

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Zastosowanie GIS w badaniach przyrodniczych (ArcGIS Pro), Ćwiczenie 11

Rów Krzeszowski

Modelowanie podstawowych form rzeźby terenu

Wyłącznie do użytku wewnętrznego AGH

<http://home.agh.edu.pl/bartus>
01.06.2026 13:58:00

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 (Błaszczński, 1997).

Współcześnie, jedną z najszybciej rozwijających się dziedzin geomorfologii 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). 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 – LIDAR¹ 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 (NMT; *Digital Elevation Models* – DEM) (Urbański, 2012). Na podstawie NMT obliczane są podstawowe (nachylenie, ekspozycja, krzywizna stoków) i wtórne atrybuty morfometryczne (Urbański, 2012).

¹ LIDAR – (*Light Detection And Ranging*) – metoda pozyskiwania informacji o odległości za pomocą skanowania laserem i pomiar czasu, po którym odbity sygnał wraca do detektora. Pozyskane dane służą do tworzenia trójwymiarowych modeli badanych obiektów, w tym powierzchni Ziemi.

Klasyfikacja form morfologicznych na podstawie NMT 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 Pro, GeoMedia, Illwis, Idrisi. Pakiet Illwis posiada skrypt *Generic landforms*, który na podstawie atrybutów: *Slope*, *Plan curvature* i *SCI (shape complexity index)* lub *ACV (anisotropic coefficient of variation)*, oblicza kilka podstawowych form geomorfologicznych reprezentujących główne cechy rzeźby terenu (Hengl et al., 2003). 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 et al., 2008). ArcGIS Pro firmy ESRI posiada dodatki znane pod nazwami **Topography Tools** lub **Topographic Position Index (TPI)** (Jenness, 2006) oraz **Geomorfonów** (Jasiewicz & Stepinski, 2013). W tym ćwiczeniu skupimy się na Topography Tools. W pakiecie poza innymi dostępnymi narzędziami są dwa narzędzia geoprzetwarzania: *Topographic Position Index*, *Slope Position Classification*. Pierwsze służy do obliczenia Topograficznego indeksu pozycji natomiast drugie i trzecie do jego prostej bądź bardziej złożonej klasyfikacji.

Ćwiczenie zapozna nas z podstawami modelowania geomorfologicznego z zastosowaniem rozszerzenia ArcGIS Pro – **Topography Toolbox Pro**.

Ćwiczenie wymaga wcześniejszego wykonania ćwiczeń: 6 i 7.

1. Instalacja Topography Toolbox Pro

- 1.1. Pobierz narzędzie **Topography Tools Pro**.
- 1.2. Utwórz podfolder D:\ZastosowanieGISwBadaniachPrzyrodniczych\Imię_Nazwisko\ADDS\SRC\.
- 1.3. Przenieś pobrane archiwum do folderu ...\\SRC\.
- 1.4. Rozpakuj archiwum do folderu ...\\SRC\\Topography_Toolbox_Pro\.
- 1.5. Przenieś rozpakowane archiwum do folderu D:\ZastosowanieGISwBadaniachPrzyrodniczych\Imię_Nazwisko\ADDS\.
- 1.6. Upewnij się, że po wykonanych czynnościach posiadasz strukturę folderów taką jak poniżej:

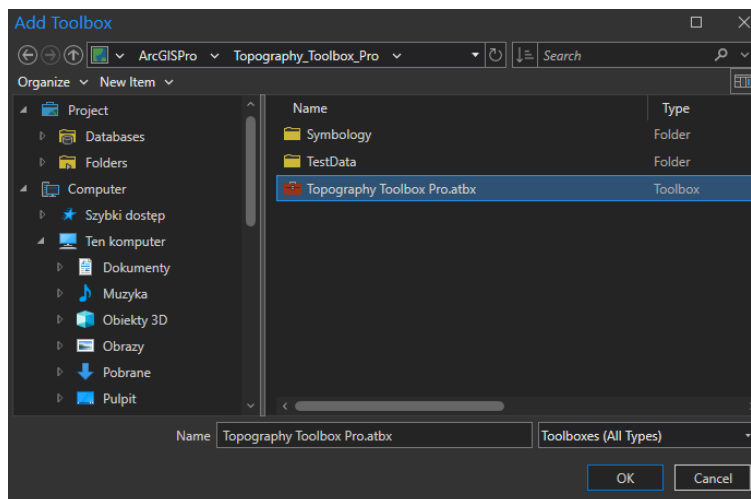
```
└─ ZastosowanieGISwBadaniachPrzyrodniczych\
    └─ Imię_Nazwisko\
        └─ ADDS\
            └─ SRC\
```

```
└─ Topography_Toolbox_Pro.zip
└─ Topography_Toolbox_Pro\
```

