

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Zastosowanie GIS w badaniach przyrodniczych (ArcGIS Pro), Ćwiczenie 12

Rów Krzeszowski

Modelowanie podstawowych form rzeźby terenu metodą geomorfonów

Na podstawie Jasiewicz & Stępiński (2013)
Wyłącznie do użytku wewnętrznego AGH

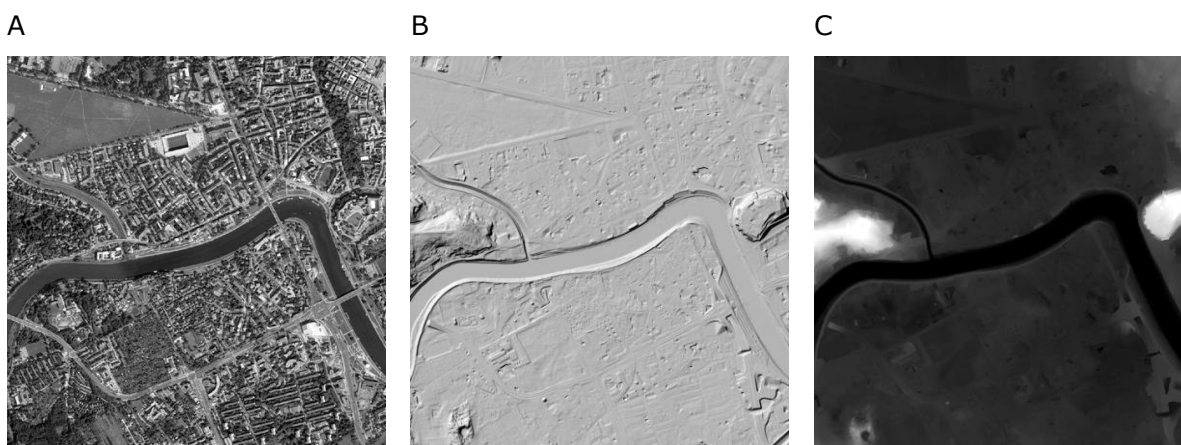
<http://home.agh.edu.pl/bartus>
17.10.2024 17:41:00

Wprowadzenie

W ćwiczeniu 11 modelowaliśmy podstawowe formy rzeźby terenu za pomocą indeksu TPI (Weiss 2001; Janess 2006). W tym ćwiczeniu pozostaniemy w tej problematyce ale zajmiemy się nowszą metodą pozyskiwania danych o rzeźbie terenu – metodą **geomorfonów** (Jasiewicz & Stępiński 2013).

Metodyka

W bibliografii znanych jest wiele metod klasyfikacji Numerycznych Modeli Terenu (NMT) oraz podstawowych atrybutów topograficznych w celu wyłonienia charakterystycznych elementów rzeźby terenu. W metodzie geomorfonów zastosowano nowatorskie podejście, zbliżone do podejścia analityków, którzy w latach przed rewolucją informatyczną, dokonywali ręcznej klasyfikacji obszarów w celu wyłonienia podstawowych elementów morfologii terenu. Ludzie ci nie podejmowali decyzji o klasyfikacji elementów rzeźby na podstawie zmiennych morfometrycznych lecz identyfikowali na mapach warstwicowych i cieniowanych reliefach terenu całe wzorce topograficzne odpowiadające poszczególnym formom terenu (Ryc. 1).



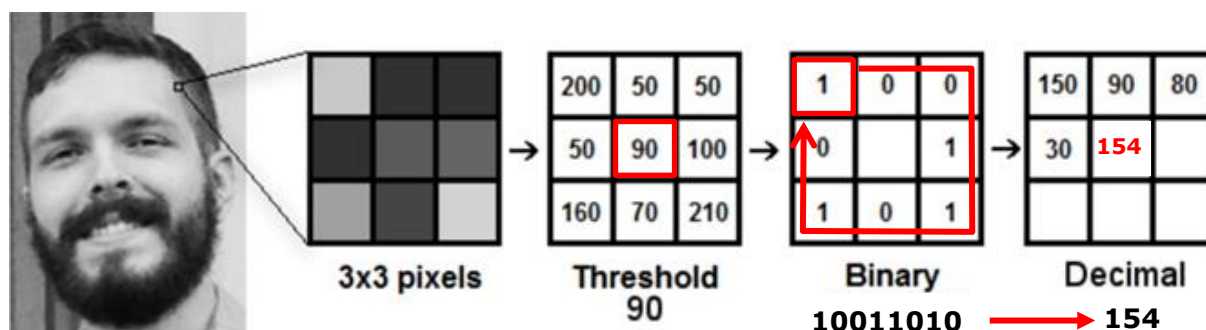
Ryc. 1. Wisła w Krakowie; A – ortofotomapa, B – cieniowany relief terenu, C – NMT; dane: Geoportal Krajowy

W metodzie geomorfonów, podobnie jak podczas analogowej klasyfikacji prowadzonej dawniej w oparciu o mapy i zdjęcia lotnicze, badacz opiera analizę o dane w postaci obrazów rastrowych. Pod tym względem dawne zdjęcia lotnicze wykonywane w skali szarości niczym nie różnią się od współczesnych NMT. Jedne i drugie za pomocą skali barw (fototonów) przedstawiają intensywność obserwowanych zjawisk. Zdjęcia lotnicze składają się ze skomplikowanych wzorów pikseli wyrażonych kolorami albo poziomami szarości, podobnie jak NMT składają się ze skomplikowanych wzorów wartości wysokości. O klasyfikacji analizowanego obszaru (struktury) na podstawie zdjęcia

lotniczego decydowała więc tekstura (wzorec) fototonów. Rozpoznawanie form rzeźby terenu jest więc zagadnieniem rozpoznawania tekstur.

