

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Modelowanie podstawowych form rzeźby terenu

Zastosowanie GIS w badaniach przyrodniczych, Ćwiczenie 10

Na podstawie materiałów szkoleniowych ESRI.
Wyłącznie do użytku wewnętrznego AGH.

2021-10-26

Wprowadzenie

Analiza form morfologicznych jest jednym z najważniejszych aspektów badań środowiskowych oraz modelowań przestrzennych. Morfologia powierzchni Ziemi będąca efektem ciągle zachodzących procesów wietrzenia, erozji i akumulacji, w najwyższym stopniu zależy od budowy geologicznej, charakteru pokrywy roślinnej i występujących cech klimatycznych. Charakter i zmienność morfologii wpływają na różnorodne procesy geologiczne, glebotwórcze, ekologiczne i inne. Morfologia posiada bezpośredni wpływ na: erozję i akumulację, spływ powierzchniowy, rozkład zanieczyszczeń, lokalną zmienność klimatyczną, charakter pokrywy roślinnej, a także występujące siedliska zwierząt (Błaszczynski 1997).

Współcześnie, jedną z najszybciej rozwijających się dziedzin morfologii jest morfometria. Jest to dziedzina nauki zajmująca się pomiarami powierzchni Ziemi dokonywanymi dla jej opisu lub w celu późniejszego przetwarzania i umożliwienia różnorodnych analiz. Rozpoznanie jakościowych i ilościowych cech opisujących morfologię jest fundamentem dla zrozumienia procesów kształtowania powierzchni Ziemi oraz zachodzących na niej zjawisk. W przeszłości, badania morfometryczne wymagały długotrwałych prac terenowych po których następował żmudny etap analiz map analogowych, czasem zdjęć lotniczych (Horton 1945; Strahler 1957; Coates 1958). Badania takie cechowały się dużą pracochłonnością i najczęściej niejednoznacznymi wynikami. Analogowa klasyfikacja form geomorfologicznych zawsze cechowała się wysokim subiektywizmem i przez to brakiem powtarzalności. Cecha ta decydowała o ograniczonej przydatności metody. W dobie cyfryzacji, nauka pozyskała nowe, wydajne narzędzia pozwalające na znaczne usprawnienie i przyspieszenie analiz morfometrycznych. Dzięki powszechnej dostępności danych cyfrowych (zdjęć lotniczych i satelitarnych, materiałów pochodzących z lotniczego skaningu laserowego – LIDAR i innych), a także dzięki nowoczesnemu oprogramowaniu, skomplikowane algorytmy analityczne pozwoliły na zobiektywizowanie analiz dając im wysoką wiarygodność i wspomnianą powtarzalność.

Od wczesnych lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia bezpośrednim źródłem analiz geomorfometrycznych są cyfrowe modele terenu (Digital Elevation Models – DEM) (Urbański 2011). Na podstawie DEM obliczane są podstawowe (nachylenie, ekspozycja, krzywizna stoków) i wtórne parametry morfometryczne (Urbański 2011).

Klasyfikacja form geomorfologicznych na podstawie DEM jest jednym z typowych zagadnień realizowanych z zastosowaniem współczesnych systemów GIS. W praktyce, w bardziej zaawansowanych aplikacjach istnieją rozszerzenia mające za zadanie

generowanie map przedstawiających proste lub bardziej złożone formy morfologiczne (Hengl & Reuter 2009). Wykorzystują one wybrane podstawowe atrybuty topograficzne (nachylenie stoków, krzywiznę i inne) (Schmidt & Dikau 1999). Wśród najbardziej znanych aplikacji GIS, funkcje bądź rozszerzenia takie posiadają: ArcGis, GeoMedia, Illwis, Idrisi. Pakiet Illwis posiada skrypt *Generic landforms*, który na podstawie atrybutów: *Slope*, *Plan* (*plan curvature*) i *SCI* (*shape complexity index*) lub *ACV* (*anisotropic coefficient of variation*), oblicza kilka podstawowych form geomorfologicznych reprezentujących główne cechy rzeźby terenu (Hengl i in. 2003; Kasprzak & Traczyk 2010). Dla pakietu GeoMedia Professional i GeoMedia Grid firmy Intergraph, opracowano rozszerzenie *LANDFORM*, korzystające z atrybutów: *Grade*, *Elevation*, *Plan Curvature*, *Profile Curvature* i *Local Relief* (Klingseisen i in. 2008). ArcGis firmy ESRI posiada dodatek znany pod nazwą **Topography Tools** lub **Topographic Position Index (TPI)** (Jenness 2006). W pakiecie w wersji 1.3a funkcjonują trzy narzędzia: *Topographic Position Index*, *Slope Position Classification* oraz *Landform Classification*. Pierwsze służy do obliczenia Topograficznego indeksu pozycji natomiast drugie i trzecie do jego prostej bądź bardziej złożonej klasyfikacji.

To ćwiczenie zapozna nas z podstawami modelowania geomorfologicznego z zastosowaniem rozszerzenia ArcGIS – Topography Toolbox.

1. Instalacja Topography Toolbox

- 1.1. Będziemy potrzebowali licencji na *Spatial Analyst*. Moduł *Spatial Analyst* należy w ArcMap aktywować: *Customize > Extensions > Spatial Analyst*.
- 1.2. Pobierz narzędzie [Topography Tools](#).
- 1.3. Upewnij się, że masz uprawnienia do zapisu do folderu, w którym będziesz przechowywał narzędzie.
- 1.4. Skopiuj narzędzie do folderu, w którym będziesz je przechowywał.
- 1.5. W ArcToolbox kliknij ppm *ArcToolbox* i wybierz *Dodaj zestaw narzędzi... (Add Toolbox...)*, a następnie dodaj narzędzie.

W wyniku instalacji, w oknie *ArcToolbox* pojawi się nowa skrzynka narzędziowa **Topography Tools 10_3** z zawartością jak na [Fig. 1.1](#).

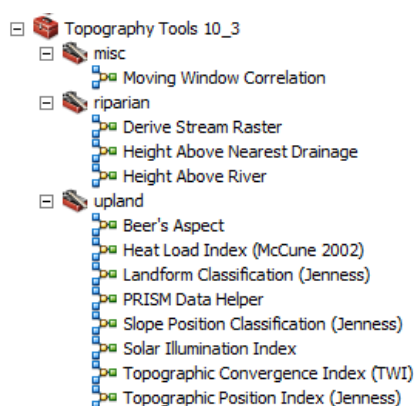


Fig. 1.1. Zestaw narzędzi z pakietu Topography Tools

2. Topograficzny indeks pozycji (*Topographic Position Index*)

Podstawy teoretyczne TPI zostały opracowane przez Weiss (2001) w 2001 r. Charakteryzuje się on pomysłowym i prostym algorytmem obliczeniowym. W największym zarysie polega on na określeniu różnic pomiędzy oryginalną powierzchnią NMT, a wyliczoną powierzchnią uśrednionych wysokości. Do analizy wykorzystywane są obrazy rastrowe. Generowanie powierzchni uśrednionej przebiega półautomatycznie. Dla każdej komórki podstawowej (piksela) tej powierzchni, obliczana jest wartość przeciętna z komórek znajdujących się w pewnym jej otoczeniu, które dalej nazywane będzie sąsiedztwem lub skalą obserwacji. Wykorzystuje się tutaj technikę ruchomego okna (Grohmann & Riccomini 2009). Na wstępie określa się kształt i wielkość wspomnianego sąsiedztwa. Może mieć ono formę kwadratu, koła, pierścienia, wycinka koła lub być nieregularne – zdefiniowane przez badacza. Następnie na pierwszą komórkę analizowanej powierzchni, nakładana jest maska zdefiniowanego sąsiedztwa i w oparciu o dane znajdujące się w jej wnętrzu dokonywane są niezbędne obliczenia. Po ich wykonaniu maska zostaje przesunięta na kolejną komórkę i algorytm ulega powtórzeniu. Obliczenia dokonywane są w kolejnych obszarach analizowanego rastra, aż do wyczerpania całej jego powierzchni.