1.7. Otwórz projekt ArcGIS Pro RowKrzeszowicki.aprx.

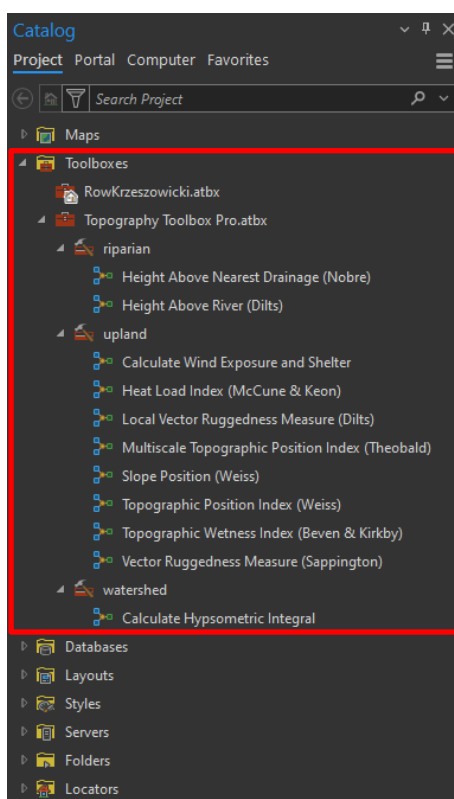
W ArcGIS Pro umożliwia używanie niestandardowych narzędzi geoprzetwarzania, które są zawarte w projektach lub tworzenie i używanie własnych niestandardowych narzędzi. Aplikacja obsługuje niestandardowe narzędzia geoprzetwarzania, które są tworzone za pomocą **ModelBuilder** lub **Python**.

1.8. Aby dodać skrzynkę narzędziową do projektu, w panelu *Catalog* kliknij ppm i z menu kontekstowego wybierz *Add > Add Toolbox (Dodaj skrzynkę narzędziową)*. Wskaż położenie pliku narzędzia (**Ryc. 1**).



Ryc. 1. Dodanie ścieżki do zestawu narzędzi Topography_Toolbox_Pro

Link do skrzynki narzędziowej jest zapisywany w projekcie w panelu *Catalog* w zakładce *Toolboxes (Skrzynki narzędziowe)* (**Ryc. 2**).

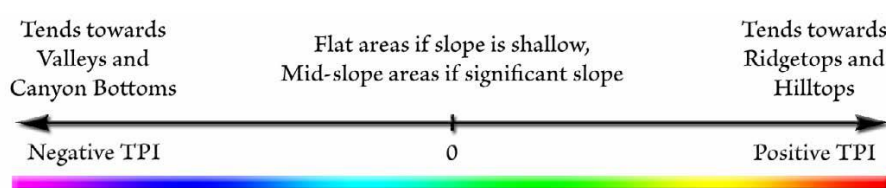


Ryc. 2. Panel *Catalog*, zakładka *Toolboxes* z widoczną strukturą narzędzi *Topography_Toolbox_Pro*

2. Topograficzny indeks pozycji

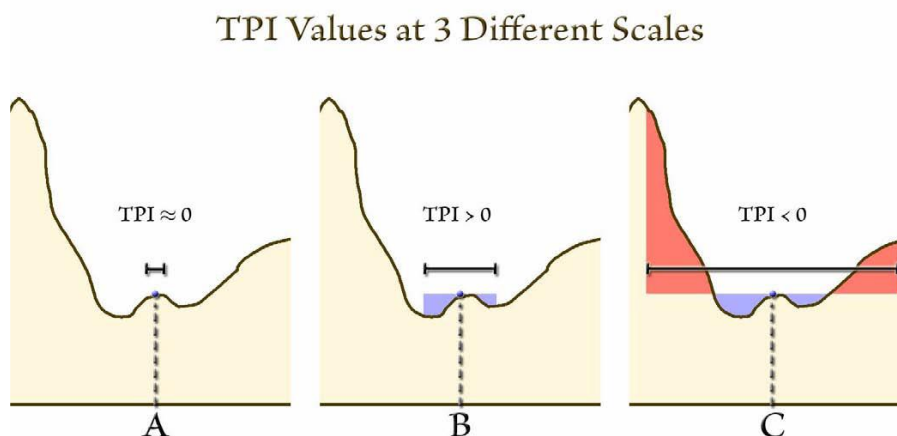
Podstawy teoretyczne **Topograficznego Indeksu Pozycji** (*Topographic Position Index* – TPI) zostały opracowane przez (Weiss, 2001) w 2001 roku. Charakteryzuje się on pomysłowym i prostym algorytmem obliczeniowym. W największym zarysie polega on na określeniu różnic pomiędzy oryginalną powierzchnią NMT, a wyliczoną powierzchnią uśrednionych wysokości. Do analizy wykorzystywane są obrazy rastrowe. Generowanie powierzchni uśrednionej przebiega półautomatycznie. Dla każdej komórki podstawowej (piksele) tej powierzchni, obliczana jest wartość przeciętna wysokości 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 (*rectangle*), koła (*circle*), pierścienia (*annulus*), wycinka koła (*wedge*) lub być nieregularne (*irregular*) – 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 obliczenia. Po ich wykonaniu maska zostaje przesunięta na kolejną komórkę i algorytm ulega powtórzeniu (technika ruchomego okna). Obliczenia dokonywane są w kolejnych obszarach analizowanego rastra, aż do wyczerpania całej jego powierzchni.

Wartości indeksu TPI są liczbami rzeczywistymi, a więc mogą być ujemne lub dodatnie. 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, **Ryc. 3**). Dodatnie 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 fragment 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.



Ryc. 3. Zmienność wartości 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 (**Ryc. 4**), jeżeli zastosujemy bardzo wąski promień sąsiedztwa, może zostać zinterpretowane jako obszar płaski. Jeżeli jednak przyjmujemy 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.

