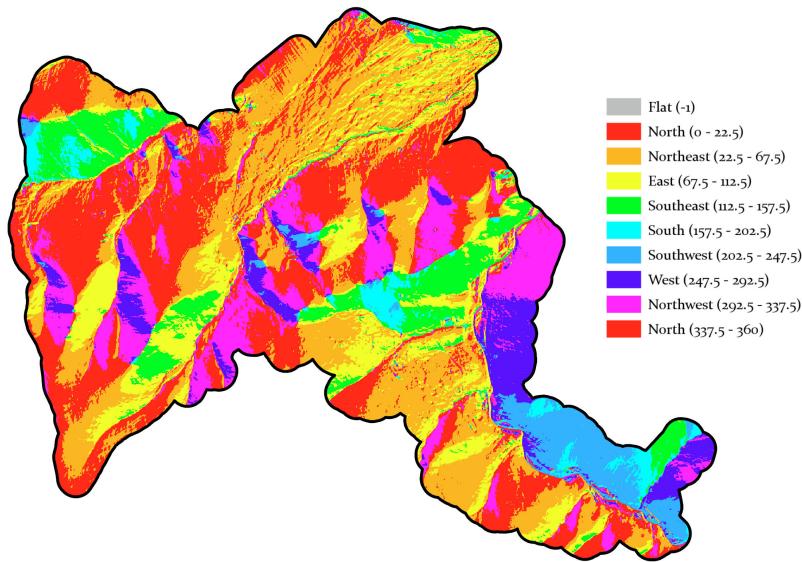
Rysunek 18: Mapa przydatności dla kryterium 5.

4.7 Kryterium 6: dostęp do światła słonecznego

Do kryterium szóstego również wykorzystano NMT, a także narzędzie *Aspect* z zestawu *3D Analyst*.

```
1 aspect = arcpy.ddd.Aspect(nmt)
```

Efektem działania funkcji był poniższy raster, przedstawiający, na którą stronę świata wystawiony jest stok.



Rysunek 19: Mapa przedstawiająca wystawę słoneczną w stopniach

Przydatne w kontekście projektu są stoki południowo-zachodnie, południowe i południowo-wschodnie. Stworzono więc dwie funkcje reklasyfikacyjne.

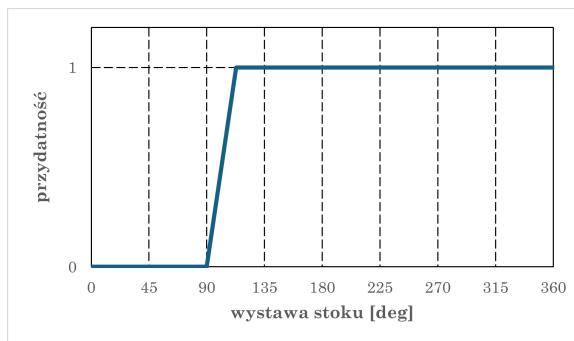
```
1 increasing_aspect = arcpy.sa.FuzzyMembership(aspect, fuzzy_function="LINEAR 90 113")
2 decreasing_aspect = arcpy.sa.FuzzyMembership(aspect, fuzzy_function="LINEAR 270 248")
```

Dla funkcji rosnącej:

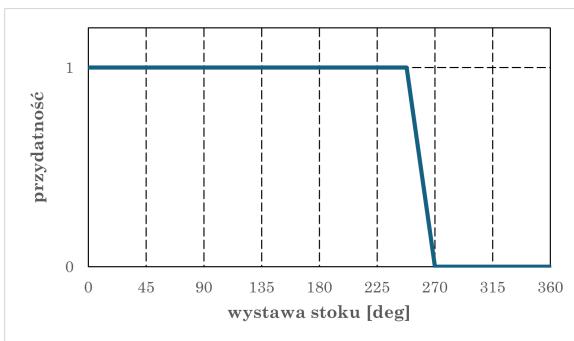
- wartości ≤ 90 otrzymują wartość członkostwa 0 (nie spełniają kryterium)
- wartości ≥ 113 otrzymują wartość członkostwa 1 (pełne spełnienie kryterium)
- wartości pomiędzy 90 a 113 otrzymują wartość członkostwa proporcjonalnie do ich odległości od 90

Dla funkcji malejącej:

- wartości ≥ 270 otrzymują wartość członkostwa 0 (nie spełniają kryterium)
- wartości ≤ 248 otrzymują wartość członkostwa 1 (pełne spełnienie kryterium)
- wartości pomiędzy 248 a 270 otrzymują wartość członkostwa proporcjonalnie do ich odległości od 270



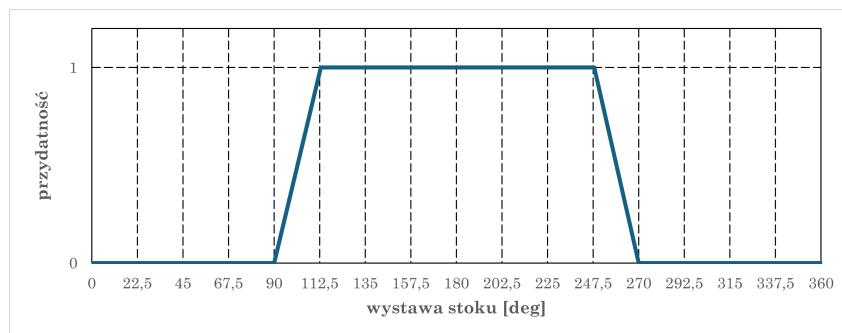
Rysunek 20: Funkcja rosnąca



Rysunek 21: Funkcja malejąca

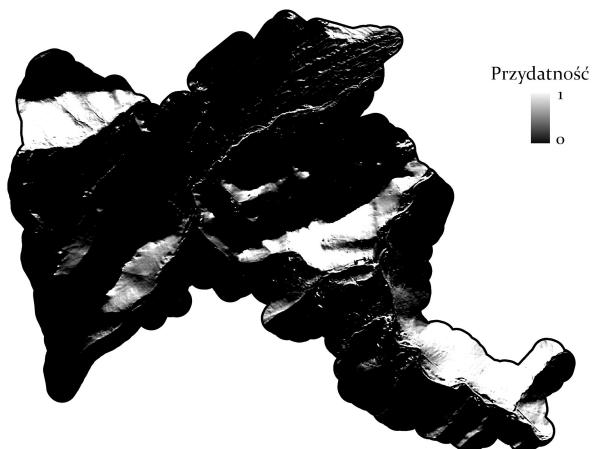
Ostateczny wynik kryterium szóstego uzyskano po połączeniu obu warstw utworzonych wcześniej przy użyciu logiki rozmytej. Wykorzystano do tego narzędzie *FuzzyOverlay*.

```
1 aspect_overlay = arcpy.sa.FuzzyOverlay([increasing_aspect, decreasing_aspect], 'AND')
```



Rysunek 22: Reklasyfikacja dla kryterium 6.

Kryterium wyłoniło tereny przydatne w północno-zachodniej, środkowej oraz południowo-wschodniej części obszaru. Znaczna część terenów charakteryzuje się niekorzystną wystawą słoneczną. Da się wyróżnić kilka płatów terenu o dobrych warunkach w różnych częściach gminy.

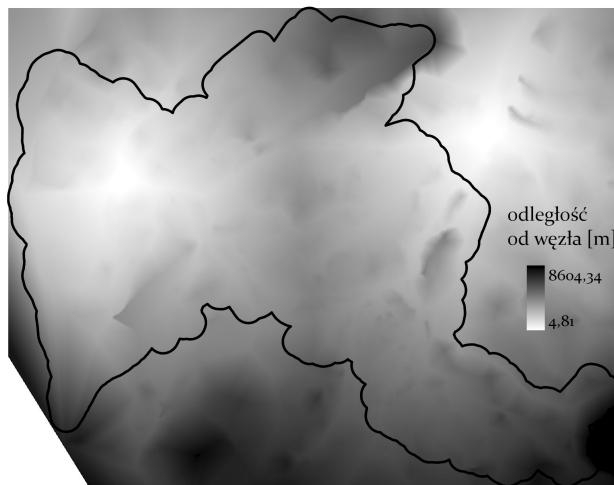


Rysunek 23: Mapa przydatności dla kryterium 6.

4.8 Kryterium 7: dojazd do istotnych drogowych węzłów komunikacyjnych

Warstwę wektorową zawierającą istotne drogowe węzły komunikacyjne utworzono manualnie na podstawie warstwy OT_SKDR_L z bazy BDOT10k. Przefiltrowano drogi, pozostawiając jedynie najważniejsze z nich - krajowe, wojewódzkie. Utworzono warstwę punktową, na której umieszczone kilka punktów w miejscach styku tych dróg. Następnie, korzystając z wtyczki *QNEAT3 - QGIS Network Analysis Toolbox 3* oraz dostępnego w niej algorytmu *Iso-Area as Interpolation (from Layer)*. Na podstawie sieci dróg, utworzyła ona raster zawierający dla każdej komórki odległość od węzła komunikacyjnego.

```
1 wezly = f'{geobaza}\wezly_raster'
```



Rysunek 24: Raster utworzony poprzez wtyczkę QGIS *QNEAT3*

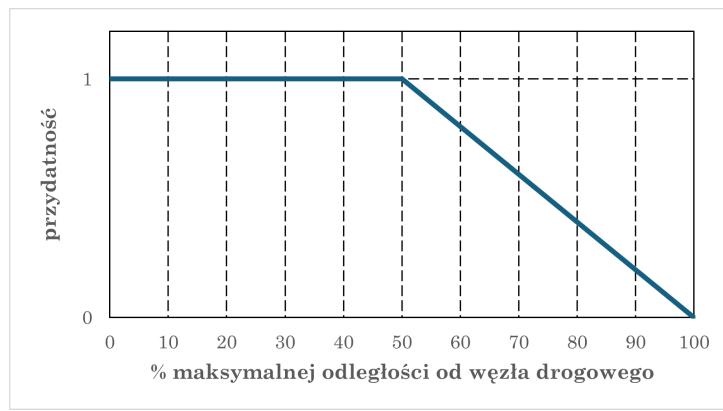
Dla powyższego rastra obliczono maksymalną odległość od węzła w celu wykorzystania wartości dla funkcji w fuzzy membership.

```
1 wezly_max = float(arcpy.management.GetRasterProperties(wezly, "MAXIMUM")[0].replace(',', '.'))
```

Sprawdzono członkostwo na podstawie funkcji liniowej.