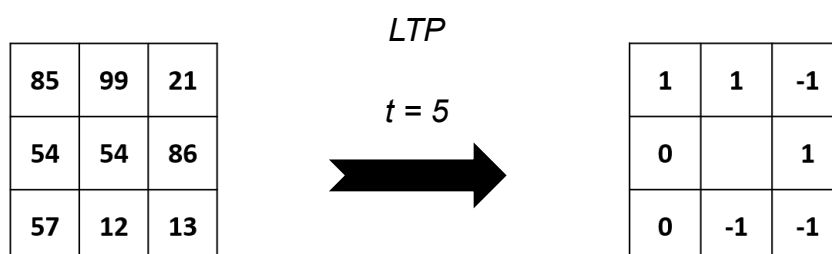
Wzorce tekstur

W analizach komputerowych, do rozpoznawania tekstur obrazów wykorzystywane są tzw. **Lokalne Wzorce Binarne** – *Local Binary Patterns (LBP)* (Ojala i in. 2002). LBP są zbudowane z lokalnego sąsiedztwa wokół komórki centralnej (piksele) o wielkości 3×3 piksele. 8 sąsiadów komórki centralnej są oznaczane jako „0” jeśli poziom szarości sąsiada jest mniejszy niż poziom szarości komórki centralnej lub „1” w przeciwnym razie (Ryc. 2). Binarne wartości przypisane sąsiadom są odczytywane w odpowiednim porządku, a następnie konwertowane na system dziesiętny. Wynik konwersji jest przypisywany komórce centralnej jako wzorec tekstury.



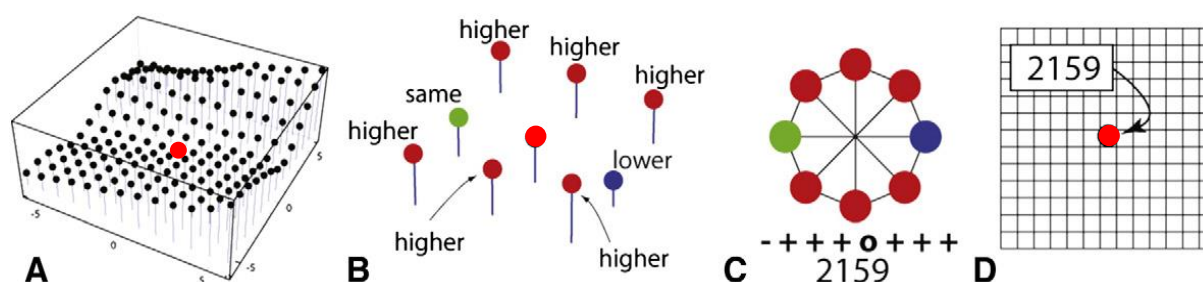
Ryc. 2. Idea LBP; liczba binarna opisująca wzorec wymaga wyboru pola najmłodszego bity (tutaj lewy górny róg matrycy) oraz kierunku porządkowania wartości pikseli (tutaj zgodnie z ruchem wskazówek zegara). Przeliczenie liczby binarnej 10011010 na system dziesiętny daje liczbę 154 opisującą wzorec binarny

Rozszerzeniem LBP do wzorców 3-wartościowych (-1, 0 i 1 albo 0, 1, 2) są **Lokalne Wzorce Trójskładnikowe** – *Local Ternary Patterns (LTP)* (Liao 2010). Określa się w nich wartość progową t . Sąsiad jest oznaczany jako „1” jeśli jego wartość przekracza wartość komórki centralnej co najmniej o t . Sąsiad jest oznaczony jako „-1” jeśli jego wartość jest co najmniej o t mniejsza niż wartość komórki centralnej. W przeciwnym razie sąsiad jest oznaczony jako „0” (Ryc. 3).



Ryc. 3. Idea LTP; objaśnienia w tekście

LTP są wykorzystywane w metodzie geomorfonów. Spójrzmy na Ryc. 4.



Ryc. 4. Konceptcja zastosowania LTP do klasyfikacji form terenu w metodzie geomorfonów (Jasiewicz & Stępiński 2013; zmienione); objaśnienia w tekście

Ryc. 4A ilustruje fragment NMT w sąsiedztwie komórki centralnej (czerwony punkt). Z oględzin wynika, że komórka centralna jest położona w elemencie rzeźby terenu przypominającym dolinę. Ryc. 4B pokazuje 8 pikseli będących bezpośrednimi sąsiadami komórki centralnej. Piksele są oznaczone różnymi kolorami aby wskazać, czy ich wartości wysokości są wyższe (kolor bordowy), niższe (kolor niebieski) lub mają taką samą wartość wysokości jak komórka centralna (kolor zielony). Rysunek Ryc. 4C na trzy różne sposoby pokazuje obserwowany wzorec LTP:

1. wizualnie, jako ośmiokąt z pokolorowanymi wierzchołkami zgodnie z konwencją z rysunku Ryc. 4B.
2. jako ciąg trzech symboli („+” – wyższy, „-” – niższy i „0” – taki sam); pierwszy symbol (najmłodszy) w ciągu, odpowiada wschodniemu sąsiadowi, a kolejne symbole odpowiadają sąsiadom w kolejności przeciwnej do ruchu wskazówek zegara.
3. jako liczbę dziesiętną, którą obliczamy jako sumę skonwertowanych na system dziesiętny cyfr ze slotów liczby 8-tritowej (zob. Tab. 1).