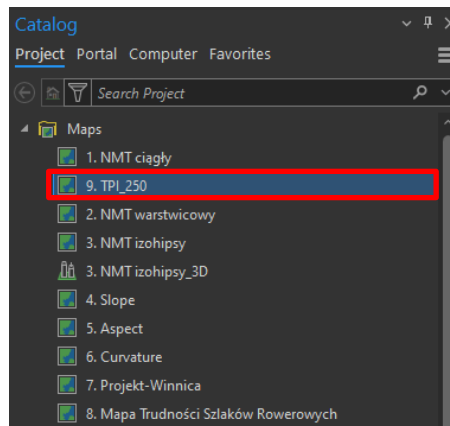


Ryc. 4. Zależność wyników interpretacji morfologicznej od skali obserwacji

Duże znaczenie w analizach ma także kształt obszaru sąsiedztwa. Niezależnie od problemów interpretacyjnych, zróżnicowanie skali obserwacji wpływa na możliwość rejestracji

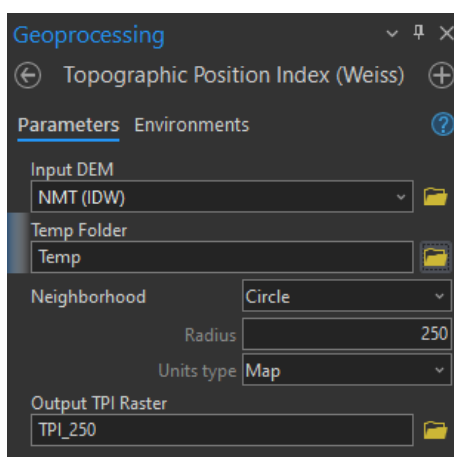
mniejszych bądź większych struktur morfologicznych (Jenness, 2006). Im zastosujemy mniejszą skalę obserwacji, tym mniejsze struktury powierzchni terenu będziemy w stanie rozpoznać, a później je sklasyfikować.

- 2.1. W panelu *Catalog*, zakładka *Maps* zduplikuj mapę o nazwie: 1. NMT ciągły.
- 2.2. Jeśli to konieczne wyłącz widoczność warstw World Topographic Map i World Hillshade.
- 2.3. Zmień nazwę zduplikowanej mapy na 9. TPI_250 (Ryc. 5).



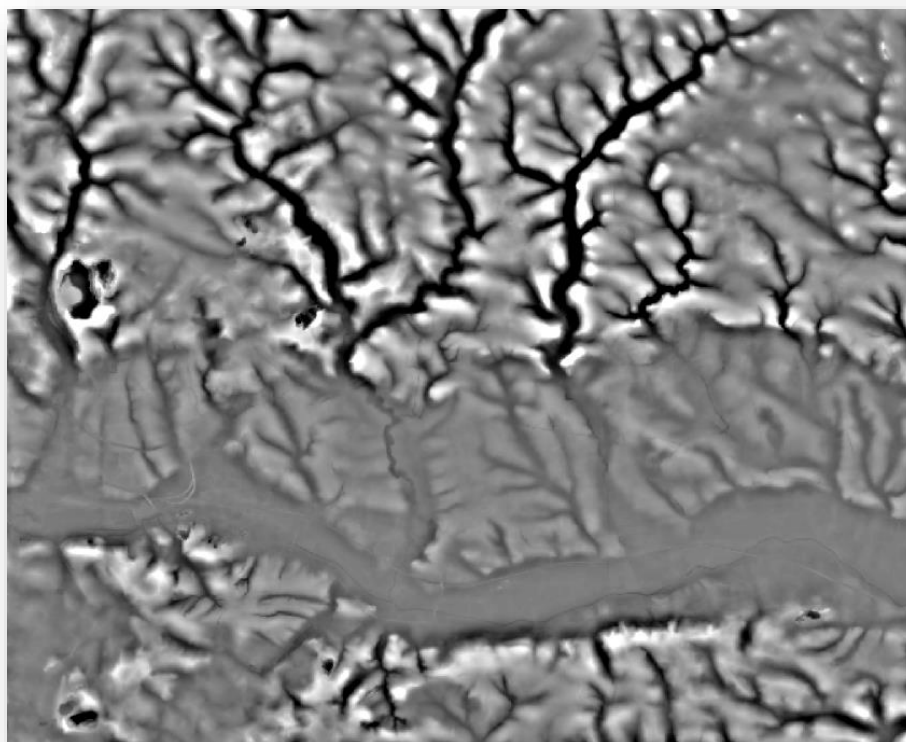
Ryc. 5. Fragment panelu *Catalog* z utworzoną mapą 9. TPI_250

- 2.4. W panelu *Catalog*, w zakładce *Toolboxes* odzyskaj zainstalowany zestaw narzędzi Topography Toolbox Pro.atbx i z zestawu upland wybierz narzędzie *Topographic Position Index (Weiss)*.
- 2.5. W panelu Geoprocessing – *Topographic Position Index (Weiss)*, jako zbiór danych wejściowych (*Input DEM*) wprowadź posiadany NMT_IDW (Ryc. 6).
- 2.6. Wybierz dowolną lokalizację folderu tymczasowego, np. D:\ZastosowanieGISwBadaniachPrzyrodniczych\Imię_Nazwisko\ADDS\TEMP.
- 2.7. Jako obszar zliczania wybierz **koło** o promieniu 250 m.
- 2.8. Rastrowy zbiór wyników o nazwie TPI_250 zapisz w projektowym podfolderze ... \NMT\.