Atrybuty TPI komórek mają wartości ujemne wtedy gdy analizowana komórka leży niżej od średniej wysokości komórek swojego sąsiedztwa (obszary o reliefie wklęsłym: doliny, kaniony, zagłębienia terenu, Fig. 2.1). Dodatkowo wartości atrybutu TPI wskazują na wyższe położenie komórki względem swego sąsiedztwa (obszary o reliefie wypukłym: wzgórza, grzbiety). Wartości TPI zbliżone do zera informują nas, że analizowany wycinek powierzchni NMT jest podobny do powierzchni uśrednionej. Z sytuacją taką możemy mieć do czynienia w obszarach płaskich albo na stokach, na których średnia wysokość komórek analizowanego sąsiedztwa jest równa wysokości komórki obliczanej. W wyniku przeprowadzonych obliczeń, powstaje nowa, rastrowa warstwa informująca nas jak bardzo wysokość w danym miejscu odbiega od lokalnej średniej.

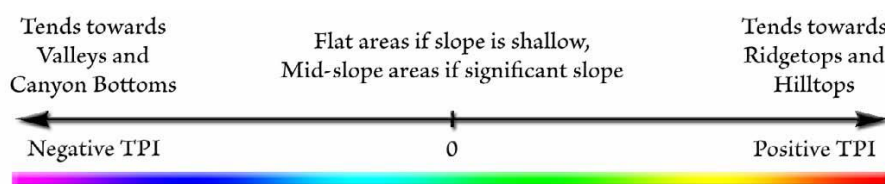


Fig. 2.1. Zmienność indeksu TPI

Indeks TPI jest bardzo czuły na wielkość sąsiedztwa analizowanej komórki. Ten sam punkt, w zależności od przyjętej skali obserwacji może zostać różnie zinterpretowany, np., lokalne niewielkie wzniesienie znajdujące się wewnątrz doliny (Fig. 2.2), jeżeli zastosujemy bardzo wąski promień sąsiedztwa, może zostać zinterpretowane jako obszar płaski. Jeżeli jednak przyjmimy większą, ale niewykraczającą poza szerokość doliny skalę obserwacji, analizowany obszar zostanie zinterpretowany jako obszar wyniesiony. Jeżeli jednak zwiększymy skalę obserwacji na tyle aby objęła swym zasięgiem przeciwległe stoki doliny, obszar zostanie sklasyfikowany jako wklęsły.

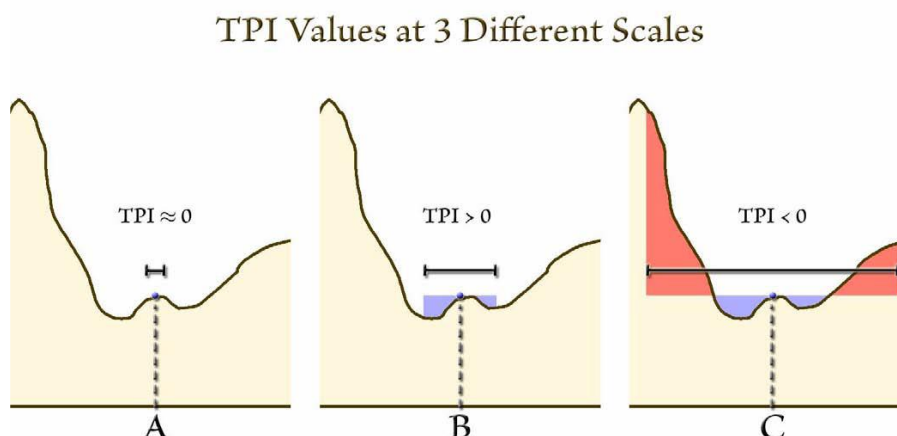


Fig. 2.2. Zależność wyników interpretacji morfologicznej od skali obserwacji

Duże znaczenie w analizach ma także kształt obszaru zliczania. Niezależnie od problemów interpretacyjnych, zróżnicowanie skali obserwacji wpływa na możliwość rejestracji mniejszych bądź większych struktur morfologicznych (Jenness 2006). Im zastosujemy mniejszą skalę obserwacji, tym mniejsze struktury powierzchni terenu będziemy w stanie rozpoznać, a później je sklasyfikować.

- 2.1. W *ArcToolbox* odszukajmy zainstalowany zestaw narzędzi *Topography Tools 10_3* i z zestawu *upland* wybierzmy narzędzie *Topographic Position Index* (Jenness).
- 2.2. W oknie dialogowym *Topographic Position Index* (Jenness), jako zbiór danych wejściowych (*Input elevation raster*) wprowadźmy posiadany NMT_IDW (Fig. 2.3).
- 2.3. Jako obszar zliczania wybierzmy koło o promieniu 250 m.

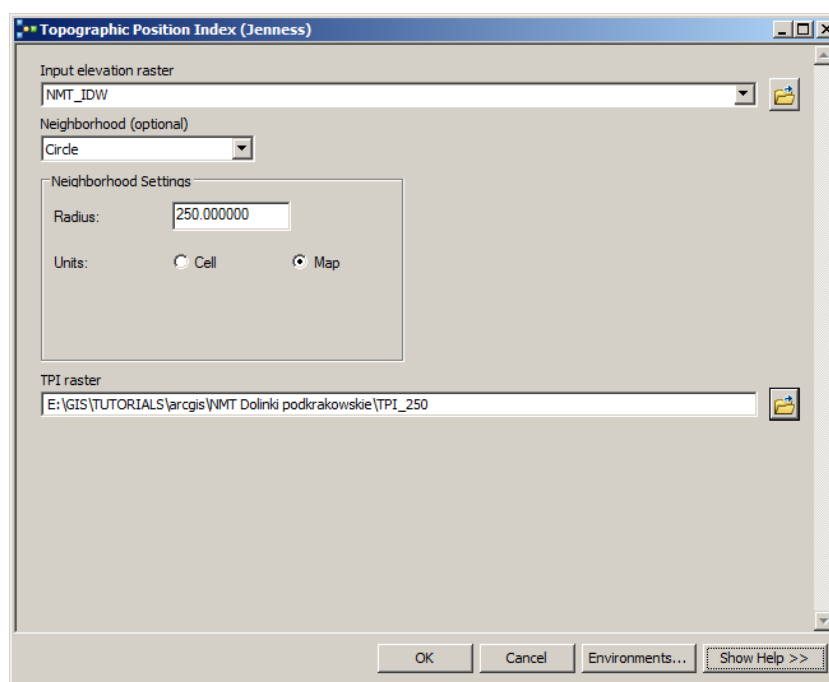


Fig. 2.3. Okno dialogowe *Topographic Position Index (Jenness)*

W wyniku działania narzędzia uzyskujemy obraz zmienności indeksu $TPI_{(250)}$ (Fig. 2.4).