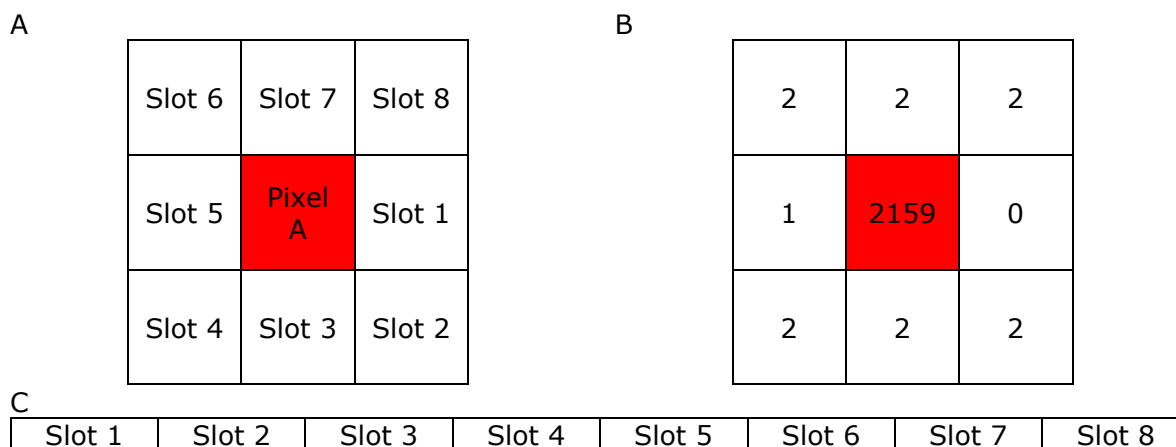
Tab. 1. Przeliczenie wzorców LTP na postać dziesiętną

	Piksele	-	+	+	+	0	+	+	+
A	Trity ¹	0	2	2	2	1	2	2	2
B	Pozycja trita (3 ⁿ)	3 ⁷	3 ⁶	3 ⁵	3 ⁴	3 ³	3 ²	3 ¹	3 ⁰
C	Konwersja sys. „3” na sys. „10”	2187	729	243	81	27	9	3	1
D	A × C	0	1458	486	162	27	18	6	2
E	Liczba w sys. „10” (Σ D)	2159							

Reprezentacją tekstury w zaprezentowanym przykładzie jest liczba dziesiętna **2159**. Ta zwarta reprezentacja służy jako etykieta ale należy podkreślić, że cała struktura wzorca może zostać z niej w każdej chwili odzyskana. Wreszcie Ryc. 4D

¹ **System trójkowy** – pozycyjny system liczbowy, w którym podstawą jest liczba 3. Do zapisu liczb są potrzebne trzy cyfry: 0, 1 i 2. Cyfry trójkowe często nazywa się **tritami** na podobieństwo bitów w systemie binarnym.

wskazuje, że centralna komórka została sklasyfikowana jako **geomorfon #2159** (Ryc. 5).



Ryc. 5. Matryca pikseli wokół komórki centralnej, w oparciu o którą definiowane są wzory tekstur; A – kolejność slotów we wzorcu trójskładnikowym, B – wartości tritów przypisane slotom wzorca odpowiadające sytuacji z Ryc. 4, C – kolejność slotów liczby 8-tritowej opisującej geomorfony

Okazuje się, że zbiór wszystkich możliwych wzorców trójskładnikowych *LTP* jest skończony. Biorąc pod uwagę symetrię obrotową i odbiciową, istnieje tylko **498** różnych wzorców *LTP*. Wzorce te (i związane z nimi archetypy ukształtowania terenu) nazywamy geomorfonami (zob. dalej **Klasyfikacja geomorfonów**).

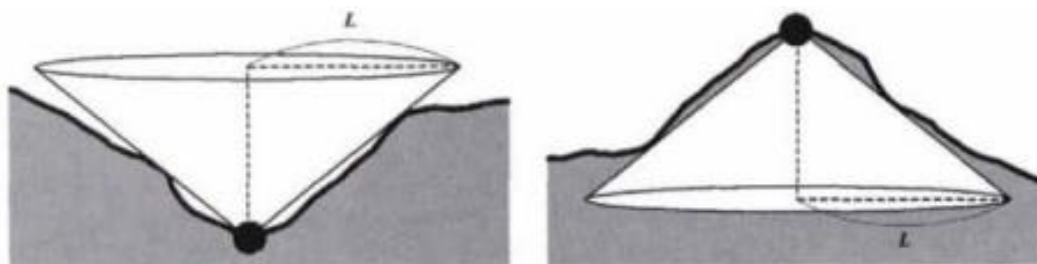
Geomorfony są wyodrębnianymi z oryginalnego NMT podstawowymi mikrostrukturami krajobrazu.

Otwartość terenu

W praktyce, trójskładnikowy wzorec charakteryzujący typ terenu w sąsiedztwie komórki centralnej jest określany nie na podstawie pikseli otaczających komórkę centralną i techniki ruchomego okna ale na podstawie parametru morfometrycznego nazywanego **otwartością terenu (Δ)** (Yokoyama i in. 2002).

Otwartość terenu to parametr morfometryczny, który opisuje wklęsłości i wypukłości powierzchni morfologicznej. Jest to kątowa miara relacji pomiędzy rzeźbą terenu a odległością poziomą. Obejmuje zasadę linii wzroku terenu. Jest obliczana na podstawie kątów **zenitu** i **nadiru** wzdłuż ośmiu głównych kierunków świata. Otwartość ma dwie perspektywy:

- wartości dodatnie wyrażające otwartość nad powierzchnią terenu,
- wartości ujemne opisują tę cechę pod jego powierzchnią (Ryc. 6).