Ryc. 6. Panel narzędzia *Geoprocessing* – *Topographic Position Index (Weiss)* z parametrami tworzenia zbioru TPI_250

W wyniku działania narzędzia uzyskujemy obraz zmienności indeksu $TPI_{(250)}$ (Ryc. 7).



Ryc. 7. Mapa zmienności indeksu TPI dla promienia sąsiedztwa 250 m

Wartości indeksu TPI zmieniają się w granicach od -44,1346 do 52,472. 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).

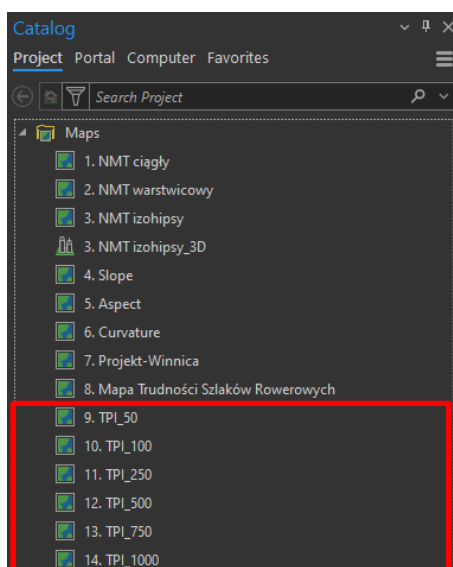
- 2.9. Utwórz pięć duplikatów mapy 9. TPI_250.
- 2.10. Zmień nazwy sześciu poszczególnych map na:

- 9. TPI_50

- 10. TPI_100
- 11. TPI_250 (dawna mapa 9. TPI_250)
- 12. TPI_500
- 13. TPI_750
- 14. TPI_1000 (Ryc. 8).

2.11. Z map 9, 10, 12, 13 i 14 usuń rastry TPI_250.

2.12. Oblicz obrazy rastrowe 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 rastry (...\\NMT\). Każdy z wyników zapisuj z odpowiednim indeksem (przypisem) opisującym zastosowany promień sąsiedztwa (np.: TPI_250) i na odpowiedniej mapie (np. 11. TPI_250) (Tab. 1).



Ryc. 8. Fragment panelu *Catalog* z utworzonymi mapami

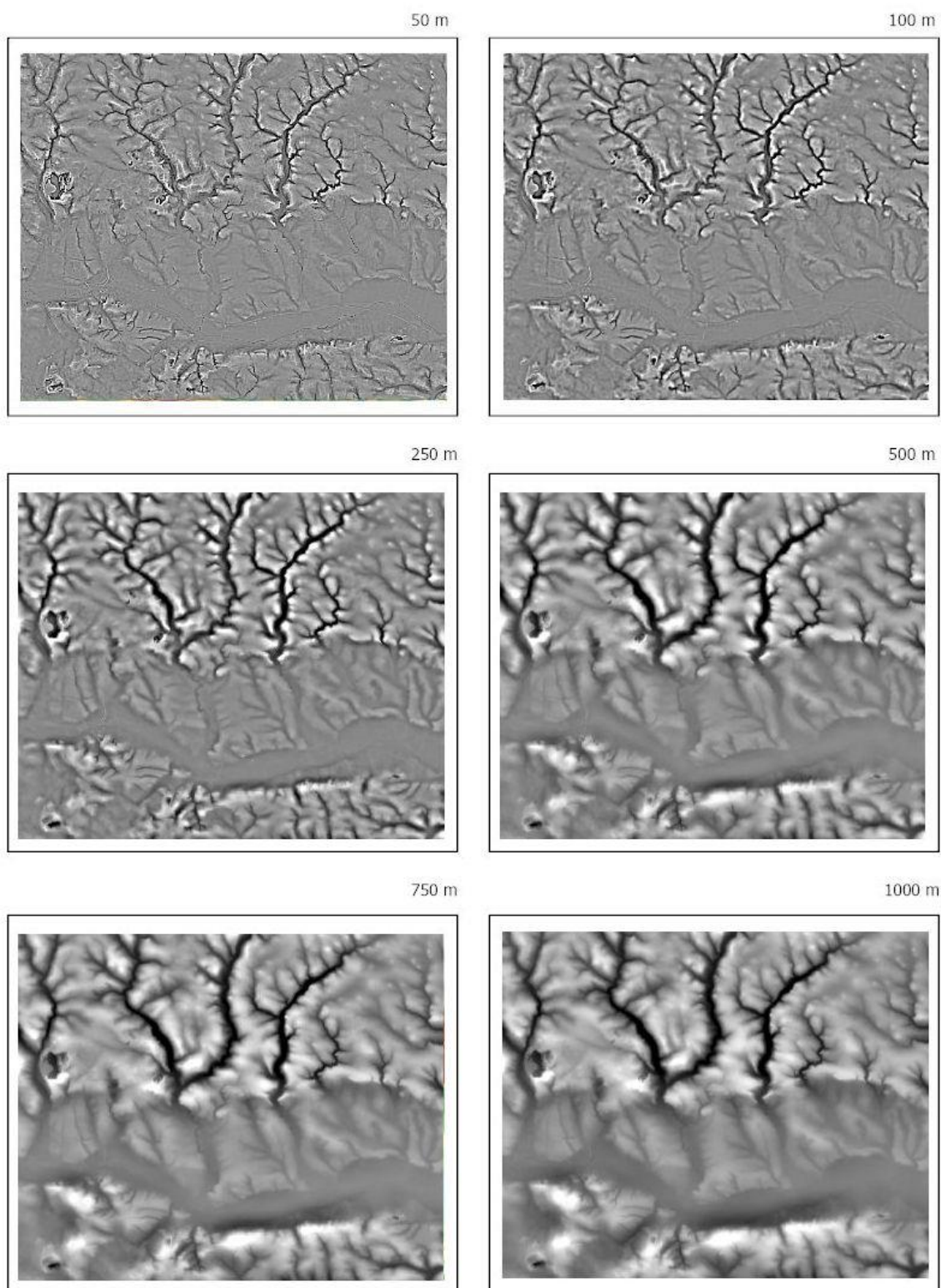
Tab. 1. Nazwy rastrów indeksu TPI oraz map, na które należy dodać odpowiednie rastry