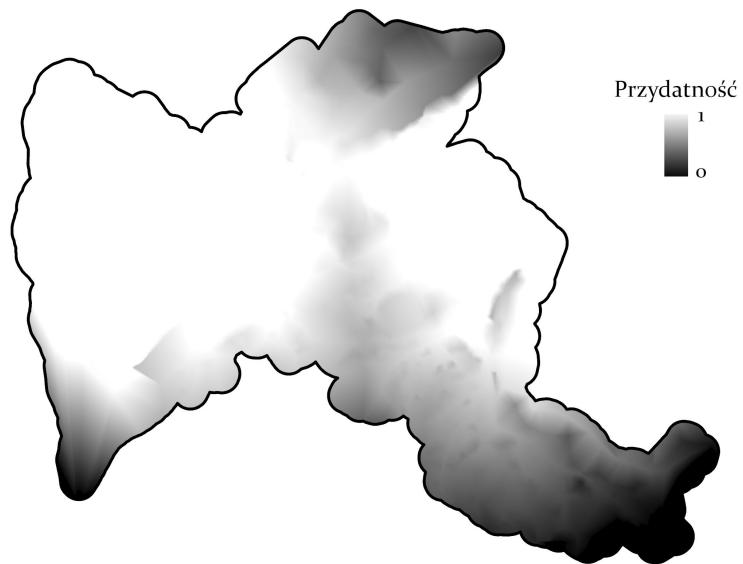
```
1 wezly_map = arcpy.sa.FuzzyMembership(wezly, fuzzy_function=f"LINEAR {wezly_max} {0.5 *"
    "wezly_max}")
```

- wartości \leq połowy maksymalnej odległości od węzła otrzymują wartość członkostwa 1 (pełne spełnienie kryterium)
- wartości pomiędzy maksymalną odlegością od węzła a połową maksymalnej odległości od węzła otrzymują wartość członkostwa proporcjonalnie do ich odległości od maksymalnej odległości od węzła



Rysunek 25: Reklasyfikacja dla kryterium 7.

Tereny w centralnej części rastra okazały się być najbardziej przydatne. Skraje najbardziej na południe oraz północny wschód mają najniższą przydatność.



Rysunek 26: Mapa przydatności dla kryterium 7.

4.9 Ocena przydatności terenu

Poniższy kod najpierw tworzy tabelę zawierającą wagę dla każdego z kryteriów, zmienne w zależności od wariantu.

```
1 tabela_kryteriow = arcpy.sa.WSTable([[f'{geobaza}\kryterium_1', "VALUE", waga_woda],
   ← [f'{geobaza}\kryterium_2', "VALUE", waga_budynki], [f'{geobaza}\kryterium_3',
   ← "VALUE", waga_lasy], [f'{geobaza}\kryterium_4', "VALUE", waga_drogi],
   ← [f'{geobaza}\kryterium_5', "VALUE", waga_wysokosc], [f'{geobaza}\kryterium_6',
   ← "VALUE", waga_aspect], [f'{geobaza}\kryterium_7', "VALUE", waga_wezly]])
```

Następnie tworzy sumę ważoną wszystkich z kryteriów.

```
1 weighted_sum = arcpy.sa.WeightedSum(tabela_kryteriow)
```

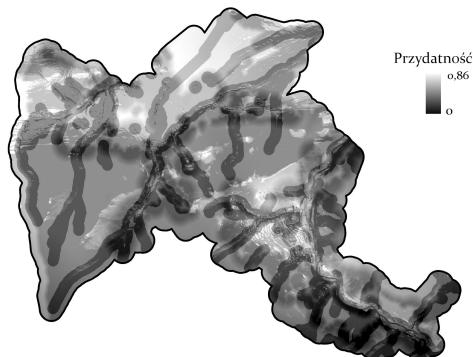
Od teraz do końca sekcji przedstawiane będą podwójne wyniki - pierwszy wynik będzie dla przypadku, gdzie dla każdego kryterium przyjęto tę samą wagę, a drugi dla przypadku, gdzie wagi są różne. Poniżej przedstawiono przyjęte wagi w obu podejściach.

Kryterium	Waga
1 (odległość od rzek i zbiorników wodnych)	0.142857
2 (odległość od budynków mieszkalnych)	0.142857
3 (pokrycie terenu)	0.142857
4 (dostęp do dróg utwardzonych)	0.142857
5 (nachylenie stoków)	0.142857
6 (dostęp światła słonecznego)	0.142857
7 (dobry dojazd do istotnych węzłów komunikacyjnych)	0.142857

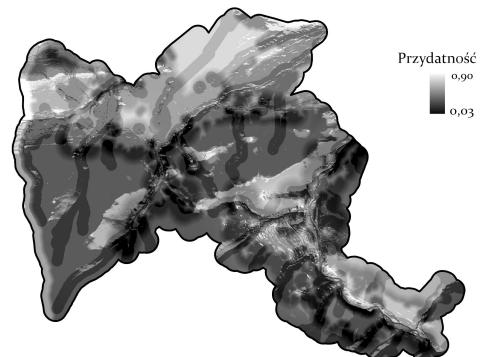
Tabela 2: Tabela z równymi wagami dla kryteriów

Kryterium	Waga
1 (odległość od rzek i zbiorników wodnych)	0.10
2 (odległość od budynków mieszkalnych)	0.15
3 (pokrycie terenu)	0.20
4 (dostęp do dróg utwardzonych)	0.10
5 (nachylenie stoków)	0.15
6 (dostęp światła słonecznego)	0.25
7 (dobry dojazd do istotnych węzłów komunikacyjnych)	0.05

Tabela 3: Tabela z różnymi wagami dla kryteriów



Rysunek 27: Suma kryteriów rozmytych - wagi równe

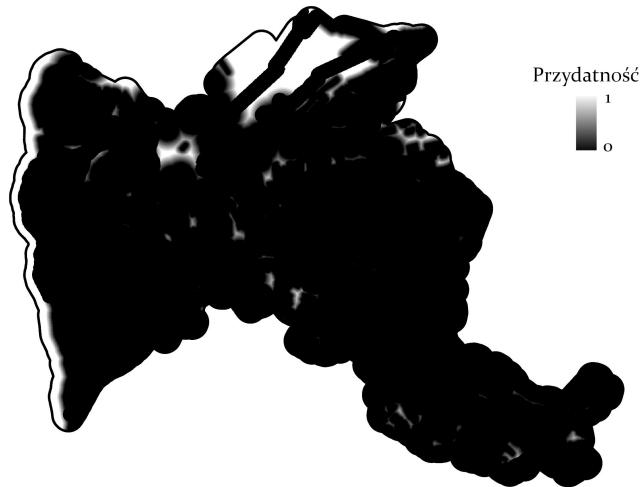


Rysunek 28: Suma kryteriów rozmytych - wagi różne

Później brane są pod uwagę kryteria ostre, tj. 100-metrowa strefa ochronna od wód, 150-metrowa odległość od budynków mieszkalnych oraz 15-metrowa odległość od lasów. W funkcji *FuzzyOverlay* wybrano

parametr *AND*, dzięki czemu zostaje utworzony raster, który przyjmuje najniższą możliwą wartość dla komórki.

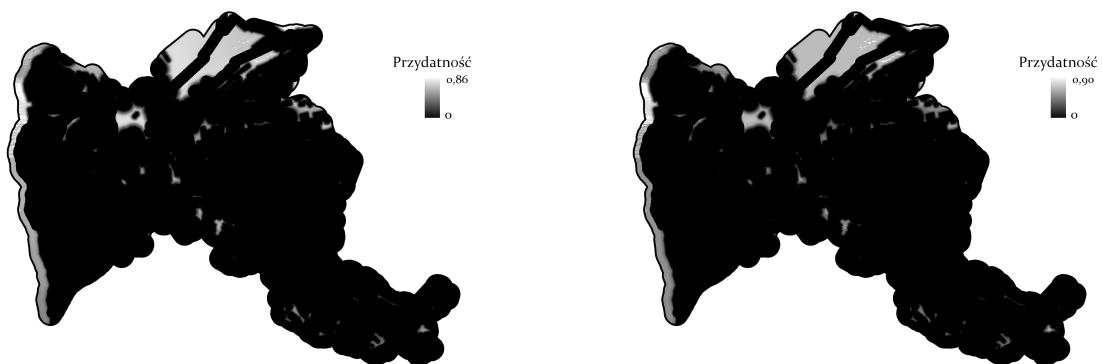
```
1 kryteria_ostre = arcpy.sa.FuzzyOverlay([increasing_water, f"{geobaza}\\kryterium_2",
    ↳   f"{geobaza}\\kryterium_3"], 'AND')
```



Rysunek 29: Suma kryteriów ostrych

Następnie zostaje utworzony iloczyn kryteriów ostrych i rozmytych. W ten sposób eliminowane z dalszych analiz są komórki wykluczone przez któreś z kryteriów ostrych.

```
1 kryteria_polaczone = arcpy.sa.FuzzyOverlay([kryteria_ostre, weighted_sum], 'AND')
```



Rysunek 30: Wynik łączenia kryteriów ostrych i rozmytych - wagi równe

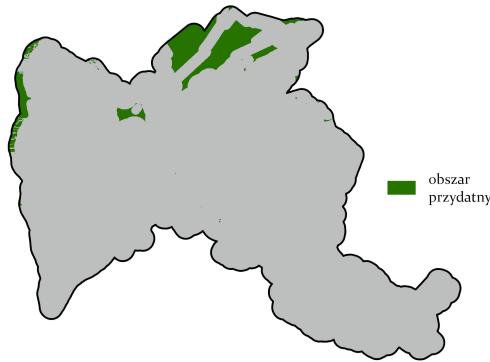
Rysunek 31: Wynik łączenia kryteriów ostrych i rozmytych - wagi różne

Przed reklasyfikacją, obliczana jest maksymalna przydatność na obszarze.