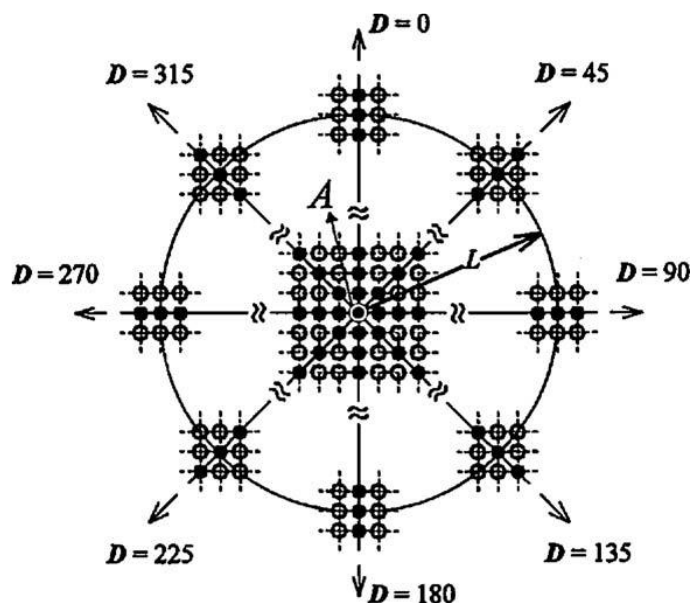


Ryc. 6. Otwartość terenu pozytywna (z lewej) i ujemna (z prawej) (Luo i in. 2014); pogrubione linie ukazują powierzchnię morfologiczną; parametr L wyznacza skalę obliczeń (odległość) od rozważanego punktu NMT (czarna kropka)

Obliczenie otwartości terenowej wymaga zdefiniowania skali obserwacji, czyli odległości jaką będziemy uwzględniać przy określaniu morfologii terenu wzdłuż 8 głównych kierunków świata.

Obliczenie otwartości terenu w rastrze NMT, w punkcie (piksela) A , ze skalą przestrzenną L obejmuje następujące kroki:

1. dla każdego kierunku azymutu D (0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° i 315°) od punktu A (komórka centralna) do odległości L oblicza się 8 profili wysokościowych (Ryc. 7).



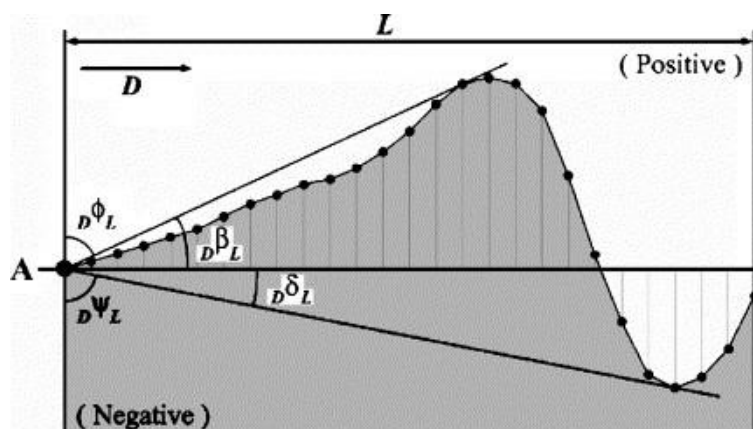
Ryc. 7. Fragment NMT w otoczeniu piksela centralnego A (w granicach skali obserwacji L); pokazano linie profili o azymutach D wzdłuż których będą dokonywane obliczenia (Jasiewicz & Stępiński 2013)

2. Dla wyznaczonych profili oblicza się zestawy kątów elewacji² ${}_D S_L$. Na Ryc. 8 byłyby to linie łączące punkt A z każdą ciemną kropką zaznaczoną na profilu morfologicznym.
3. obliczenie dla punktu A i danego azymutu **maksymalnego kąta elewacji** (${}_D \beta_L$; Ryc. 8; Wzór 1).

$${}_D \beta_L = \max({}_D S_L) \quad (1)$$

4. obliczenie dla punktu A i danego azymutu **minimalnego kąta elewacji** (${}_D \delta_L$; Ryc. 8; Wzór 2).

$${}_D \delta_L = \min({}_D S_L) \quad (2)$$



Ryc. 8. Maksymalny (pozytywny) (${}_D \beta_L$) i minimalny (negatywny) kąty elewacji (${}_D \delta_L$) wyznaczone dla profilu przebiegającego od punktu A, wzdłuż azymutu D , do odległości L (Jasiewicz & Stępiński 2013)

5. obliczenie kątów zenitalnych³ (Wzór 3).

$${}_D \phi_L = 90^\circ - {}_D \beta_L \quad (3)$$

6. obliczenie kątów nadiowych⁴ (Wzór 4).

$${}_D \psi_L = 90^\circ - {}_D \delta_L \quad (4)$$

² **Kąt elewacji** jest liczony dla każdego piksela rastra wzdłuż profilu reprezentowanego na Ryc. 8 przez małe czarne kropki.

- Kąt elewacji jest dodatni jeśli odległy punkt jest wyższy niż A;
- Kąt elewacji jest ujemny jeśli odległy punkt jest niższy niż A.

³ **Kąt zenitalny** jest kątem między zenitem a linią wzroku.