Promień sąsiedztwa [m]	Raster indeksu TPI	Mapa
50	TPI_50	9. TPI_50
100	TPI_100	10. TPI_100
250	TPI_250	11. TPI_250
500	TPI_500	12. TPI_500
750	TPI_750	13. TPI_750
1000	TPI_1000	14. TPI_1000

2.13. Utwórz nowy *Layout* o nazwie 7. Layout TPI w formacie opisanym w Tab. 2. Do układu dodaj ramki z mapami zmienności indeksu TPI wraz ze wzrastającym promieniem sąsiedztwa (Ryc. 9).

Tab. 2. Parametry map i ich ramek

Parametr	Wartość
format	A4
układ	pionowy (portret)
skala map	1:150000
szerokość ramek map	95 mm
wysokość ramek map	80 mm

**Ryc. 9. Układ 7. Layout TPI z mapami zmienności indeksu TPI**

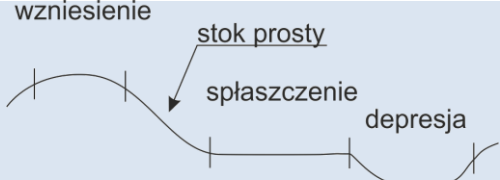
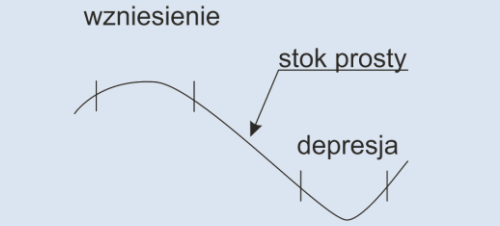
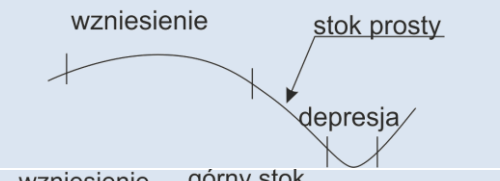
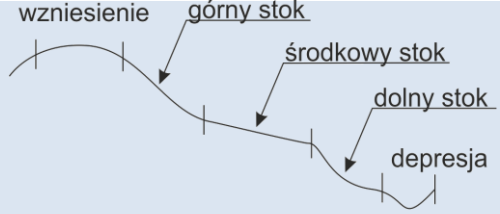
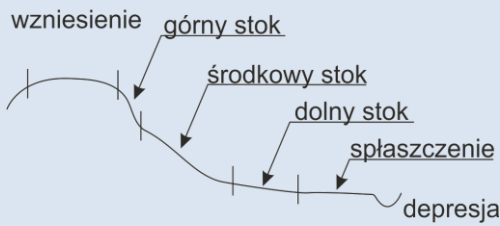
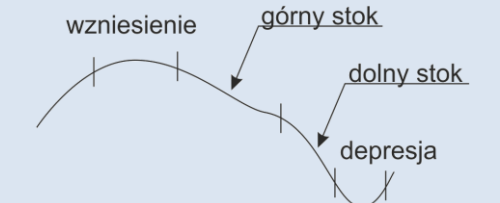
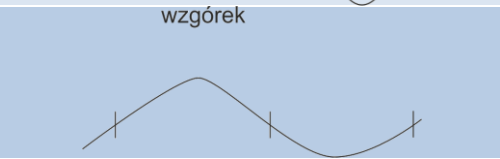
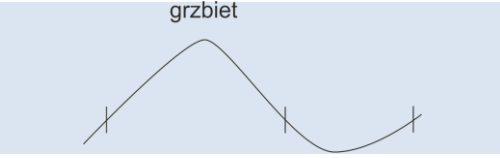
Jak widać mapy zmienności indeksu TPI sporządzone dla krótszych promieni sąsiedztwa rejestrują mniejsze struktury morfologiczne. Z kolei mapy z dużymi promieniami sąsiedztwa rejestrują struktury generalne.

3. Klasyfikacja form rzeźby terenu z wykorzystaniem jednego promienia sąsiedztwa

Powierzchnia z wyznaczonymi wartościami TPI może zostać wykorzystana do wyznaczenia map podstawowych form morfologicznych. 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; A. W. F. Wood & Snell, 1960; Dalrymple et al., 1968; Ruhe & Walker, 1968; Huggett, 1975; Pennock et al., 1987; Speight, 1990; MacMillan & Pettapiece, 2000). Większość z takich klasyfikacji powstało w wyniku badań empirycznych, modelowań lub studiów krajobrazowych. Aplikacja *Topography Tools Pro* Jennessa (2006), która wykorzystuje algorytm Weissa (2001), klasyfikuje formy terenu według australijskiego podziału Speighta (1990) (Tab. 3).