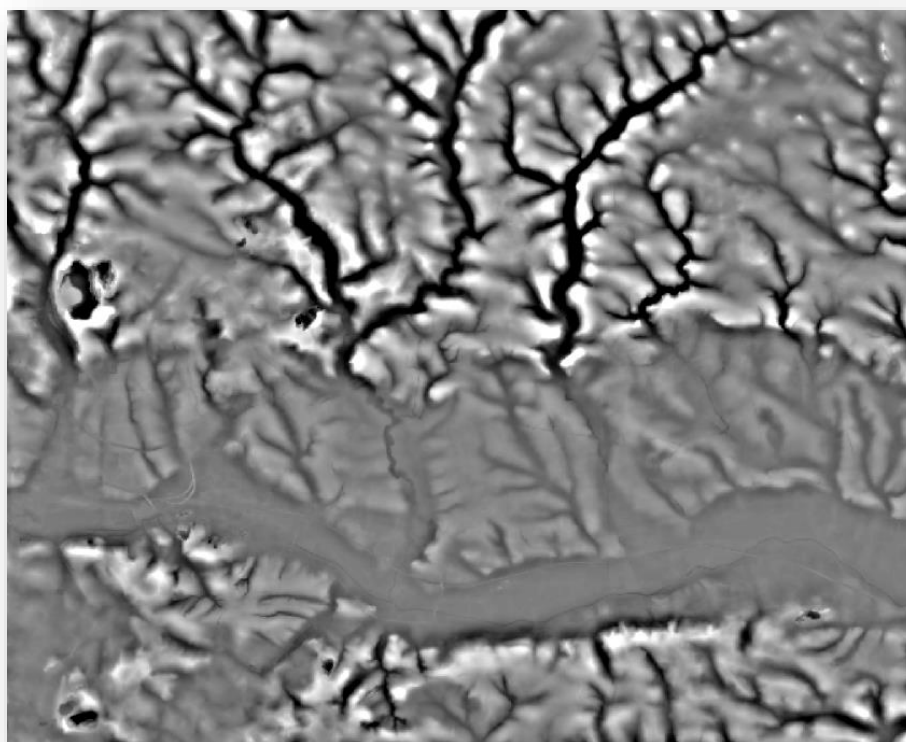


Fig. 2.4. Mapa zmienności indeksu TPI dla promienia sąsiedztwa równego 250 m

Wartości indeksu na mapie zmieniają się w granicach od -44,13 do 52,47. Wartości indeksu obliczone dla każdego piksela obrazu informują jak bardzo wysokość danego piksela odbiega od lokalnej średniej i w którym kierunku (w górę czy w dół) (zob. wyżej).

- 2.4. Utwórz sześć ramek danych `TPI_50`, `TPI_100`, `TPI_250`, `TPI_500`, `TPI_750`, `TPI_1000`.
- 2.5. Obliczmy klasy zmienności indeksów TPI dla koła o promieniach sąsiedztwa: 50 m, 100 m, 500 m, 750 m i 1000 m. Wyniki zapisz w tym samym folderze, w którym zapisywałeś inne klasy rastrowe. Każdy z wyników zapisuj z odpowiednim indeksem (przypisem) opisującym zastosowany promień sąsiedztwa (np.: `TPI_250`) i w odpowiedniej ramce danych.
- 2.6. Z otrzymanych wyników w widoku *Layout* utwórz tablicę `.pdf` prezentującą otrzymane wyniki. Wklej do niej mapy wraz ze wzrastającym promieniem sąsiedztwa (Fig. 2.5).

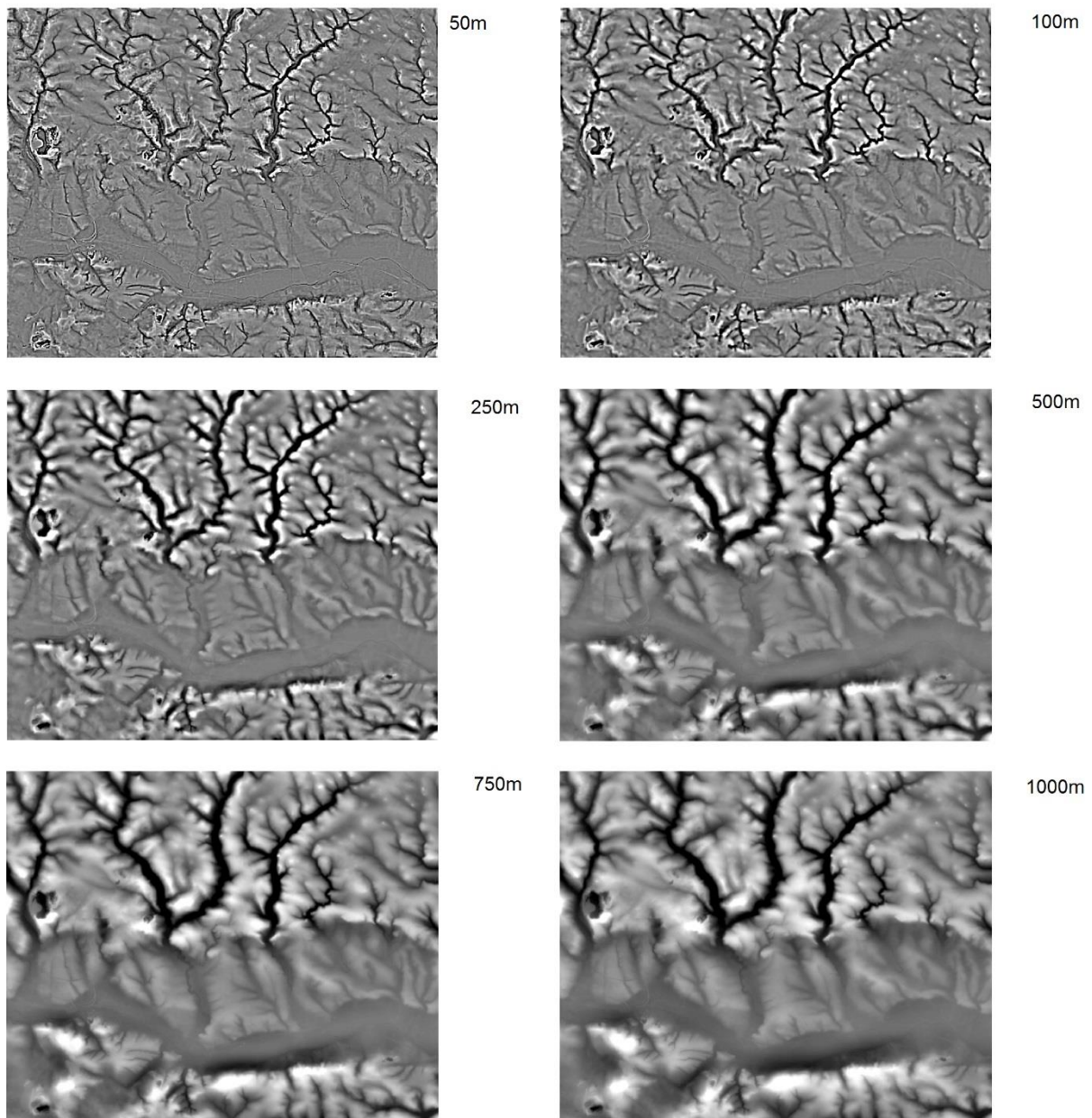


Fig. 2.5. Mapy zmienności indeksu TPI dla różnych promieni sąsiedztwa




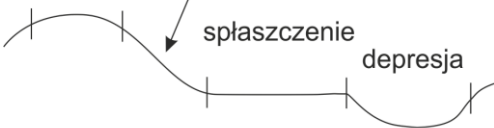
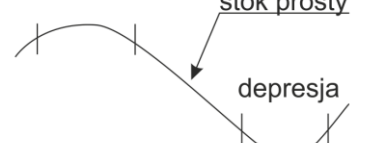
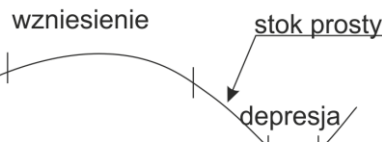
Jak widać mapy zmienności indeksu TPI sporządzone dla krótszych promieni sąsiedztwa rejestrują mniejsze struktury morfologiczne.