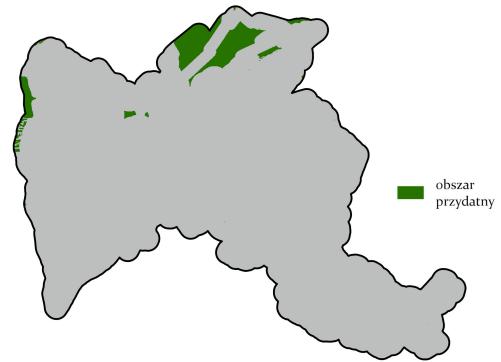
```
1 arcpy.management.CalculateStatistics(kryteria_polaczone)
2 max_przydatnosc = kryteria_polaczone.maximum
```

Utworzony przez połączenie kryteriów ostrych i rozmytych raster reklasyfikujemy, przyporządkowując komórkom o przydatności powyżej określonego progu przydatności wartość 1, a pozostałym komórkom - wartość 0.

```
1 wynik_reclassified = arcpy.sa.Reclassify(kryteria_polaczone, "VALUE",
    ↪ arcpy.sa.RemapRange([[0, prog_przydatnosci * max_przydatnosc, 0], [prog_przydatnosci *
    ↪ max_przydatnosc, 1, 1]]))
```



Rysunek 32: Wynik łączenia kryteriów ostrych i rozmytych po reklasyfikacji - wagie równe



Rysunek 33: Wynik łączenia kryteriów ostrych i rozmytych po reklasyfikacji - wagie różne

4.10 Wybór przydatnych działek

W pierwszym kroku w tym etapie zamieniamy rastrową warstwę z przydatnością terenu na warstwę poligonową.

```
1 arcpy.conversion.RasterToPolygon(f'{geobaza}\{wariant}_wynik_reclassified',
    ↵ 'poligon_przydatnosci', "NO_SIMPLIFY", "VALUE")
```

Aby wybrać jedynie te poligony, które są terenami przydatnymi, korzystam z narzędzia *Select Layer By Attribute*, wybierając obiekty o wartości 1 w polu *gridcode*.

```
1 arcpy.management.MakeFeatureLayer('poligon_przydatnosci', "poligon_przydatnosci_layer")
2 arcpy.management.SelectLayerByAttribute("poligon_przydatnosci_layer", "NEW_SELECTION",
    ↵ "gridcode = 1")
```

W kolejnym kroku należało wykorzystać już warstwę z działkami. Warstwę działek pobrano poprzez usługę WFS odpowiedniej ewidencji gruntów i budynków.

```
1 dzialki = f'{geobaza}\dzialki'
```

Następnie z użyciem funkcji *Summarize Within*, dla każdej działki jest liczona powierzchnia, jaką stanowią dla niej poligony przydatne.

```
1 arcpy.analysis.SummarizeWithin(
2     in_polygons=dzialki,
3     in_sum_features=f'{geobaza}\{wariant}_poligon_przydatnosci',
4     out_feature_class=f'{geobaza}\{wariant}_summarized_within',
5     keep_all_polygons="ONLY_INTERSECTING",
6     shape_unit="SQUAREMETERS",
7     add_group_percent="NO_PERCENT",
8 )
```

Dla każdej działki liczone jest pole *pow_przyd* informujące o tym, jaki procent działki stanowi teren przydatny, na podstawie pola *sum_Area_squaremeters* utworzonego w poprzednim kroku. Wykorzystano do tego narzędzie *Calculate Field*.

```
1 arcpy.management.CalculateField(
2     in_table=f'{geobaza}\{wariant}_summarized_within',
3     field="pow_przyd",
4     expression="100*!sum_Area_squaremeters!/!Shape_Area!",
5     expression_type="PYTHON3",
6     code_block="",
7     field_type="FLOAT"
8 )
```

Utworzono pole jest wykorzystane w narzędziu *Select Layer By Attribute*, gdzie wybierane są działki o procentowej powierzchni przydatnej wyższej od określonego progu.

```
1 dzialki_przydatne_powyzej_progu =
    ↵ arcpy.management.SelectLayerByAttribute(f'{geobaza}\{wariant}_summarized_within',
    ↵ "NEW_SELECTION", f"pow_przyd > {prog_przydatnosci}")
2 arcpy.management.CopyFeatures(dzialki_przydatne_powyzej_progu,
    ↵ f'{geobaza}\{wariant}_dzialki_przydatne_powyzej')
```

Zgodnie z założeniami projektu, przydatne działki, które ze sobą sąsiadują, są łączone w jedną grupę przy użyciu narzędzi *Dissolve*.

```

1 arcpy.management.Dissolve(
2     in_features=f"{geobaza}\\"{wariant}_dzialki_przydatne_powyzej",
3     out_feature_class=f"{geobaza}\\"{wariant}_dzialki_przydatne_powyzej_dissolve",
4     multi_part="SINGLE_PART",
5     unsplit_lines="DISSOLVE_LINES",
6     concatenation_separator=""
7 )

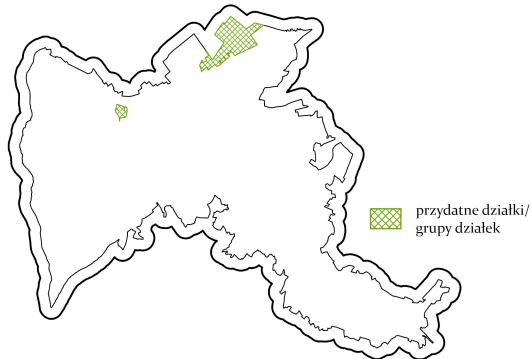
```

W ostatnim kroku wybierane są działki lub grupy działek o łącznej powierzchni powyżej 2ha (20 000 m²).

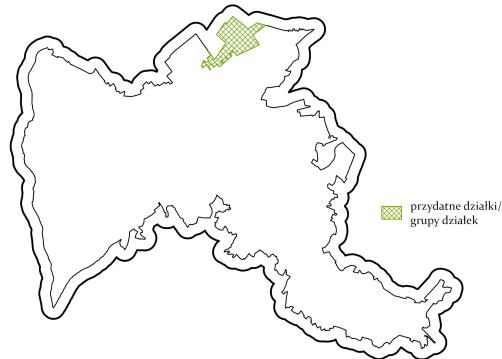
```

1 arcpy.management.MakeFeatureLayer(f"{geobaza}\\"{wariant}_dzialki_przydatne_powyzej_dissolve",
2     f'{geobaza}\\"{wariant}_dzialki_przydatne_powyzej_dissolve_layer")
3 arcpy.management.SelectLayerByAttribute(f'{geobaza}\\"{wariant}_dzialki_przydatne_powyzej_dissolve_layer",
4     "NEW_SELECTION", "Shape_Area >= 20000")
5 arcpy.management.CopyFeatures(f'{geobaza}\\"{wariant}_dzialki_przydatne_powyzej_dissolve_layer",
6     f'{geobaza}\\"{wariant}_grupy_dzialek_przydatne_powyzej_{prog_przydatnosci}')

```



Rysunek 34: Mapa przedstawiająca przydatne grupy działek - wagi równe



Rysunek 35: Mapa przedstawiająca przydatną grupę działek - wagi różne



Rysunek 36: Mapa przedstawiająca przydatne grupy działek na ortofotomapie - wagi równe



Rysunek 37: Mapa przedstawiająca przydatną grupę działek na ortofotomapie - wagi różne

4.11 Koszt przyłącza do sieci SN

Przed rozpoczęciem analiz należało stworzyć tzw. mapę kosztów względnych(jednostkowych), która przedstawia faktyczną lub umowną wartość kosztu zbudowania przyłącza przez dany obszar. Dla mapy kosztów względnych w postaci rastrowej, jest to wzgledny koszt budowy przyłącza na obszarze o powierzchni odpowiadającej rozmiarowi piksela. W ćwiczeniu przyjęto, że koszt = 1 jest odniesiony do

obszarów rolniczych. Koszty względne dla innych obszarów są obliczane jako wielokrotność kosztów dla terenów rolniczych. Przypisane koszty dla wszystkich kategorii użytkowania terenu dla doprowadzenia do farmy przyłącza przedstawia tabela.