Tab. 3. Klasyfikacja form morfologicznych uwzględniająca pozycję topograficzną (Speight, 1990)

Nazwa klasy	Klasy pozycji topograficznej	Przykładowe profile terenowe
Wierzchołek (crest)	Obszar wyniesiony, cechujący się pozytywną krzywizną planarną i/lub wertykalną	wierzchołek
Depresja: otwarta, zamknięta (depression: open, closed)	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
Splaszczenie (flat)	Obszary o nachyleniu <3%	grzbiet splaszczenie
Stok (slope)	Element powierzchniowy o średnim nachyleniu >1%; dzielony na podstawie względnego położenia na podkategorie: stok prosty, stok górny, środkowy, dolny	

Stok prosty (<i>simple slope</i>)	Obszar występujący poniżej wierzchołka lub spłaszczenia oraz powyżej spłaszczenia lub depresji	  
Górny stok (<i>upper slope</i>)	Obszar występujący poniżej wierzchołka lub spłaszczenia ale nie występujący nad spłaszczeniem lub depresją	
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).

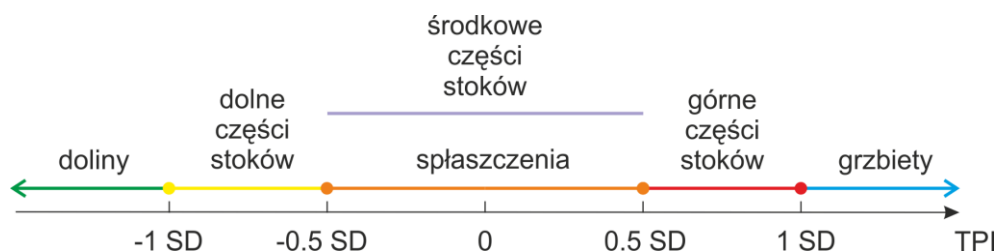
W praktyce, najbardziej rozpowszechnionym sposobem wyznaczania wartości progowych stała się metoda zaproponowana przez [Weissa \(2001\)](#), która wykorzystuje wartości odchylenia standardowego wysokości punktów znajdujących się w sąsiedztwie obliczanej komórki ([Tab. 4](#)) ([Tagil & Jenness, 2008](#)). W przedstawianym sposobie, wartości progowe wyznaczone są więc na podstawie zmienności komórek znajdujących się w sąsiedztwie, a nie na podstawie samych wartości TPI.

Tab. 4. 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>)	$TPI > 1 \text{ SD}$	

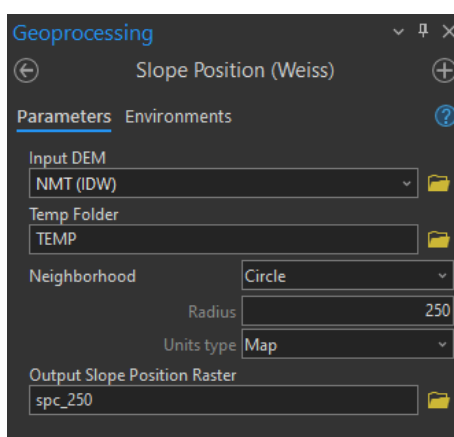
gdzie: SD – lokalne odchylenie standardowe wysokości

Zastosowanie przedstawionej metody powoduje, że komórki rastra posiadające taką samą wartość wskaźnika TPI mogą zostać sklasyfikowane jako różne formy geomorfologiczne ([Jenness, 2006](#)). Klasyfikacja [Weissa \(2001\)](#) **Slope Position Classification** 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. 4](#), [Ryc. 10](#)). Jak wynika z [Tab. 4](#), 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.



Ryc. 10. Klasyfikacja zmienności wskaźnika TPI według Weiss (2001)

- 3.1. Jeśli to konieczne otwórz na scenie kartę mapy `TPI_250`.
- 3.2. Z *Catalog*, z karty *Toolboxes* > *Topography Toolbox Pro.atbx* > *upland* wybierz narzędzie klasyfikacji zbiorów indeksu TPI wg Weiss (2001) – *Slope Position (Weiss)*.
- 3.3. Uzupełnij dane wejściowe narzędzia geoprzetwarzania. Jako raster danych wejściowych wysokości (*Input DEM*) wprowadź nasz NMT (`NMT_IDW`). Parametry definiujące sąsiedztwo to **koło** o promieniu 250 m. Zbiór wyjściowy (*Output Slope Position Raster*) określ jako `spc_250` (Ryc. 11).