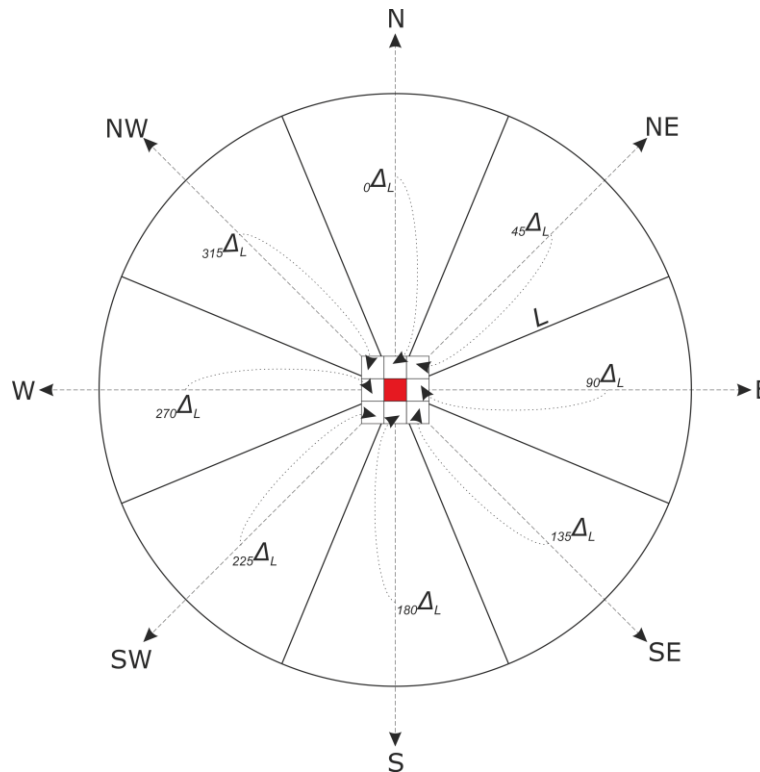
⁴ **Kąt nadiowy** jest kątem między najniższym kątem a hipotetyczną linią wzroku wynikającą z odbicia profilu wysokościowego względem płaszczyzny poziomej. Zarówno kąty zenitalne, jak i nadiowe są dodatnio zdefiniowane i mieszczą się w zakresie od 0° do 180° .

Dla 8 slotów wzorca opisującego geomorfon danego piksela centralnego, dla danego kierunku D i odległości L obliczane są otwartości terenowe ${}_D\Delta_L$ (Wzór 5).

$${}_D\Delta_L = \begin{cases} 1 & \text{if } {}_D\Psi_L - {}_D\Phi_L > t \\ 0 & \text{if } |{}_D\Psi_L - {}_D\Phi_L| < t \\ -1 & \text{if } {}_D\Psi_L - {}_D\Phi_L < -t \end{cases} \quad (5)$$

Gdzie: D – azymut profilu; L – odległość (skala obserwacji); t – próg płaskości (najczęściej przypisuje mu się wartość 1°); **1** – wartości tritów dla kierunku, w którym morfologia względem komórki centralnej wznosi się; **0** – wartości tritów dla kierunku, w którym morfologia względem komórki centralnej jest płaska; **-1** – wartości tritów dla kierunku, w którym morfologia względem komórki centralnej opada

Wzór 5 ma dwa wolne parametry, jeden to odległość wyszukiwania L , a drugi to próg płaskości t . Najczęściej przypisuje mu się wartość 1° . Obliczone wartości otwartości terenu ${}_D\Delta_L$ są następnie przypisywane slotom opisującym wzorec tekstury dla piksela centralnego (Ryc. 9).

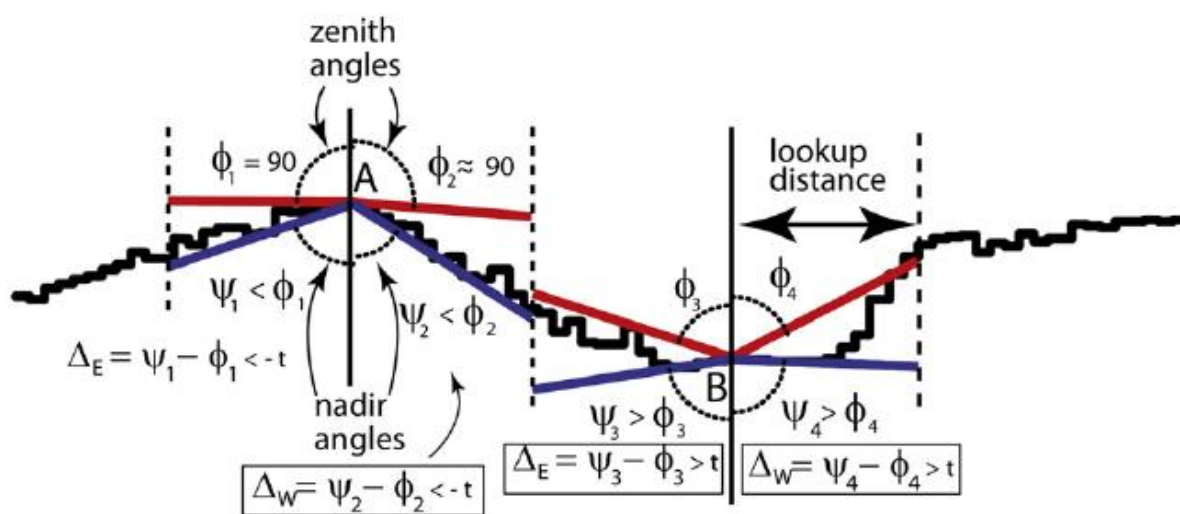


Ryc. 9. Przypisanie otwartości terenowej ${}_D\Delta_L$ obliczonej dla odległości L i głównych kierunków świata, do slotów opisujących geomorfon komórki centralnej