Kod klasy obiektów BDOT	Nazwa klasy obiektów BDOT	X_kod	Typ obiektu	Koszt względny
PTWP	woda powierzchniowa	PTWP01	woda morska	0 → NoData
		PTWP02	woda płynąca	200
		PTWP03	woda stojąca	0 → NoData
PTZB	zabudowa	PTZB02	jednorodzinna	100
		PTZB01	wielorodzinna	200
		PTZB05	pozostała zabudowa	50
		PTZB04	handlowo-usługowa	200
		PTZB03	przemysłowo-składowa	200
PTLZ	teren leśny i zadrzewiony	PTLZ01	las	100
		PTLZ02	zagajnik	50
		PTLZ03	zadrzewienie	50
PTRK	roślinność krzewista	PTRK01	kępy krzewów	20
		PTRK02	krzewy	15
PTUT	uprawa trwała	PTUT03	sad	100
		PTUT02	plantacja	90
		PTUT04, PTUT05	inne	20
		PTUT01	ogrod działkowy	0 → NoData
PTTR	roślinność trawiasta i uprawa rolna	PTTR02	grunt orny	1
		PTTR01	roślinność trawiasta	20
PTKM	teren pod drogami kołowymi, szynowymi i lotniskowymi	PTKM02	torowisko	200
		PTKM01	droga kołowa	200
		PTKM03	teren pod drogą kołową i torowiskiem	200
		PTKM04	teren pod drogą lotniskową	0 → NoData
PTGN	grunt nieużytkowany	PTGN01, PTGN02, PTGN03, PTGN04	-	1
PTPL	plac	PTPL01	-	50
PTSO	składowisko odpadów	PTSO01, PTSO02	-	0 → NoData
PTWZ	wyrobisko i zwałowisko	PTWZ01, PTWZ02	-	0 → NoData
PTNZ	pozostały teren niezabudowany	PTNZ01, PTNZ02	-	150

Tabela 4: Tabela kosztów względnych dla różnych typów obiektów BDOT.

Aby uzyskać jedną warstwę z informacją o pokryciu terenu i móc podporządkować każdemu z nich odpowiedni koszt, połączono wszystkie warstwy pokrycia terenu z BDOT10k.

```
1 pt_merged = f'{geobaza}\PT_merged'
```

W powstałej warstwie utworzono pole *cost* i przyporządkowano mu odpowiednią wartość w zależności od typu obiektu. Wykorzystano do tego atrybut *x_kod*, który znajdował się w każdej z warstw i jednoznacznie identyfikował typ pokrycia terenu.

```
1 pt_merged_layer = "pt_merged_layer"
2 arcpy.management.MakeFeatureLayer(pt_merged, pt_merged_layer)
3 arcpy.management.AddField(pt_merged_layer, "cost", "FLOAT")
4 arcpy.management.CalculateField(
5     in_table=pt_merged_layer,
6     field="cost",
7     expression="costs.get(!x_kod!, 0)",
8     expression_type="PYTHON3",
9     code_block="""costs = {
10     "PTWP01": 0,
11     "PTWP02": 200,
12     "PTWP03": 0,
13     "PTZB02": 100,
14     "PTZB01": 200,
15     "PTZB05": 50,
16     "PTZB04": 200,
17     "PTZB03": 200,
18     "PTLZ01": 100,
19     "PTLZ02": 50,
20     "PTLZ03": 50,
21     "PTRK01": 15,
22     "PTRK02": 15,
23     "PTUT03": 100,
24     "PTUT02": 90,
25     "PTUT04": 20,
26     "PTUT05": 20,
27     "PTUT01": 0,
28     "PTTR02": 1,
29     "PTTR01": 20,
30     "PTKM02": 200,
31     "PTKM01": 100,
32     "PTKM03": 200,
33     "PTKM04": 0,
34     "PTGN01": 1,
35     "PTGN02": 1,
36     "PTGN03": 1,
37     "PTGN04": 1,
38     "PTPL01": 50,
39     "PTS001": 0,
40     "PTS002": 0,
41     "PTWZ01": 0,
42     "PTWZ02": 0,
43     "PTNZ01": 150,
44     "PTNZ02": 150
45     }"""
46 )
```

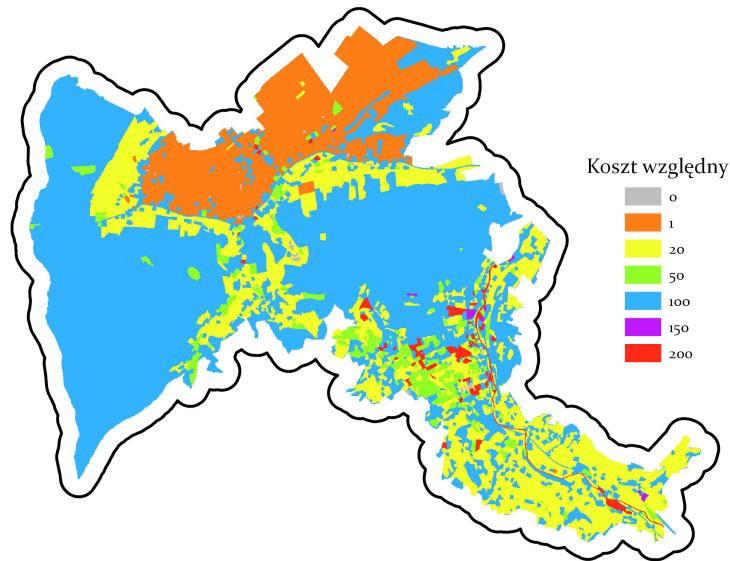
Warstwę poligonalną z przyporządkowanymi kosztami zamieniono na raster funkcją *Polygon To Raster*.

```
1 out_cost = arcpy.conversion.PolygonToRaster(
2     in_features=pt_merged_layer,
```

```

3     value_field="cost",
4     out_rasterdataset=f"{geobaza}\\"{wariant}_cost_raster",
5     cell_assignment="CELL_CENTER",
6     cellsize=5
7 )

```



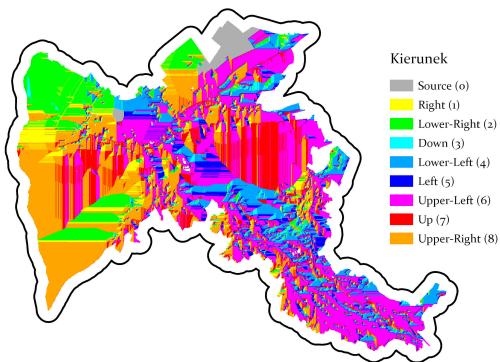
Rysunek 38: Mapa kosztów względnych

Wykorzystując funkcję *Cost Distance* utworzono mapę kosztów skumulowanych (cost map) oraz mapę kierunków (backlink raster).

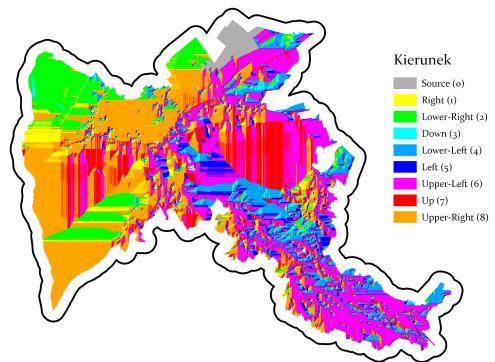
```

1  out_distance = arcpy.sa.CostDistance(
2      in_source_data=f"{geobaza}\\"{wariant}_dzialki_przydatne_powyzej_{prog_przydatnosci}",
3      in_cost_raster=f"{geobaza}\\"{wariant}_cost_raster",
4      maximum_distance=None,
5      out_backlink_raster=f"{geobaza}\\"{wariant}_cost_backlink",
6      source_cost_multiplier=None,
7      source_start_cost=None,
8      source_resistance_rate=None,
9      source_capacity=None,
10     source_direction=""
11   )
12 out_distance.save(f"{geobaza}\\"{wariant}_cost_distance")

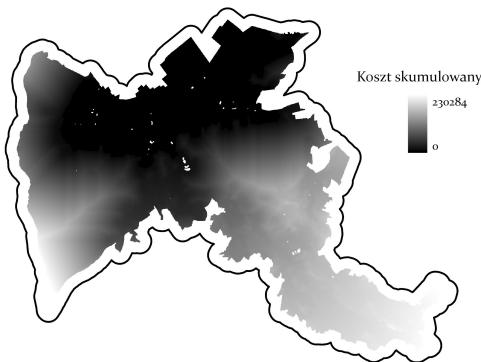
```



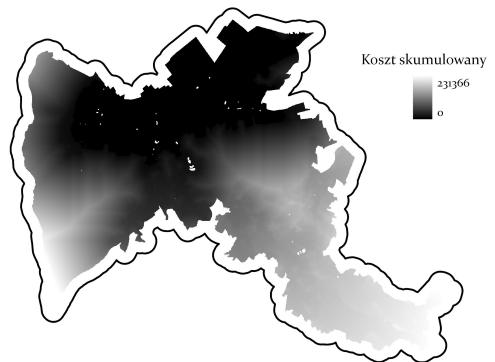
Rysunek 39: Mapa kierunków (backlink) - równe wagи



Rysunek 40: Mapa kierunków (backlink) - różne wagи



Rysunek 41: Mapa kosztów skumulowanych - równe wagи



Rysunek 42: Mapa kosztów skumulowanych - różne wagи

Powyższe rastery wykorzystano w narzędziu *Cost Path* i utworzono ścieżkę przyłącza do linii elektroenergetycznej o najniższym koszcie. Warstwę zawierającą istniejące linie pobrano z bazy BDOT10k (OT_SULN_L).

```

1 linie_elektroenergetyczne = arcpy.management.Merge([f'{geobaza}\\SULN_L_0210',
    ↪ f'{geobaza}\\SULN_L_0212'], 'linie_elektroenergetyczne')
2
3 out_path = arcpy.sa.CostPath(
4     in_destination_data=linie_elektroenergetyczne,
5     in_cost_distance_raster=f'{geobaza}\\{wariant}_cost_distance',
6     in_cost_backlink_raster=f'{geobaza}\\{wariant}_cost_backlink',
7     path_type="BEST_SINGLE",
8     force_flow_direction_convention="INPUT_RANGE"
9 )
10 out_path.save(f'{geobaza}\\{wariant}_cost_path')
```