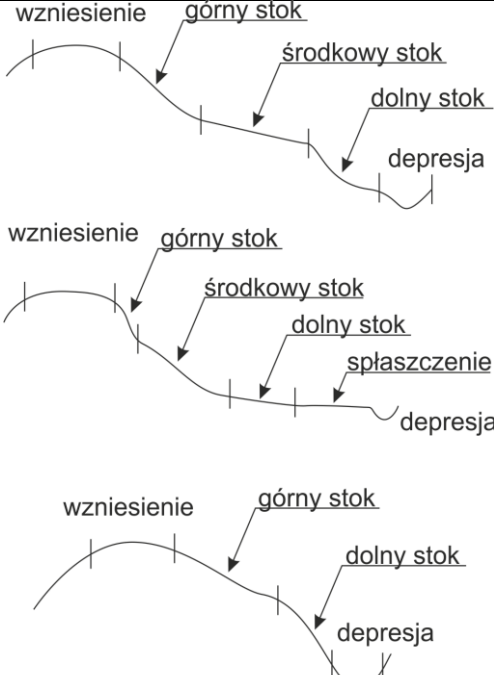


3. Klasyfikacja form rzeźby terenu z wykorzystaniem jednego promienia sąsiedztwa

Powierzchnia z wyznaczonymi wartościami TPI może zostać wykorzystana do wyznaczenia podstawowych form geomorfologicznych. W literaturze znanych jest wiele podziałów elementów rzeźby, które w kontekście morfometrycznym mogą być przydatne do klasyfikacji indeksu TPI. Dla analiz wykorzystujących systemy GIS i bazujących na NMT, szczególnie użyteczne są te, które klasyfikują elementy morfologiczne pod względem ich względnego położenia (doliny, stoki, wzgórza itp.) (Wood 1942; Dalrymple

i in. 1968; Ruhe & Walker 1968; Hugget 1975; Pennock i in. 1987; MacMillan & Pettapiece 2000; Speight 1990). Większość z takich klasyfikacji powstało w wyniku badań empirycznych, modelowań lub studiów krajobrazowych. Aplikacja Topography Tools Jannessa (2006), która wykorzystuje algorytm Weissa (2001), klasyfikuje formy terenu według australijskiego podziału Speight'a (1990) (Tab. 3.1).

Tab. 3.1. Klasyfikacja form morfologicznych uwzględniająca pozycję topograficzną (Speight 1990)

Nazwa klasy	Klasy pozycji topograficznej	Przykładowe profile terenowe
Wierzchołek (<i>crest</i>)	Obszar wyniesiony, cechujący się pozytywną krzywizną planarną i/lub wertykalną	wierzchołek 
Depresja: otwarta, zamknięta (<i>depression: open, closed</i>)	Obszar obniżony, cechujący się negatywną krzywizną planarną i/lub wertykalną; zamknięte – zawierające lokalne minimum wysokości; otwarte – rozciągające się na jednej i tej samej wysokości lub obniżające się	depresja 
Spłaszczenie (<i>flat</i>)	Obszary o nachyleniu <3%	grzbiet spłaszczenie 
Stok (<i>slope</i>)	Element powierzchniowy o średnim nachyleniu >1%; dzielony na podstawie względnego położenia na podkategorie: stok prosty, stok górny, środkowy, dolny	wzniesienie stok prosty spłaszczenie depresja 
Stok prosty (<i>simple slope</i>)	Obszar występujący poniżej wierzchołka lub spłaszczenia oraz powyżej spłaszczenia lub depresji	wzniesienie stok prosty depresja 
Górny stok (<i>upper slope</i>)	Obszar występujący poniżej wierzchołka lub spłaszczenia ale nie występujący nad spłaszczeniem lub depresją	wzniesienie stok prosty depresja 
Środkowy stok (<i>mid slope</i>)	Obszar nie sąsiadujący od góry z wierzchołkiem lub spłaszczeniem oraz nie sąsiadujący od dołu ze spłaszczeniem bądź depresją	

Dolny stok (<i>lower slope</i>)	Obszar nie sąsiadujący od góry z wierzchołkiem lub spłaszczeniem ale sąsiadujący od dołu ze spłaszczeniem lub depresją	
Wzgórek (<i>hillock</i>)	Złożony element, w który krótkie elementy stokowe sąsiadują z wąskimi wzniesieniami (<40 m)	
Grzbiet (<i>ridge</i>)	Złożony element, w który krótkie elementy stokowe sąsiadują z wąskimi wzniesieniami (>40 m)	

W celu wyodrębnienia form rzeźby terenu, dokonuje się klasyfikacji całego zakresu zmienności indeksu TPI. Wskazuje się wartości progowe, które utworzą granice przedziałów charakterystyczne dla odpowiednich form morfologicznych. Wartości TPI powyżej wyznaczonego progu, wyznaczają wierzchołki wzgórz lub górskie szczyty, natomiast wartości TPI poniżej innego progu mogą być klasyfikowane jako doliny lub inne zagłębienia terenu. Wartości TPI pobliżu „0”, jeśli nachylenie jest zbliżone do 0° mogą być zaklasyfikowane jako płaskie równiny lub jako obszary o małym nachyleniu (jeśli nachylenie jest powyżej pewnego kąta granicznego). W praktyce, najbardziej rozpowszechnionym sposobem wyznaczania wartości progowych stała się metoda zaproponowana przez Weiss'a (2001), która wykorzystuje wartości odchylenia standardowego wysokości punktów znajdujących się w sąsiedztwie obliczanej komórki (Tagil & Jennes 2008). W przedstawianym sposobie, wartości progowe wyznaczone są więc na podstawie zmienności komórek znajdujących się w sąsiedztwie, a nie na podstawie samych wartości TPI. Zastosowanie przedstawionej metody powoduje, że komórki rastra posiadające taką samą wartość wskaźnika TPI, mogą zostać sklasyfikowane jako różne formy geomorfologiczne (Janness 2006). Klasyfikacja

Weissa (2001), dokonuje podziału wskaźnika TPI na sześć klas, automatycznie wyznaczając takie podstawowe formy geomorfologiczne jak: doliny, dolne części stoków, spłaszczenia, środkowe i górne części stoków oraz grzbiety (Tab. 3.2, Fig. 3.1). Jak wynika z Tab. 3.2, dla dwóch kategorii (spłaszczenia i środkowe części stoków), przyjęto identyczne warunki klasyfikacyjne. Wartości TPI bliskie „0” oznaczają, że wysokość analizowanej komórki jest zbliżona do średniej wysokości komórek sąsiednich. Z taką sytuacją najczęściej możemy się spotkać w sytuacji gdy komórka położona jest na części płaskiej analizowanej powierzchni lub gdy jest położona w środkowej części stoku. Łatwym sposobem na odróżnienie tych dwóch sytuacji jest sprawdzenie nachylenia w tym punkcie. Jeśli jest ono bliskie mniejsze bądź równe 5° , to komórka jest prawdopodobnie położona na płaskiej powierzchni. Wartość nachylenia większa od 5° , oznacza, że analizowany piksel jest położony na stoku.