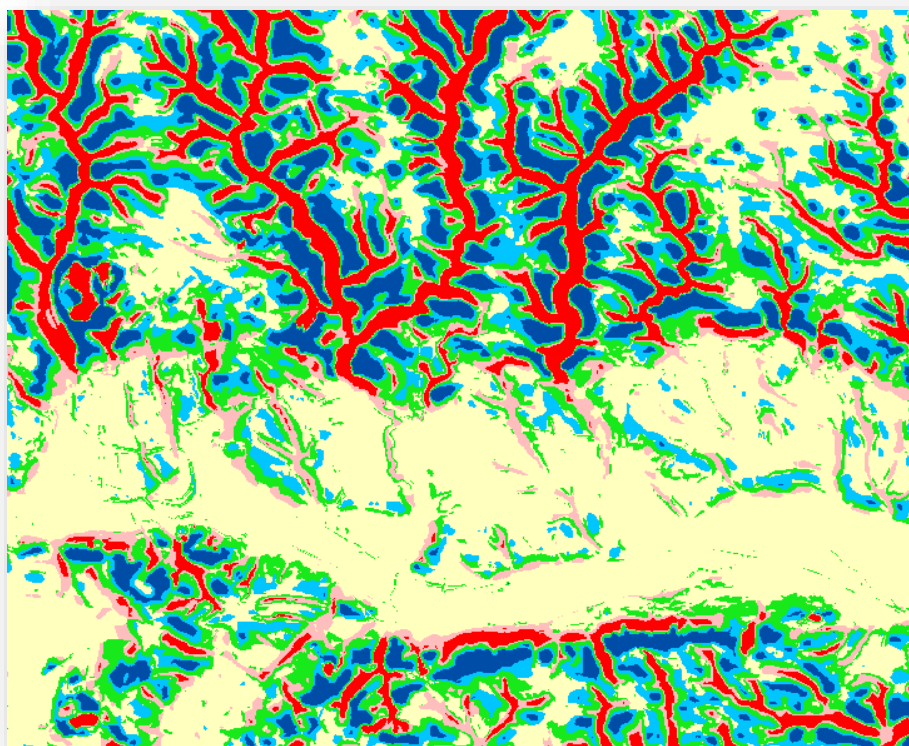
Ryc. 11. Panel narzędzia *Geoprocessing* – *Slope Position (Weiss)* służącego do klasyfikacji form morfologicznych według Weiss (2001)

W wyniku klasyfikacji na ekranie pojawi się rastrowy obraz form morfologicznych. Zmieńmy styl wygenerowanego zbioru na standardowy – dostarczony przez producentów oprogramowania.

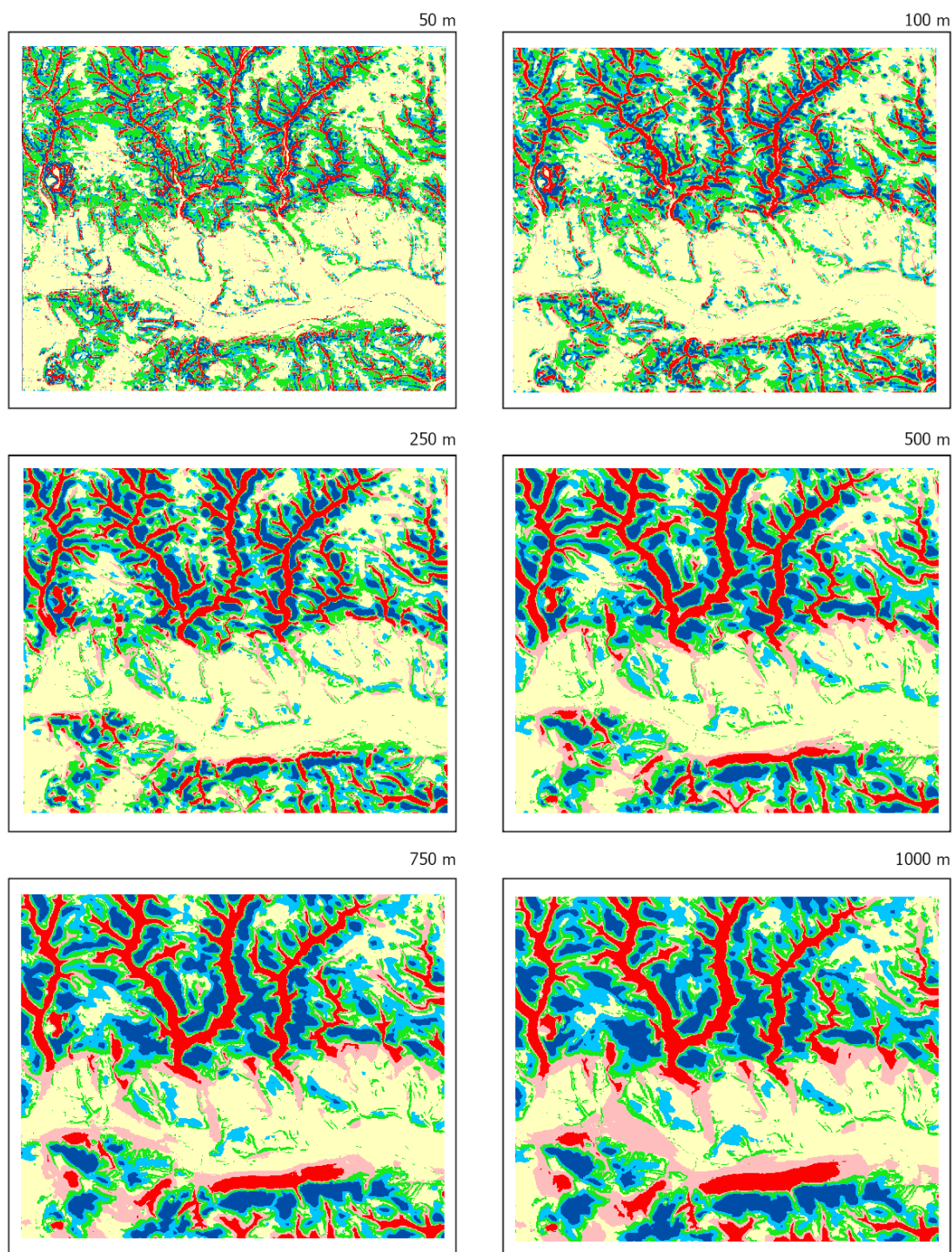
- 3.4. W tym celu przejdź do panelu *Contents*.
- 3.5. Zaznacz wygenerowany raster `spc_250`.
- 3.6. Ze wstążki aplikacji, na karcie *Raster Layer*, z grupy *Rendering* wybierz polecenie *Symbolology*.
- 3.7. Zasympolizuj poszczególne kategorie według Tab. 5.