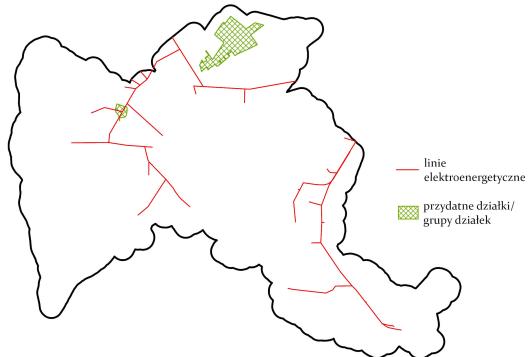
Dokonano konwersji ścieżki z postaci rastrowej na postać wektorową narzędziem *Raster to Polyline*.

```

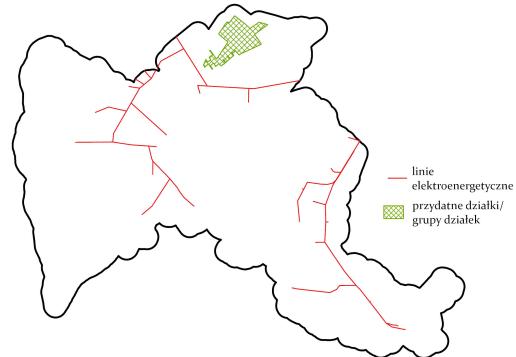
1 path_vector = arcpy.conversion.RasterToPolyline(in_raster=out_path,
    ↪ out_polyline_features=f'{geobaza}\\{wariant}_cost_path_vector')
```

W przypadku wersji z równymi wagami, linia elektroenergetyczna przechodzi przez jedną z wytypowanych

grup działek. W związku z tym żadna ścieżka przyłącza nie została utworzona.

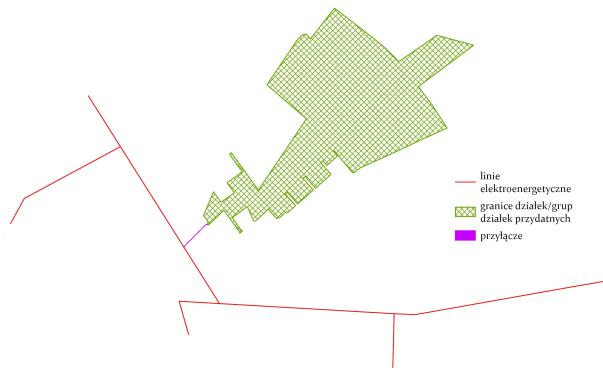


Rysunek 43: Mapa przedstawiająca przydatne grupy działek oraz linie elektroenergetyczne - równe wagи

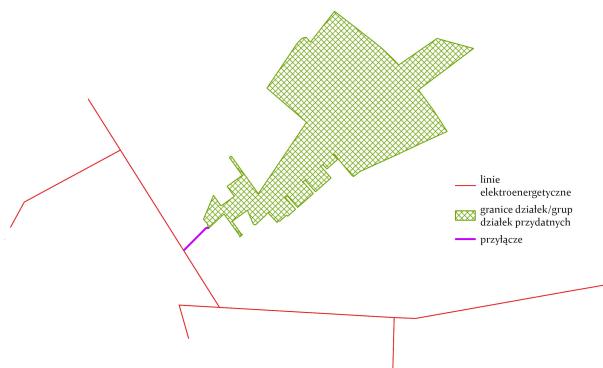


Rysunek 44: Mapa przedstawiająca przydatną grupę działek oraz linie elektroenergetyczne - różne wagи

Poniżej znajduje się wersja przyłącza utworzona dla wersji z różnymi wagami dla kryteriów.

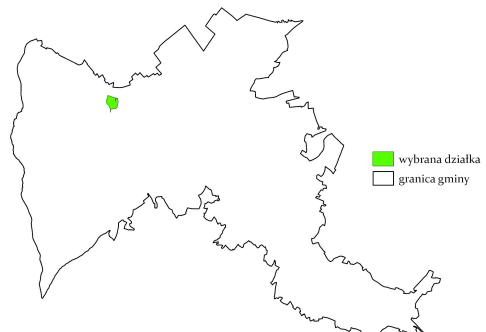


Rysunek 45: Mapa przedstawiająca utworzoną ścieżkę w postaci rastrowej - różne wagи

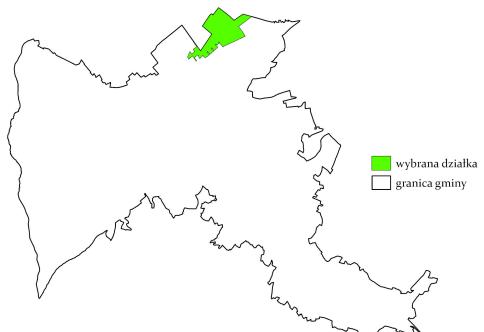


Rysunek 46: Mapa przedstawiająca utworzoną ścieżkę w postaci wektorowej - różne wagи

Ostatecznie wybrano działkę przydatną o najmniejszym koszcie przyłącza.



Rysunek 47: Mapa przedstawiająca wybraną grupę działek - równe wagi

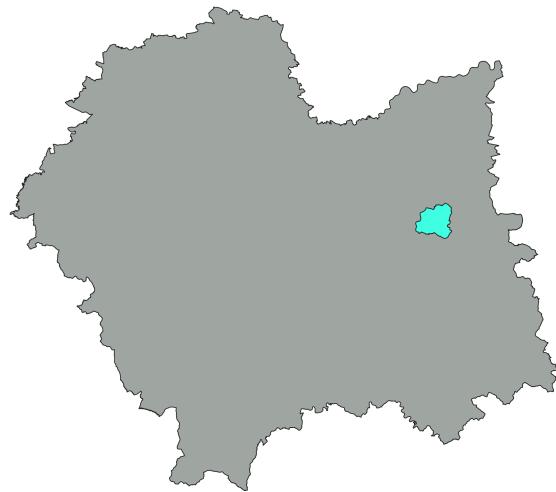


Rysunek 48: Mapa przedstawiająca wybraną grupę działek - różne wagi

5 Test modelu na danych z innego obszaru

5.1 Opis obszaru

Stworzony model należało przetestować na innym obszarze. Wybrano do tego celu gminę Pleśna - wiejską gminę w powiecie tarnowskim w województwie małopolskim.



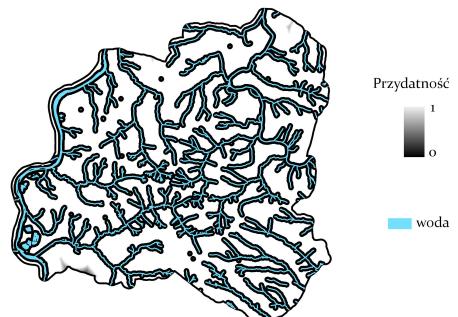
Rysunek 49: Położenie gminy Pleśna na mapie województwa małopolskiego

5.2 Kryterium 1: odległość od rzek i zbiorników wodnych

W gminie występuje duża gęstość rzek i zbiorników wodnych, lecz ze względu na łagodnie postawione granice dla tego kryterium, duża część obszaru gminy cechuje się dużą przydatnością.



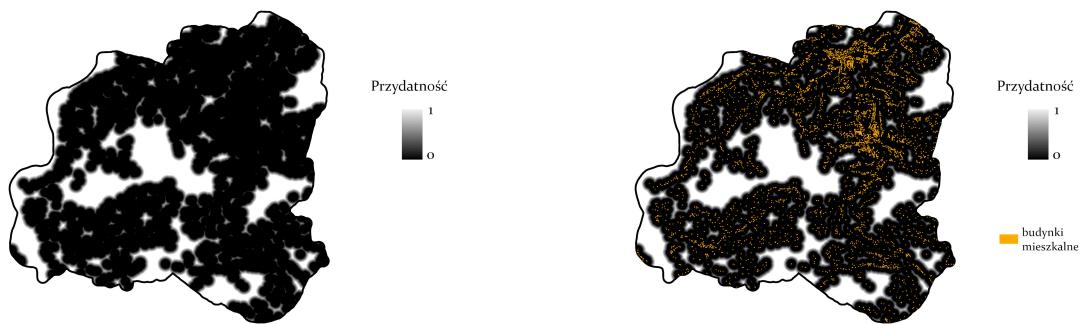
Rysunek 50: Mapa przydatności dla kryterium 1.



Rysunek 51: Rzeki oraz wody powierzchniowe na tle mapy przydatności

5.3 Kryterium 2: odległość od budynków mieszkalnych

Jak widać poniżej, w gminie znajduje się wiele budynków mieszkalnych, rozmieszczonych mniej więcej równomiernie po całym jej obszarze. Duża część terenu zostaje na tym etapie wyeliminowana ze względu na obecność kryterium ostrego, mówiącego o zachowaniu odległości powyżej 150 metrów od budynków mieszkalnych.