Tab. 3.2. Klasyfikacja zmienności wskaźnika TPI (Weiss 2001)

Nazwa klasy	Wartości graniczne TPI	Warunki dodatkowe
dolina (<i>valley</i>)	$TPI < -1 \text{ SD}$	
dolne części/podnóża stoków (<i>lower/toe slope</i>)	$-1 \text{ SD} \leq TPI < -0,5 \text{ SD}$	
spłaszczenia (<i>flat slope</i>)	$-0,5 \text{ SD} \leq TPI \leq 0,5 \text{ SD}$	nachylenie $\leq 5^\circ$
środkowe części stoków (<i>middle slope</i>)	$-0,5 \text{ SD} < TPI < 0,5 \text{ SD}$	nachylenie $> 5^\circ$
górne części stoków (<i>upper slope</i>)	$0,5 \text{ SD} < TPI \leq 1 \text{ SD}$	
grzbiety (<i>ridge</i>)	$TPI > 1 \text{ SD}$	

Gdzie: SD – lokalne odchylenie standardowe wysokości



Fig. 3.1. Klasyfikacja zmienności wskaźnika TPI wg. Weiss'a (2001)

- 3.1. Wróć do widoku *Data View*.
- 3.2. Aktywuj ramkę danych `TPI_250`.
- 3.3. Do ramki dodaj klasę `NMT_IDW`.
- 3.4. Z *Toolbox* wybierz narzędzie klasyfikacji wg. Weiss (2001) – *Slope Position Classification (Jenness)*.
- 3.5. Uzupełnij dane wejściowe geoprzetwarzania. Jako raster danych wejściowych wysokości (*Input elevation raster*) wprowadź nasz NMT

(NMT_IDW), a jako Raster TPI klasę wartości indeksu TPI wygenerowaną z zastosowaniem promienia sąsiedztwa 250 m (Fig. 3.2).

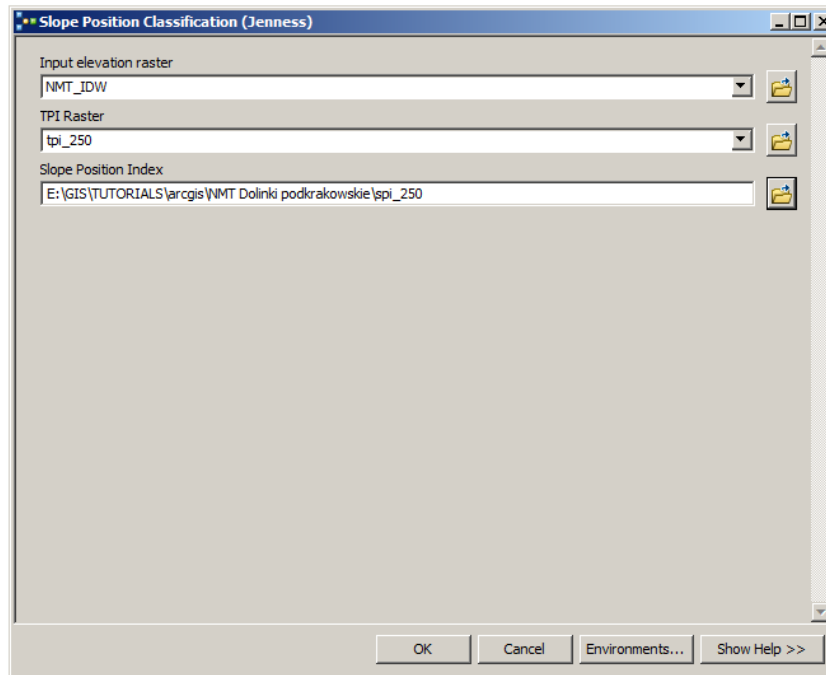


Fig. 3.2. Okno dialogowe narzędzia klasyfikacji wg. podziału Weiss'a (2001)

- 3.6. Klasę wynikową klasyfikacji zapiszmy w folderze z naszymi rastrami, pod nazwą `spi_250`.
- 3.7. W wyniku klasyfikacji na ekranie pojawia się rastrowa klasa form morfologicznych. Zmieńmy jej styl na standardowy dostarczony przez producentów oprogramowania. W tym celu wejdźmy do właściwości warstwy i z menu *Symbology* wybierzmy ikonkę z folderem (*Import...*). Jeszcze raz kliknijmy na podobną ikonkę i z lokalizacji instalacji narzędzi TPI, wybierzmy plik stylu `Slope Position Classification.lyr` (Fig. 3.3)

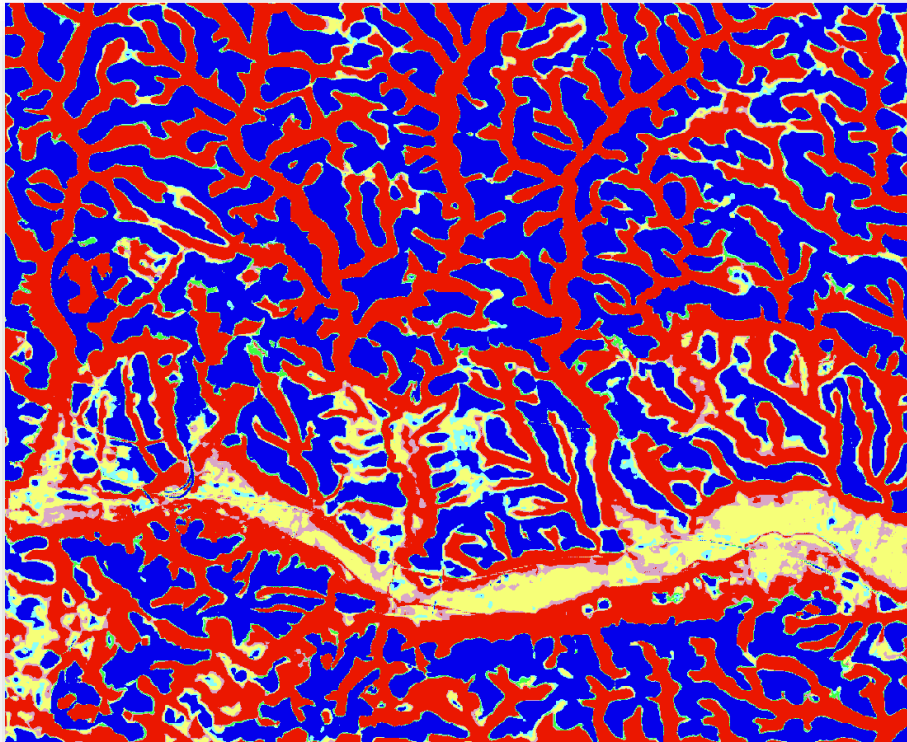


Fig. 3.3. Mapa klasyfikacji podstawowych form rzeźby terenu

Kategorie klasy opisuje [Fig. 3.4](#).

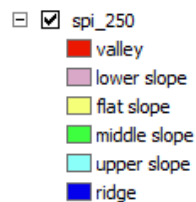


Fig. 3.4. Kategorie klasyfikacji wg. Weiss'a (2001)

Jak wynika z [Fig. 3.3](#), promień 250 m jest zbyt mały. Zbyt małe struktury ujawniają się w wyniku klasyfikacji. Znacznie lepszy będzie obraz bardziej generalny.

- 3.8. W odpowiednich ramkach danych, dla każdej klasy TPI uzupełnij siedem klasyfikacji SPI. Wyniki przedstaw w dokumencie .pdf w osobnym dokumencie A4 ([Fig. 3.5](#)).