Slotowi geomorfonu jest przypisywana wartość „1” gdy wzdłuż danego azymutu, kąt nadirowy (ψ) jest większy od kąta zenitalnego (φ) (Wzór 5). Wtedy różnica kątów (${}_D\Psi_L - {}_D\Phi_L$) zawsze da liczbę większą od progu płaskości t . Sytuacje takie zdarzają się gdy na danym azymucie morfologia terenu obserwowana względem komórki centralnej wznosi się (zob. Ryc. 10). Slotowi geomorfonu jest przypisywana wartość „0” gdy wzdłuż danego azymutu różnica (${}_D\Psi_L - {}_D\Phi_L$) jest mniejsza od progu płaskości t lub większa od $-t$. W praktyce, gdy próg płaskości zostanie zdefiniowany jako 1° , oznacza to przedział $<-1^\circ; 1^\circ>$. Dzieje się tak w miejscach, w których morfologia obserwowana względem komórki

centralnej nie wznosi się ani nie opada (jest płaska). Wreszcie slotowi geomorfonu jest przypisywana wartość „-1” gdy wzdłuż danego azymutu kąt nadirowy (ψ) jest mniejszy od kąta zenitalnego (ϕ), a tym samym różnica (${}_D\psi_L - {}_D\phi_L$) jest mniejsza od $-t$. Miejsca takie zdarzają się gdy na danym azymucie morfologia terenu obserwowana względem komórki centralnej opada (zob. Ryc. 10).

Ryc. 10 przedstawia przykładowy profil terenu na linii zachód–wschód. Do interpretacji wybrano dwa miejsca, które oznaczono odpowiednio literami A i B. Wizualnie można je scharakteryzować jako szczyt i obniżenie terenu. Dla każdego punktu dostępne są profile wysokościowe w dwóch kierunkach (zachodnim i wschodnim) oraz pokazane są odpowiadające im kąty zenitu (ϕ) (czerwone) i nadiru (ψ) (niebieskie).



Ryc. 10. Koncepcja kątów zenitalnych (ϕ ; czerwone) i nadirowych (ψ ; niebieskie) w obliczeniach otwartości terenu Δ (Jasiewicz & Stępiński 2013); objaśnienia w tekście

W punkcie A kąty nadirowe (ψ_1 i ψ_2) są mniejsze od kątów zenitalnych, odpowiednio (ϕ_1 i ϕ_2), dlatego różnice (${}_E\psi_1 - {}_E\phi_1$) oraz (${}_W\psi_2 - {}_W\phi_2$) są mniejsze od $-t$. Dlatego slotom wzorca opisującym punkt A i kierunki E oraz W przypisane zostaną wartości „-1” (Wzór 5). Taka sytuacja opisuje górskie szczyty lub grzbiety.

Z kolei w punkcie B kąty nadirowe (ψ_3 i ψ_4) są większe od kątów zenitalnych, odpowiednio (ϕ_3 i ϕ_4), dlatego różnice (${}_E\psi_3 - {}_E\phi_3$) oraz (${}_W\psi_4 - {}_W\phi_4$) są większe od t . Tym razem slotom wzorca opisującym punkt B i kierunki E oraz W przypisane zostaną wartości „1” (Wzór 5). Taka sytuacja opisuje kotliny lub doliny.

Używając metody ruchomego okna, piksel po pikselu, skanujemy NMT, obliczając dla każdego piksela i dla wszystkich ośmiu głównych kierunków świata, wartości ${}_D\Delta_L$. Otrzymujemy w ten sposób dla danego piksela centralnego trójskładnikowy wzorec tekstury, który jest przechowywany w komórce nowego rastra opisującego geomorfony.

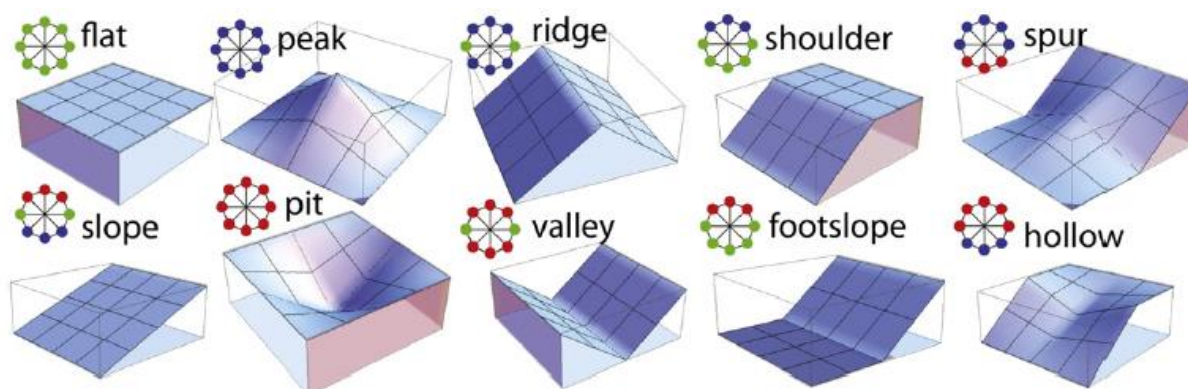
Biorąc pod uwagę, że każdy *LTP* ma po 8 slotów (Ryc. 5C), istnieje łącznie $3^8=6561$ teoretycznie możliwych różnych wzorców. W rzeczywistości nie jest ich jednak tak wiele, bo wiele z nich jest wynikiem rotacji lub odbicia innych wzorów. Eliminując takie wielokrotności otrzymujemy zestaw **498 wzorów**. Jak wcześniej zauważono, wzorce te określamy jako geomorfony. **Geomorfony** stanowią kompleksowy i wyczerpujący zestaw wyidealizowanych elementów ukształtowania terenu.