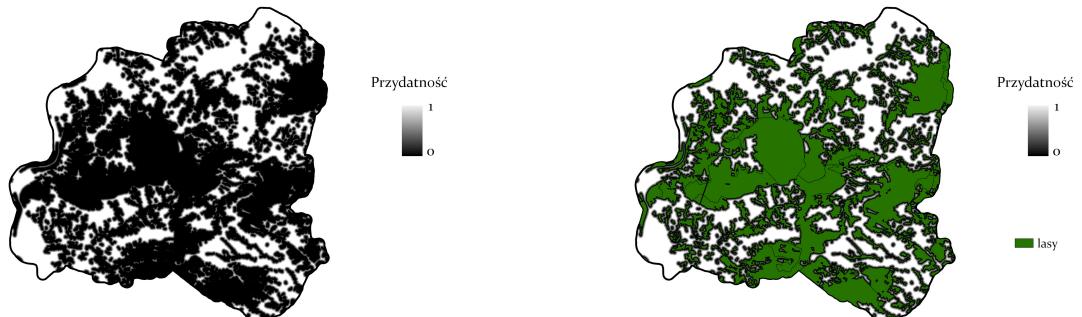


Rysunek 52: Mapa przydatności dla kryterium 2.

Rysunek 53: Budynki mieszkalne na tle mapy przydatności

5.4 Kryterium 3: pokrycie terenu

Duża część obszaru, która dla kryterium 2. przyjęła dużą przydatność, zostaje całkowicie wyeliminowana ze względu na istnienie tam terenów leśnych.

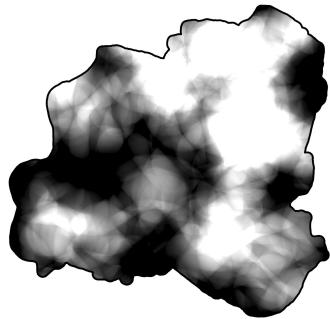


Rysunek 54: Mapa przydatności dla kryterium 3.

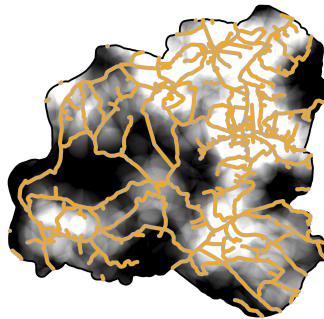
Rysunek 55: Obszary leśne na tle mapy przydatności

5.5 Kryterium 4: dostęp do dróg utwardzonych

Stosunkowo duża część obszaru, w porównaniu do poprzednich kryteriów, cechuje się dużą przydatnością dla tego kryterium.



Przydatność
1
0



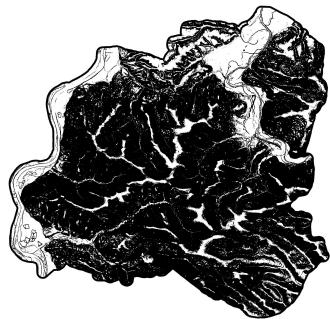
Przydatność
1
0
drogi utwardzone

Rysunek 56: Mapa przydatności dla kryterium 4.

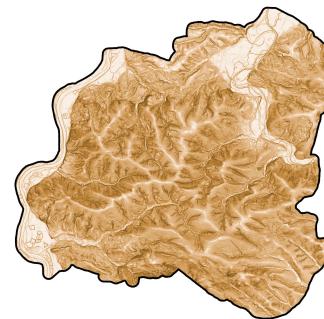
Rysunek 57: Drogi utwardzone na tle mapy przydatności

5.6 Kryterium 5: nachylenie stoków

Gmina ta również jest gminą o stosunkowo dużych nachyleniach stoków. Lecz istnieją w niej również tereny o niższych nachyleniach: większe na zachodzie i północnym wschodzie oraz węższe w głębi gminy.



Przydatność
1
0



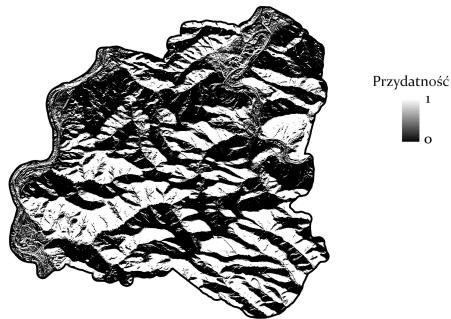
nachylenie stoku [%]
≤3
≤6
≤10
≤15
≤20
≤25
≤30
≤40
≤60
≤100
≤1 000

Rysunek 58: Mapa przydatności dla kryterium 5.

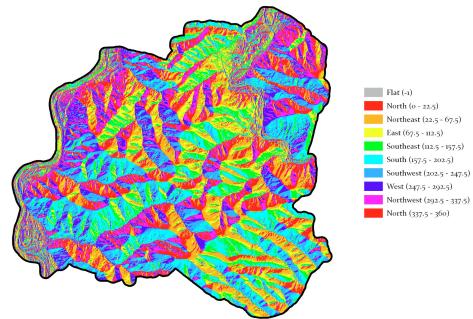
Rysunek 59: Mapa nachyleni stoków utworzona podczas sprawdzania kryterium 5.

5.7 Kryterium 6: dostęp do światła słonecznego

Pod względem tego kryterium gmina wydaje się w dużej części stosunkowo korzystnie uwarunkowana.

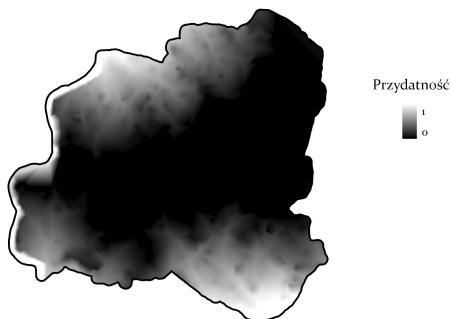


Rysunek 60: Mapa przydatności dla kryterium 6.

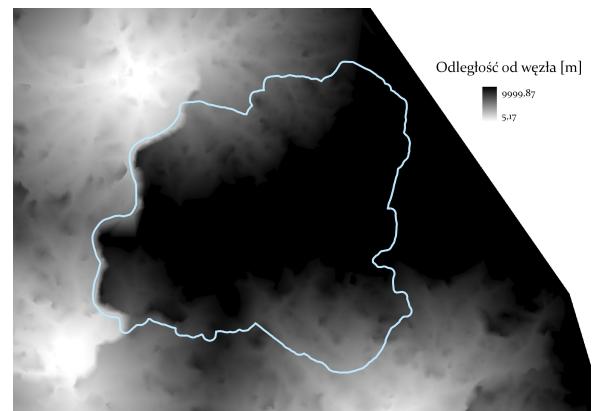


Rysunek 61: Mapa wystawy słonecznej utworzona podczas sprawdzania kryterium 6.

5.8 Kryterium 7: dojazd do istotnych drogowych węzłów komunikacyjnych

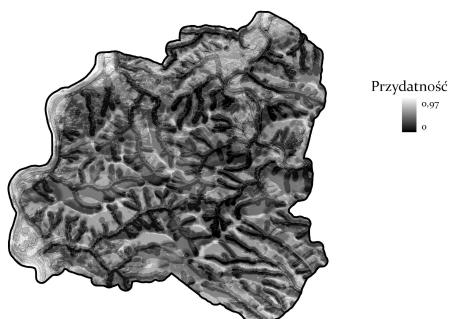


Rysunek 62: Mapa przydatności dla kryterium 7.

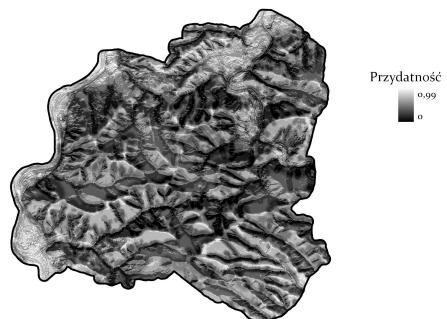


Rysunek 63: Mapa odległości od węzłów

5.9 Ocena przydatności terenu



Rysunek 64: Suma kryteriów rozmytych - wagi równe

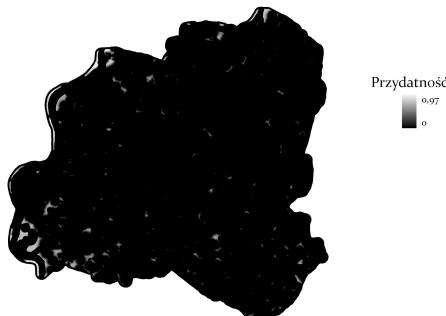


Rysunek 65: Suma kryteriów rozmytych - wagi różne

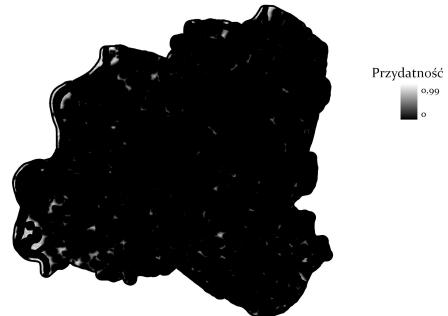
Ogromna część obszaru gminy jest zupełnie nieprzydatna pod inwestycję ze względu na bliskość budynków mieszkalnych, lasów czy wody. Czynniki te wzajemnie uzupełniają teren i jeżeli na terenie nie ma budynków mieszkalnych, to istnieje tam las, albo przepływa rzeka. W wyniku tego niemal cała gmina jest na poniższej mapie czarną plamą oznaczającą zerową przydatność.