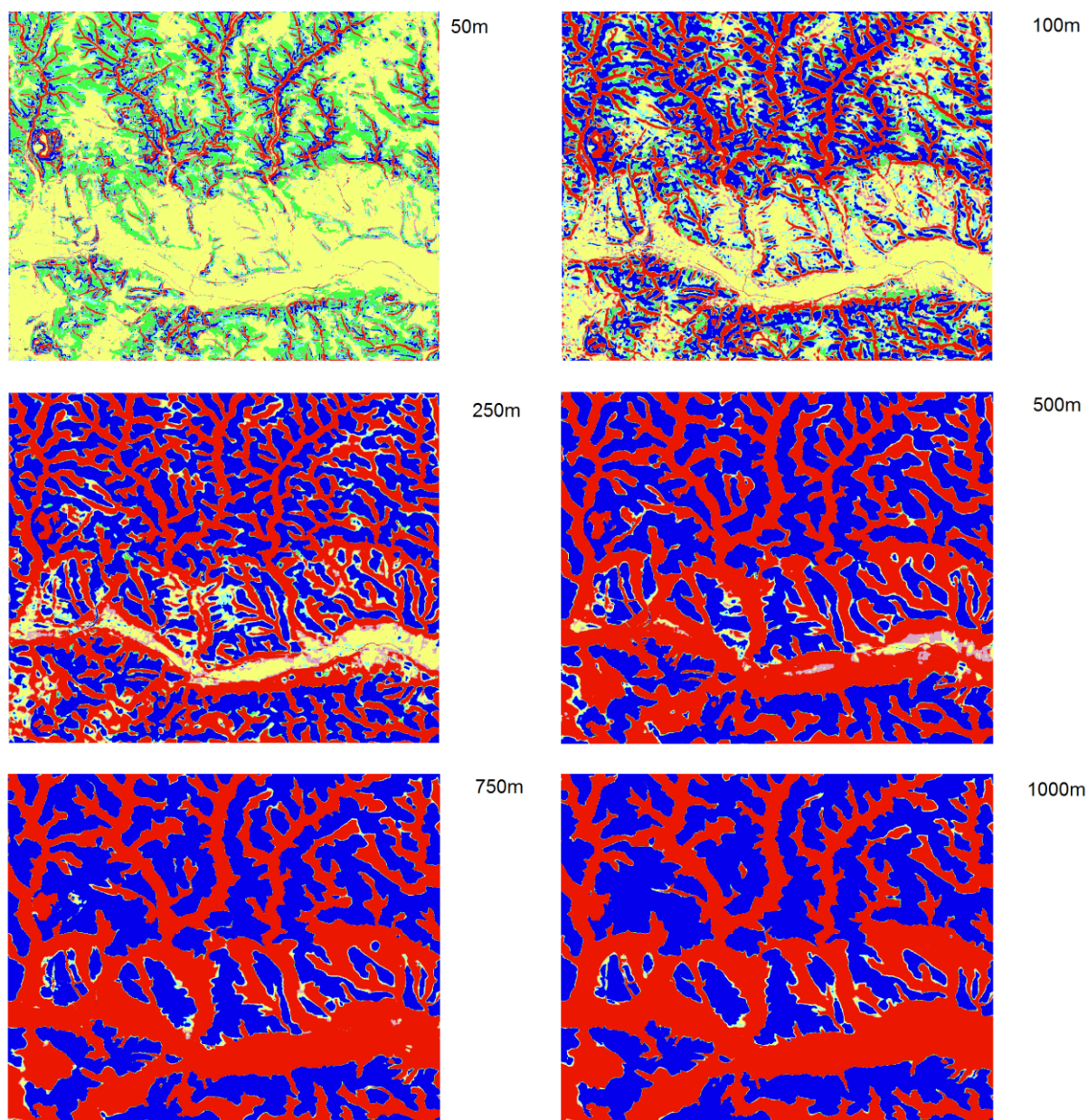


Fig. 3.5. Mapy klasyfikacji podstawowych form rzeźby terenu. Kategorie jak na Fig. 3.4

Jak widać, wraz ze wzrostem wielkości ruchomego okna jesteśmy w stanie rejestrować coraz bardziej generalne struktury rzeźby terenu. Jeżeli chcemy rejestrować struktury mniejsze, musimy zastosować krótszy promień sąsiedztwa. Wydaje się że najlepsze efekty modelowania morfologicznego uzyskaliśmy za pomocą promienia 100-metrowego.

4. Klasyfikacja z użyciem bliższego i dalszego sąsiedztwa

Wysoka czułość analiz wskaźnika TPI na przyjętą skalę obserwacji, spowodowała poszukiwania bardziej obiektywnego sposobu klasyfikacji. Rozwiązanie takie zaproponował Weiss (2001). Innowacyjność metody polega na tym, że klasyfikacji form morfologicznych dokonuje się w oparciu o obserwację wskaźnika TPI w dwóch skalach obserwacji: małej i dużej. Tak jak w poprzednim przypadku o kształcie i wielkości obu

sąsiedztw decyduje użytkownik i tak jak poprzednio, parametry powinny być powiązane z konkretnym rejonem badań i z charakterem występującymi na jego terenie struktur morfologicznych. Rejestracja wartości TPI obserwowanych w różnych skalach, pozwala na bardziej szczegółową klasyfikację i rozpoznanie większej liczby form morfologicznych oraz sprawia, że cechuje się ona większą precyzją (Fig. 4.1).

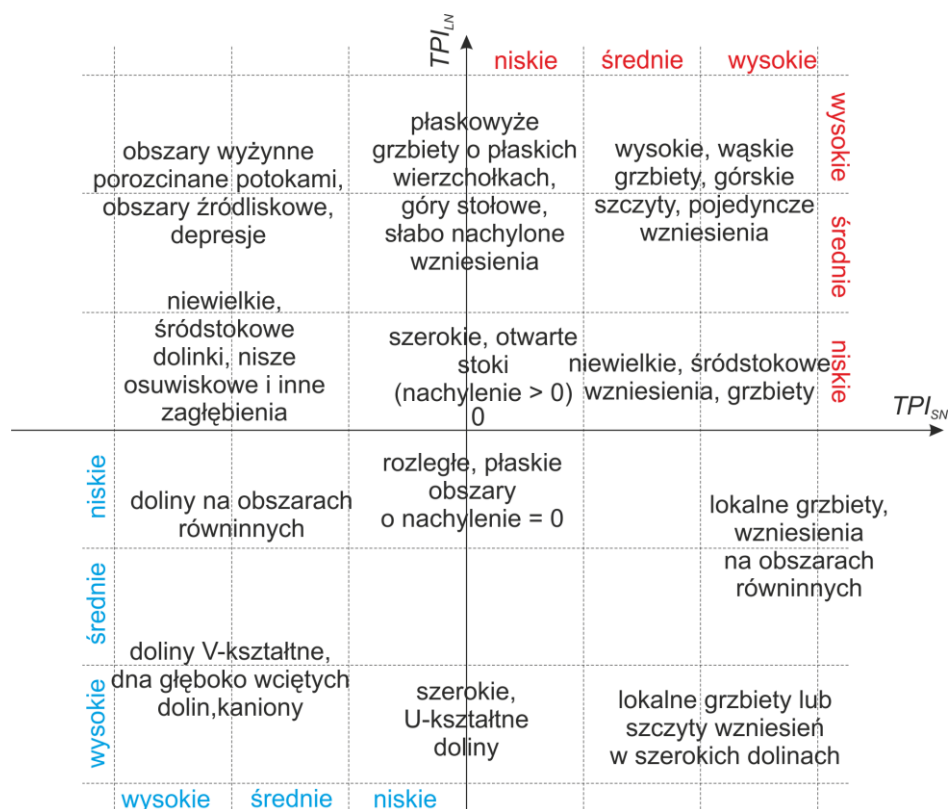


Fig. 4.1. Klasyfikacja głównych form morfologicznych wyznaczona na podstawie wskaźników TPI obliczonych dla bliskiego (TPI_{SN}) i dalszego sąsiedztwa (TPI_{LN}) komórek

Dla przykładu, obszary charakteryzujące się relatywnie wysoką wartością wskaźnika obliczonego dla bliskiego sąsiedztwa (TPI_{SN}) oraz niską wartością obliczoną dla dalszego sąsiedztwa (TPI_{LN}), wskazują na niewielkie wzniesienie położone wewnątrz doliny natomiast niska wartość TPI_{SN} i wysoka wartość TPI_{LN} , może zostać zinterpretowana dolina lub inne zagłębienie występujące w grzbiecie (Fig. 3).