Powstaje pytanie na czym polega zaleta korzystania z sąsiedztwa opierającego się na linii wzroku (i otwartości terenowej) w stosunku do sąsiedztwa opartego o siatkę pikseli znajdujących się w otoczeniu komórki centralnej. W przypadku gdybyśmy podczas obliczania trójskładnikowych wzorów (Ryc. 5C) korzystali z siatki pikseli, moglibyśmy rejestrować tylko niewielkie struktury w najbliższym otoczeniu piksela centralnego (Ryc. 5A). Korzystanie z otwartości terenowej wprowadza do analiz element odległości *L* od piksela centralnego. To pozwala na identyfikację elementów ukształtowania terenu w dowolnie wybranej skali obserwacji (Ryc. 9). W praktyce, stosując większe wartości *L*, możemy jednocześnie identyfikować elementy ukształtowania terenu w szerszym zakresie skal obserwacji niż byłoby to możliwe w przypadku sąsiedztwa opartego na siatce pikseli.

Klasyfikacja geomorfonów

Raster z przypisanymi geomorfonami jest przydatny do klasyfikacji obszarów pod względem typów ukształtowania terenu. Jednak, ze względów praktycznych, trzeba zmniejszyć liczbę elementów ukształtowania terenu rejestrowanych na mapie geomorfometrycznej. Osiąga się to poprzez grupowanie geomorfonów w klasy odpowiadające najczęściej rozpoznawalnym elementom ukształtowania terenu.

W typowym krajobrazie najczęściej występującymi formami rzeźby terenu są: obszary płaskie (*flat*), szczyty (*peak*), grzbiety (*ridge*), górne załomy stoków (*shoulder*), ostrogi (*spur*), stoki (*slope*), zagłębienia terenu (*pit*), doliny (*valley*), dolne załomy stoków (*footslope*) i niecki (*hollow*). Ich symboliczne modele 3D i odpowiadające im *LTP* pokazano na Ryc. 11. Spoglądając na symbole geomorfonów można zauważyć, że charakteryzują się małą liczbą przejść między elementami trójskładnikowymi (1, 0, -1). Jest to związane ze zjawiskiem autokorelacji przestrzennej.



Ryc. 11. Trójwymiarowe modele najczęściej spotykanych elementów rzeźby terenu i ich geomorfony (Jasiewicz & Stępiński 2013)

Przyjrzyjmy się jak dla różnych elementów rzeźby zmieniają się elementy trójskładnikowe *LTP* opisujące główne kierunki świata. Geomorfony dla obszarów płaskich, szczytów i zagłębień terenu mają 0 przejść, ponieważ wszystkie trójskładnikowe elementy w ich wzorach są takie same. Dolne i górne załomy stoków, ostrogi, niecki oraz doliny mają 2 przejścia, podczas gdy grzbiety, doliny i stoki mają 4 przejścia. Geomorfony o bardziej skomplikowanych morfologiach, na przykład siodła, mają więcej przejść (do 8) ale takie są stosunkowo rzadkie.

Aby stworzyć mapę geomorfometryczną zawierającą 10 najbardziej rozpoznawalnych geomorfonów, musimy uprościć cały zestaw 498 geomorfonów do 10 wybranych form. Autorzy metody do klasyfikacji geomorfonów wybrali formułę opartą o tablicę przeglądową zbudowaną na podstawie podobieństwa między trójskładnikowymi wzorcami reprezentującymi geomorfony (Ryc. 12).

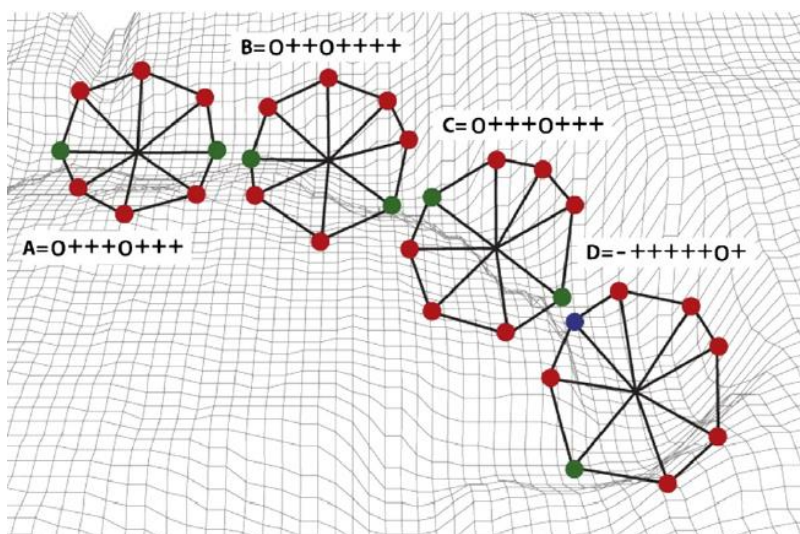
+	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	FL	FL	FL	FS	FS	VL	VL	VL	PT
1	FL	FL	FS	FS	FS	VL	VL	VL	—
2	FL	SH	SL	SL	HL	HL	VL	—	—
3	SH	SH	SL	SL	SL	HL	—	—	—
4	SH	SH	SP	SL	SL	—	—	—	—
5	RI	RI	SP	SP	—	—	—	—	—
6	RI	RI	RI	—	—	—	—	—	—
7	RI	RI	—	—	—	—	—	—	—
8	PK	—	—	—	—	—	—	—	—