Rysunek 66: Suma kryteriów ostrych

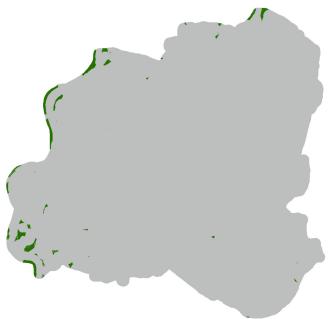


Rysunek 67: Wynik łączenia kryteriów ostrych i rozmytych - wagi równe

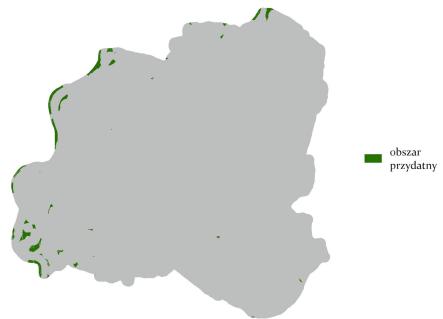


Rysunek 68: Wynik łączenia kryteriów ostrych i rozmytych - wagi różne

Niewielkie obszary przydatne, jakie pozostały po połączeniu kryteriów, znajdują się głównie w zachodniej części gminy Pleśna.



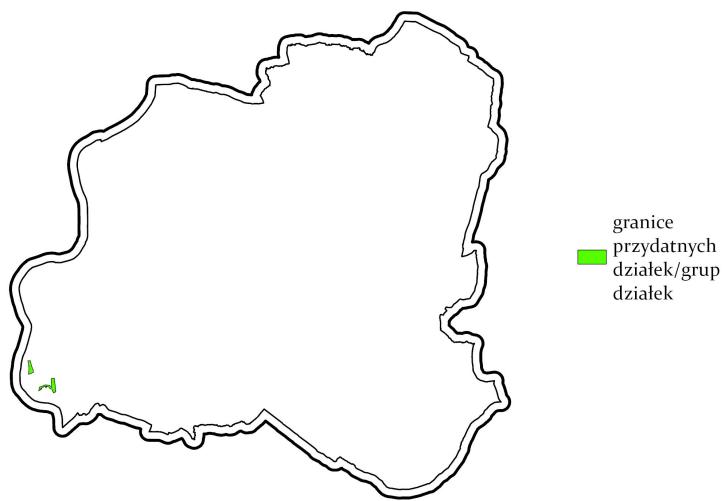
Rysunek 69: Wynik łączenia kryteriów ostrych i rozmytych po reklasyfikacji - wagi równe



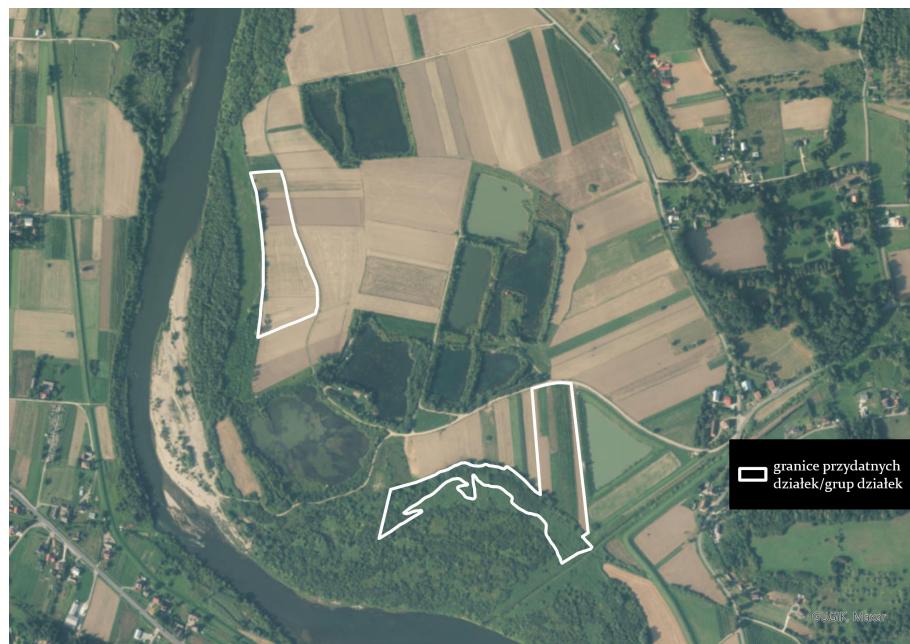
Rysunek 70: Wynik łączenia kryteriów ostrych i rozmytych po reklasyfikacji - wagi różne

5.10 Wybór przydatnych działek

Pomimo niewielkiej powierzchni terenów przydatnych pod tę inwestycję w gminie, udało się wyłonić te same 2 grupy działek dla obu wariantów.

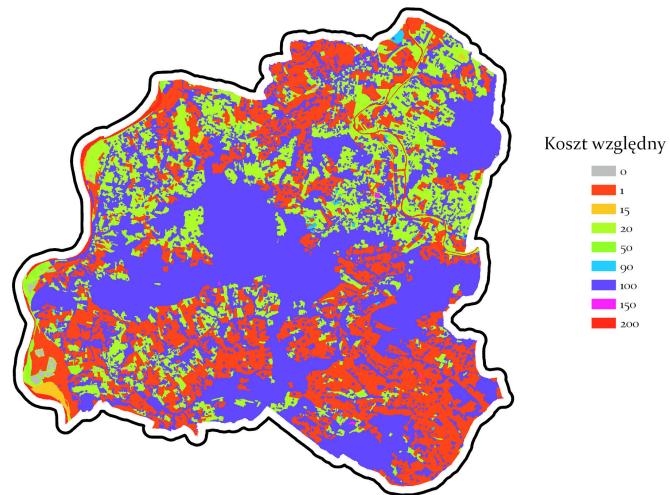


Rysunek 71: Mapa przedstawiająca przydatne grupy działek

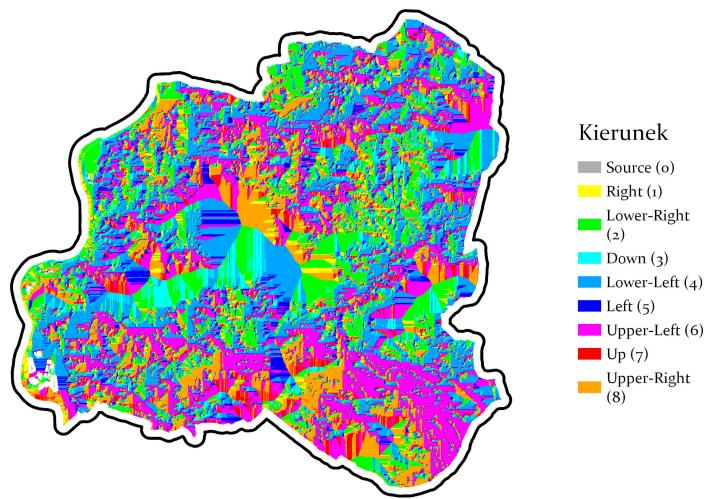


Rysunek 72: Mapa przedstawiająca przydatne grupy działek na ortofotomapie

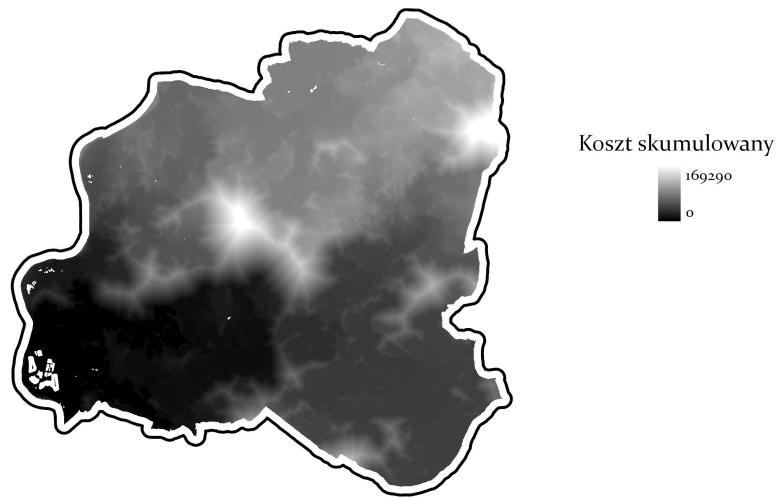
5.11 Przyłącze do sieci SN



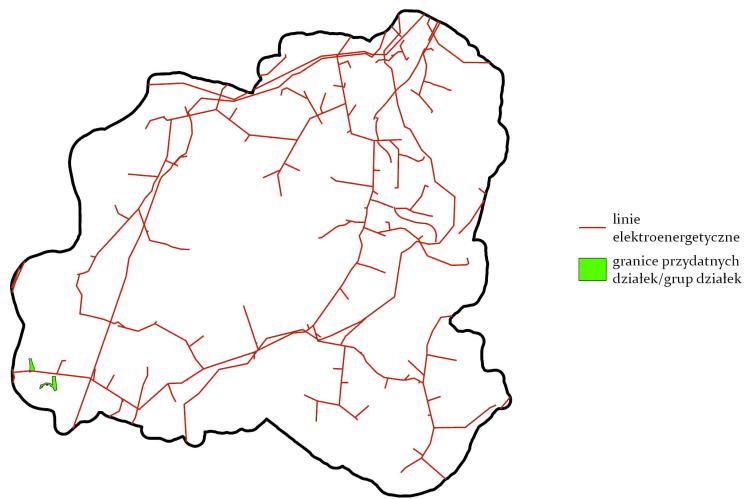
Rysunek 73: Mapa kosztów względnych



Rysunek 74: Mapa kierunków (backlink)