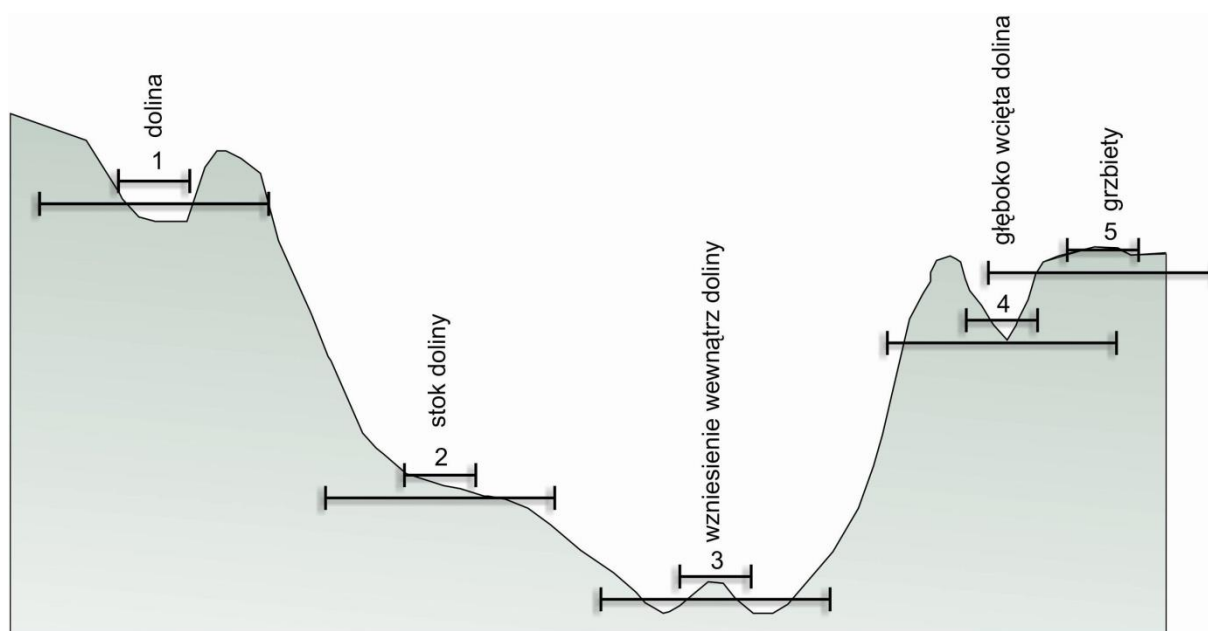


Fig. 4.2. Klasyfikacja wybranych form geomorfologicznych z zastosowaniem wskaźników TPI obliczonych dla bliskiego (SN) i dalszego sąsiedztwa (LN) komórek; 1 – doliny na obszarach górskich i wyżynnych (bardzo niska wartość TPI_{SN} , bardzo wysoka wartość TPI_{LN}); 2 – stoki dolin (średnie wartości TPI_{SN} i TPI_{LN}); 3 – wzniesienia wewnątrz dolin (bardzo wysokie wartości TPI_{SN} , bardzo niskie wartości TPI_{LN}); 4 – głęboko wcięte doliny, kaniony (bardzo niskie wartości TPI_{SN} i TPI_{LN}); 5 – płaskie wierzchołki grzbietów (średnie wartości TPI_{SN} , wysokie wartości TPI_{LN}); (Jenness 2006, zmienione)

Tab. 4.1. Klasyfikacja Weissa (2001) z modyfikowaną przez Janness'a (2006)

Formy morfologiczne	TPI_{SN}	TPI_{LN}	Nachylenie stoków
kaniony i doliny głęboko wciętych potoków (<i>canyons, deeply incised streams</i>)	$TPI \leq -1$	$TPI \leq -1$	
Zagłębienia bezodpływowe, płytkie doliny (<i>midslope drainages, shallow valleys</i>)	$TPI \leq -1$	$-1 < TPI < 1$	
obszary wyżynne, obszary źródłkowe (<i>upland drainages, headwaters</i>)	$TPI \leq -1$	$TPI \geq 1$	
doliny ukształtne (<i>u-shaped valleys</i>)	$-1 < TPI < 1$	$TPI \leq -1$	
spłaszczenia (<i>plains</i>)	$-1 < TPI < 1$	$-1 < TPI < 1$	$Slope \leq 5^\circ$
otwarty stok, (<i>open slopes</i>)	$-1 < TPI < 1$	$-1 < TPI < 1$	$Slope > 5^\circ$
Górne stoki, góry stołowe (<i>upper slopes, mesas</i>)	$TPI: -1 < TPI < 1$	$TPI \geq 1$	
lokalne grzbiety, wzniesienia w dolinach (<i>local ridges, hills in valleys</i>)	$TPI \geq 1$	$TPI \leq -1$	

środkowe części zboczy, niewielkie wzgórza na obszarach płaskich (<i>midslope ridges, small hills in plains</i>)	$TPI \geq 1$	$-1 < TPI < 1$	
szczyty górskie, wysokie grzbiety (<i>mountain tops, high ridges</i>)	$TPI \geq 1$	$TPI \geq 1$	

- 4.1. Uaktywnij dowolną ramkę danych w której zamierzasz wykonać nową klasyfikację.
- 4.2. Z *Toolbox* wybierz narzędzie klasyfikacji wg. [Janess \(2006\)](#) – *Landform Classification (Jenness)*.
- 4.3. Uzupełnij dane wejściowe geoprzetwarzania. Jako raster danych wejściowych wysokości (*Input Elevation Raster*) wprowadź nasz NMT (*NMT_IDW*).
- 4.4. Bliższy promień sąsiedztwa zdefiniuj jako koło o promieniu 90 m (jednostki mapy).
- 4.5. Dalszy promień sąsiedztwa zdefiniuj jako koło o promieniu 300 m (jednostki mapy).
- 4.6. Plik wynikowy geoprzetwarzania nazwij *landforms* i zapisz go w naszym standardowym folderze rastrów.
- 4.7. Po uzupełnieniu wszystkich parametrów ([Fig. 4.3](#)), naciśnij przycisk *OK*.

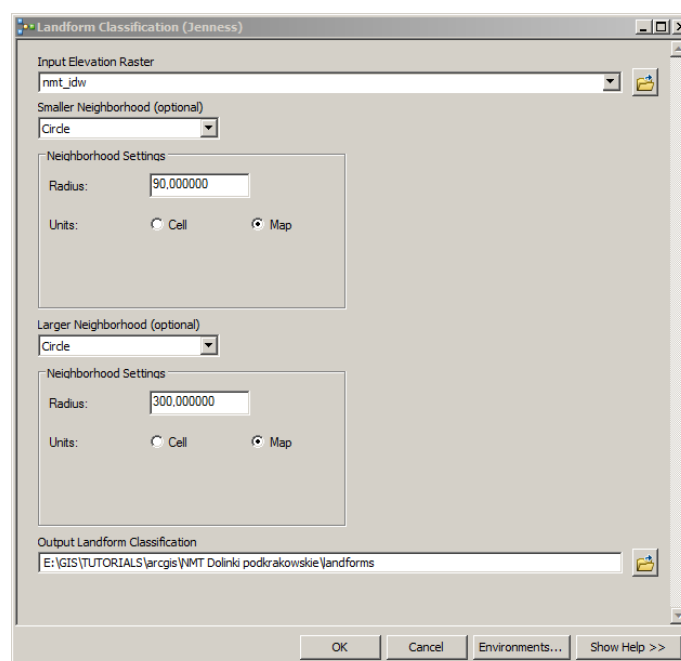


Fig. 4.3. Okno dialogowe *Landform Classification (Jenness)* klasyfikacji z użyciem bliższego i dalszego sąsiedztwa

W wyniku działania narzędzia otrzymujemy sklasyfikowany obraz pokazujący położenie dziesięciu różnych form rzeźby terenu.