Tab. 5. Symbolizacja klas SPC

Wartość piksela	Forma morfologiczna	Kolor	RGB
1	Ridge	Blue	0 77 168
2	Upper slope	Light Blue	0 197 255
3	Middle slope	Green	24 233 26
4	Flat slope	Yellow	255 255 190
5	Lower slope	Pink	255 190 190
6	Valley	Red	253 0 0

**Ryc. 12. Mapa klasyfikacji podstawowych form rzeźby terenu spc_250**

- 3.8. Zapisz utworzoną symbologię do pliku warstwy (*layer file*) o nazwie `SPC.lyrx`. W tym celu w panelu *Contents* zaznacz warstwę `spc_250` i na karcie *Share*, w grupie *Save As* wybierz polecenie *Layer File*.
- 3.9. Na pięciu kolejnych mapach, wygeneruj 5 klasyfikacji SPC: `SPC_60`, `SPC_100`, `SPC_500`, `SPC_750` i `SPC_1000`.
- 3.10. Każdej utworzonej warstwie SPC zaimportuj symbologię z wcześniej utworzonego pliku `SPC.lyrx`.
- 3.11. Otwórz układ 7. *Layout TPI*.
- 3.12. Wyniki klasyfikacji SPC przedstaw w osobnym dokumencie .pdf A4 (Ryc. 13).



Ryc. 13. Mapy klasyfikacji podstawowych form rzeźby terenu. Kategorie jak na Tab. 5

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.

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

4. Bibliografia

- Blaszczyński, J. S. (1997). Landform characterization with Geographic Information Systems. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(2), 183–191. https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1997journal/feb/1997_feb_183-191.pdf
- Dalrymple, J. B., Blong, R. J., & Conacher, A. J. (1968). An hypothetical nine unit landsurface model. *Zeitschrift Fur Geomorphologie*, 12(1), 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. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.12.014>
- Hengl, T., Gruber, S., & Shrestha, D. P. (2003). *Digital terrain analysis in ILWIS. Lecture notes and user guide*. ITC, Enschede, Netherlands.
- Hengl, Tomislav., & Reuter, H. I. . (2009). *Geomorphometry : concepts, software, applications*. Elsevier.
- 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.
- Huggett, R. J. (1975). Soil landscape systems: A model of soil Genesis. *Geoderma*, 13(1), 1–22. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(75\)90035-X](https://doi.org/10.1016/0016-7061(75)90035-X)
- Jasiewicz, J., & Stepinski, T. F. (2013). Geomorphons — a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology*, 182, 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.005>
- Jenness, J. (2006). *Topographic Position Index (tpi_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3a*. Jenness Enterprises. <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>
- Klingseisen, B., Metternicht, G., & Paulus, G. (2008). Geomorphometric landscape analysis using a semi-automated GIS-approach. *Environmental Modelling & Software*, 23(1), 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.05.007>
- 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. <https://open.alberta.ca/dataset/7e8d2d90-187e-4697-b9e1-67d90df852d3/resource/46cbfee0-5133-445c-be68-75307e76c03f/download/alberta-landforms-2000-11.pdf>
- Pennock, D. J., Zebarth, B. J., & De Jong, E. (1987). Landform classification and soil distribution in hummocky terrain, Saskatchewan, Canada. *Geoderma*, 40(3-4), 297-315. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(87\)90040-1](https://doi.org/10.1016/0016-7061(87)90040-1)
- Ruhe, R. V., & Walker, P. H. (1968). Hillslope models and soil formation II: Open systems. *Proceedings of 9th Congress of the International Soil Science Society, Vol. 4*, 551-560.
- Schmidt, J., & Dikau, R. (1999). Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models – semantics, methods, future needs. In R. Dikau & H. Saurer (Eds.), *GIS for Earth Surface Systems* (pp. 154-173). Gebrueder Borntraeger.
- Speight, J. G. (1990). Landforms. In R. C. McDonald, R. F. Isabell, J. G. Speight, J. Walker, & Hopkins M.S. (Eds.), *Australian Soil and Land Survey Field Handbook* (2nd ed., pp. 9-57). Inkata Press.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 913-920.
- Tagil, S., & Jenness, J. (2008). GIS-Based Automated Landform Classification and Topographic, Landcover and Geologic Attributes of Landforms Around the Yazoren Polje, Turkey. *Journal of Applied Sciences*, 8(6), 910-921. <https://doi.org/10.3923/jas.2008.910.921>
- Urbański, J. (2012). *GIS w badaniach przyrodniczych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego,.
- Weiss, A. D. (2001). Topographic Position and Landforms Analysis. *ESRI User Conference*. http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf
- Wood, A. (1942). The development of hillside slopes. *Proceedings of the Geologists' Association*, 53(3-4), 128-IN3. [https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(42\)80019-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(42)80019-X)
- Wood, W. F., & Snell, J. B. (1960). A quantitative system for classifying landforms. *U.S. Army Natick Lab., Tech. Rep., EP-124*, 1-20.