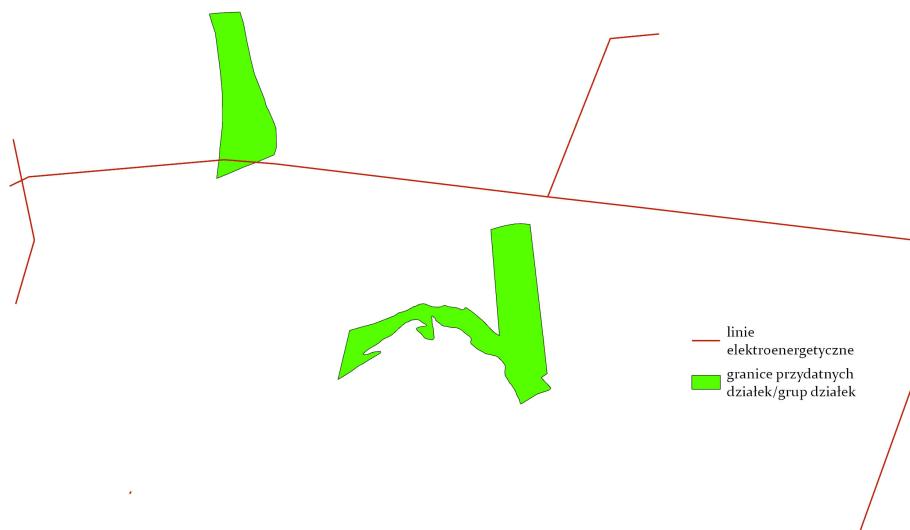


Rysunek 75: Mapa kosztów skumulowanych

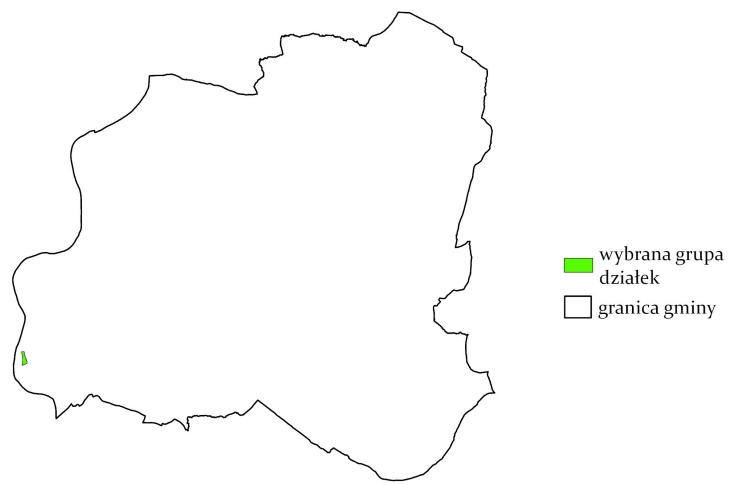


Rysunek 76: Mapa przedstawiająca przydatne grupy działałek oraz istniejące linie elektroenergetyczne

Przez jedną z wytypowanych grup działałek przechodzi już linia elektroenergetyczna, w związku z czym ścieżka przyłącza nie została utworzona.

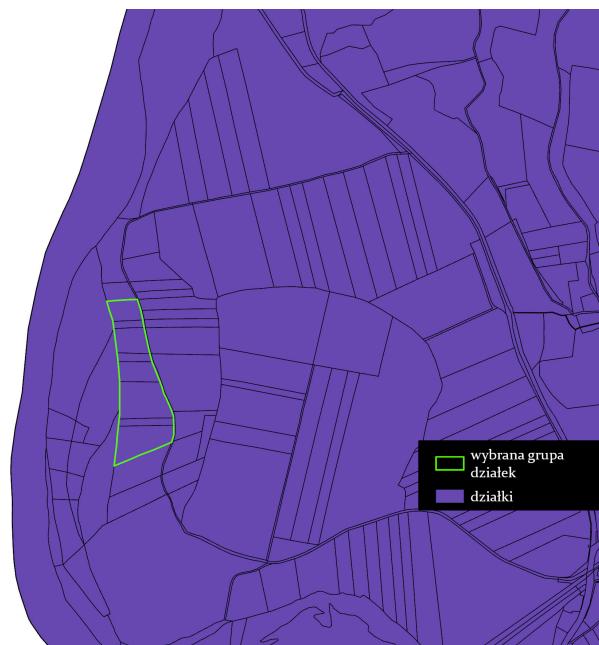


Rysunek 77: Mapa przedstawiająca linie elektroenergetyczne przechodzące przez jedną z grup działałek



Rysunek 78: Mapa przedstawiająca wybraną grupę działek

Wybrana grupa składa się z 8 mniejszych działek.



Rysunek 79: Mapa przedstawiająca wybraną grupę działek

6 Podsumowanie i wnioski

6.1 Omówienie wyników

Skonstruowany model pozwolił na wstępny wybór dla każdej z gmin co najmniej jednej grupy działek przydatnych o wymaganej powierzchni.

Dla gminy Świeradów-Zdrój zmiana wag dla kryteriów spowodowała wybór innej grupy działek przydatnych. W przypadku wag autorskich nieprzydatna okazała się jedna z grup działek uznana za przydatną dla wag równych. Zmieniło to również ostateczny rezultat, bo ta grupa działek była już połączona do

sieci SN.

Dla gminy Pleśna zmiana wag dla kryteriów nie przyniosła żadnych zmian - zostały wyłonione te same dwie grupy działek, w związku z czym na koniec została wybrana ta sama działka.

6.2 Strona techniczna

Sam proces tworzenia modelu był od początku miejscami frustrujący. Pierwsze problemy rozpoczęły się już przy próbie uruchomienia Python Notebooka w oprogramowaniu ArcGIS Pro. Z narzędzia, pomimo wielu prób konfiguracji na różnych urządzeniach, reinstalacji czy zmian różnych ustawień, nie dało się skorzystać. Próbowano utworzyć skrypt Jupyter Notebook w zewnętrznym edytorze kodu oraz wybrać jako interpreter odpowiednią wersję Pythona dostarczaną razem z oprogramowaniem ESRI. Niestety, tutaj również wystąpiły problemy niezależne od użytkownika, dlatego zdecydowano się na tworzenie skryptu w czystym Pythonie w zewnętrznym IDE. Należało tutaj zadbać o ustawienie odpowiednich ścieżek do geobazy i poszczególnych danych.

Po uruchomieniu programu często ArcGIS napotykał problemy z zapisem plików, występował błąd *Could not save raster dataset to ... with output format FGDBR*. W związku z tym nigdy nie można było być pewnym, czy uda się uzyskać oczekiwany wynik działania programu po pierwszym uruchomieniu. Najczęściej rozwiązaniem było usunięcie z geobazy plików nadpisywanych po każdym uruchomieniu programu, ale nierazdarło się, że jedynym wyjściem był restart ArcGIS-a.

6.3 Wyzwania, problemy modelu

Projekt zakładał konieczność posiadania danych nie tylko dla samej gminy, w której ma znajdować się farma, ale też dla buforu 200-metrowego wokół gminy. Większość danych wykorzystanych w zadaniu pochodzi z bazy BDOT10k, której najmniejszą paczkę można pobrać dla powiatu. Istnieje więc konieczność pobrania i wyselekcjonowania niezbędnych danych również dla powiatów sąsiadujących, jeżeli gmina jest jedną z obrzeżnych gmin swojego powiatu. W pesymistycznym przypadku, należałoby również uzyskać dane z innych krajów.

Dobór odpowiednich wartości granicznych dla narzędzia *Fuzzy Membership* był jednym z największych wyzwań. Poza ostrymi granicami czasochłonne było wypróbowywanie różnych wersji funkcji oraz dopasowywanie ich tak, aby obszarów przydatnych nie pozostało za dużo bądź za mało. Zarówno gmina Świeradów-Zdrój, jak i Pleśna są gminami o niskiej przydatności do celów budowy farmy fotowoltaicznej, co szczególnie widać na mapie [66] kryteriów ostrych dla gminy Pleśna. Próg przydatności 80/90% był nieosiągalny niezależnie od ustawionych parametrów funkcji fuzzy.

Kryterium utrudniającym w zachowaniu uniwersalności projektu było kryterium odległości od ważnych węzłów komunikacyjnych. Należało ustalić, jak maksymalnie daleko od obszaru gminy może znajdować się węzeł, bądź bardziej sformalizować, czym jest węzeł.

Podczas tworzenia mapy kosztów względnych dla obszaru projektu okazało się, że najbardziej aktualna wersja bazy BDOT10k nie posiada już dla warstw pokrycia terenu pola o nazwie *x_kod* jednoznacznie identyfikującego każde pokrycie terenu. W związku z tym skorzystano w tym celu ze starszej wersji.

6.4 Propozycja dodatkowego kryterium

Przykładem nieuwzględnionego kryterium mogłyby być kryterium zanieczyszczenia powietrza - lokalizacja farmy powinna znajdować się z dala od obszarów o wysokim stężeniu smogu i pyłów, ponieważ zanieczyszczenia osadzające się na panelach znaczco obniżają ich wydajność. Dane na temat średniego rocznego stężenia m. in. pyłu zawieszonego PM2,5 udostępnia Główny Inspektor Ochrony Środowiska⁵. Pobrane ze strony GIOŚ dane są w formacie Shapefile, dlatego należało je najpierw zamienić na raster. Powstały raster możnaby następnie zreklasyfikować, na przykład w następujący sposób:

- wartości $\leq 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ otrzymują wartość członkostwa 1 (pełne spełnienie kryterium)
- wartości $\geq 20\mu\text{g}/\text{m}^3$ otrzymują wartość członkostwa 0 (nie spełniają kryterium)
- wartości pomiędzy 10 a $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ otrzymują wartość członkostwa proporcjonalnie do ich odległości od 20

⁵<https://powietrze.gios.gov.pl/pjp/maps/modeling>