- 4.8. Zmieńmy styl kategorii na standardowy, dostarczony przez twórców klasyfikacji. W tym celu wejdźmy do właściwości warstwy i z menu *Symbology* wybierzmy ikonkę z folderem (*Import...*). Jeszcze raz kliknijmy na podobną ikonkę i z lokalizacji instalacji narzędzi TPI, wybierzmy plik stylu *Landform Classification.lyr* (Fig. 4.4).

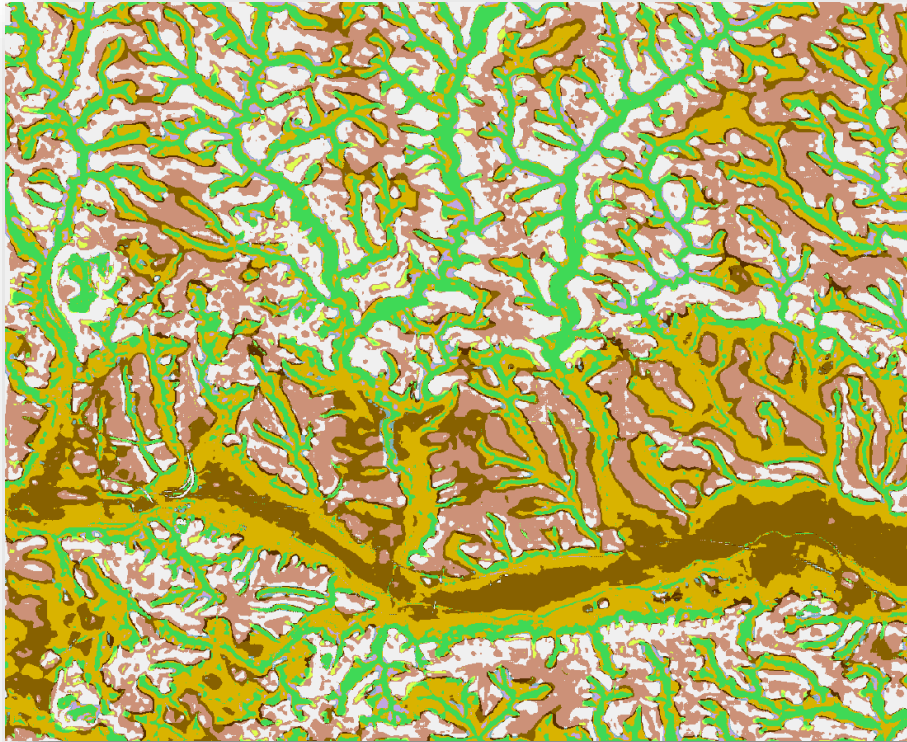


Fig. 4.4. Efekt klasyfikacji form rzeźby terenu rejonu Rowu Krzeszowickiego z zastosowaniem krótszego (90 m) i dłuższego (300 m) promieni sąsiedztwa. Kategorie jak na Fig. 4.5

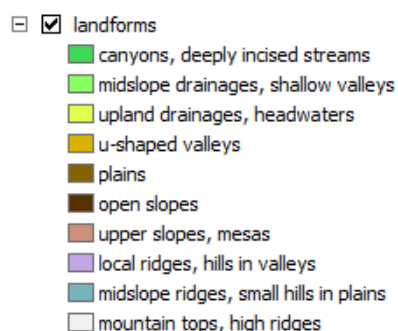


Fig. 4.5. Kategorie 10-cio stopniowej klasyfikacji Janness'a (2006)

W tym ćwiczeniu zapoznaliśmy się z metodami modelowania morfologicznego. Utworzone klasy stanowią ciekawe źródło informacji o terenie. Można wykorzystać w innych modelowaniach i analizach GIS.

5. Bibliografia

Błaszczynski, J.S., 1997. Landform characterization with geographic information systems. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(2), 183-191.

Coates D.R., 1958. *Quantitative geomorphology of small drainage basins in Southern Indiana*. Columbia University, New York.

Dalrymple, J., Long, R., Conacher, A., 1968. A hypothetical nine-unit land- surface model. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 12, 60-76.

Grohmann, C.H., Riccomini, C., 2009. Comparison of roving-window and search-window techniques for characterising landscape morphometry. *Computers & Geosciences*, 35(10), 2164-2169.

Hengl, T., Gruber, S., Shrestha, D.P., 2003. *Digital terrain analysis in ILWIS. Lecture notes and user guide*. ITC, Enschede, Netherlands.

Hengl, T., Reuter, H.I. (red.) 2009. Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. *Developments in Soil Science*, 33, Elsevier, 772.

Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56, 275-370.

Hugget, R.J., 1975. Soil landscape systems: A model of soil Genesis. *Geoderma*, 13, 1-22.

Jenness, J. 2006. *Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3a*. Jenness Enterprises. URL: <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>, 2012-02-22.

Kasprzak, M., Traczyk, A., 2010. Geomorfometria granitowej części Karkonoszy. Geomorphometry of granitic part of Karkonosze Mts. *Landform Analysis*, 13, 33-46.

Klingseisen, B., Metternicht, G., Paulus, G., 2008. Geomorphometric landscape analysis using a semi-automated GIS-approach. *Environmental Modelling and Software*, 23(1), 109-121.

MacMillan, R.A., Pettapiece, W.W., 2000. *Alberta Landforms: Quantitative morphometric descriptions and classification of typical Alberta landforms*. Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada, Semiarid Prairie Agricultural Research Centre, Swift Current, SK, Technical Bulletin No. 2000-2E.

Pennock, D.J., Zebarth, B.J., De Jong, E., 1987. Landform classification and soil distribution in Hummocky terrain, Saskatchewan, Canada. *Geoderma*, 40, 297-315.

Ruhe, R.V., Walker, P.H., 1968. Hillslope models and soil formation II: open systems. W: *Proceedings of 9th Congress of the International Soil Science Society*, vol. 4. International Soil Science Society, Adelaide, Australia, 551-560.

Schmidt, J., Dikau, R., 1999. Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models - semantics, methods, future needs. W: Dikau, R., Saurer, H (red.), *GIS for Earth Surface Systems*. Gebrueder Borntraeger, Berlin, 154-173.

Speight, J.G., 1990. Landform. In: McDonald, et al. (red.), *Australian Soil and Land Survey Field Handbook*, 2nd ed. Inkata Press, Melbourne, 9-57.

Strahler, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions American Geophysical Union*, 38(6) 913-920.

Tagil, S., Jenness, J., 2008. GIS-Based automatic landform classification and topographic, landcover and geologic attributes of landforms around the Yazoren Polje, Turkey. *Journal of Applied Sciences*, 8(6), 12, 910-921.

Urbański, J., 2011. *GIS w badaniach przyrodniczych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 252.

Weiss, A., 2001. *Topographic Position and Landforms Analysis*. Poster presentation. ESRI User Conference, San Diego, CA (URL: http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf, 2012-02-22).

Wood, A., 1942. The development of hillside slopes. *Proceedings of the Geological Association*, 53, 128-140.