Ryc. 12. Tablica klasyfikacyjna geomorfonów uwzględniająca 10 typowych elementów rzeźby terenu (Jasiewicz & Stępiński 2013); wiersze i kolumny w tabeli oznaczają odpowiednio ilości elementów trójskładnikowych *LTP* (-1) lub (1) we wzorcach geomorfonów; FL – obszar płaski (*flat*); PK – szczyt (*peak*); RI – grzbiet (*ridge*); SH – górny załom stoku (*shoulder*); SP – ostroga (*spur*); SL – stok (*slope*); HL – niecka (*hollow*); FS – dolny załom stoku (*footslope*); VL – dolina (*valley*), PT – niecka (*pit*)

Wzorce są podobne, jeśli mają podobną liczbę różnych elementów trójskładnikowych. Wiersze w Ryc. 12 oznaczają liczbę elementów trójskładnikowych „-

1", a kolumny liczbę elementów „1” we wzorcu. Przykładowo archetypowy geomorfon obszarów płaskich, taki jak ten pokazany na Ryc. 11, składa się wyłącznie z elementów trójskładnikowych „0”, więc jego liczba elementów „-1” wynosi zero i liczba elementów „1” również jest zerowa. Ten geomorfon znajdzie się w lewym górnym narożu tabeli przeglądowej. Autorzy metody zdecydowali się również sklasyfikować jako „obszary płaskie” te geomorfony, które nieznacznie odbiegają od tego archetypu, na co wskazuje dodatkowe pięć „płaskich” pól w tabeli przeglądowej.

Aby dokładniej wyjaśnić ideę tabeli przeglądowej przeanalizujmy przykład z Ryc. 13, przedstawiający skracającą dolinę. Obliczono geomorfony w czterech różnych miejscach (A, B, C i D) położonych wzdłuż tej doliny. Geomorfony w lokalizacjach A i C mają trójskładnikowe wzory identyczne z archetypem „doliny” (zob. Ryc. 11). Geomorfony w lokalizacji B mają nieco inny trójskładnikowy wzór, ale z tą samą liczbą trójskładnikowych elementów „-1” i „1” jak geomorfony w lokalizacjach A i C. Geomorfon w lokalizacji D ma nie tylko nieco inny wzór ale także nieco inną liczbę elementów trójskładnikowych (jeden slot „-1”). Tak więc istnieje więcej niż jedna archetypowa morfologia terenu, która semantycznie odpowiada „dolinie”. W tabeli przeglądowej zidentyfikowano 7 pól, które odpowiadają różnym przypadkom dolin (Ryc. 12).



Ryc. 13. Fragment doliny opisany w punktach A, B, C i D geomorfonami (Jasiewicz & Stępiński 2013); można zaobserwować zmianę wzorca geomorfonów w obrębie doliny

Procedura uzyskiwania mapy geomorfometrycznej przedstawiającej zróżnicowanie 10 najpowszechniejszych typów ukształtowania terenu polega na reklasyfikacji rastra zawierającego wcześniej obliczone etykiety geomorfonów i zastąpieniu etykiet w każdej komórce jednym z 10 typów ukształtowania terenu z tabeli przeglądowej (Ryc. 12).

Ćwiczenie

Ćwiczenie będzie polegało na utworzeniu za pomocą metody geomorfonów interpretacji geomorfometrycznej podstawowych elementów rzeźby terenu dla obszaru Rowu Krzeszowickiego.

1. Przygotowanie danych do obliczeń

- 1.1. Ze swojego folderu osobistego otwórz projekt ArcGIS Pro o nazwie `RowKrzeszowicki.aprx`.
- 1.2. Utwórz nową mapę o nazwie 15. `Geomorfony_100`.
- 1.3. Na utworzoną mapę 15. `Geomorfony` skopiuj z mapy 1. `NMT` ciągły warstwę `NMT (IDW)`.

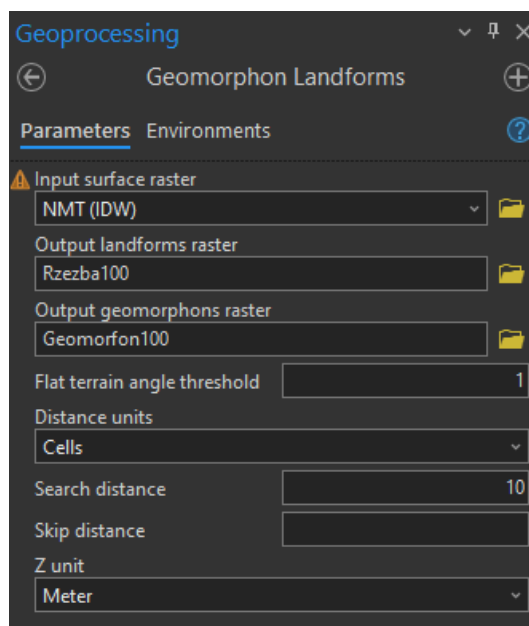
2. Obliczenia geomorfonów

- 2.1. W oknie *Command Search* wpisz frazę „*Geomorphon*”.
- 2.2. Uruchom narzędzie *Geomorphon Landforms (Spatial Analyst Tool)*.

Narzędzie *Geomorphon Landforms (Spatial Analyst Tool)* dla każdej komórki wejściowego rastra `NMT` oblicza wzorce geomorfonów i następnie reklasyfikuje obliczone geomorfony do typowych kategorii ukształtowania terenu (zob. [Ryc. 12](#)).

- 2.3. W panelu narzędzia *Geoprocessing – Geomorphon Landforms*, w polu „*Input surface raster*” (*Raster wejściowy powierzchni*) wybierz zbiór `NMT – NMT (IDW)` ([Ryc. 14](#)).
- 2.4. W polu „*Output landforms raster*” (*Wyjściowy raster elementów rzeźby*) wpisz ścieżkę do pofolderu `...RowKrzeszowicki\NMT\`, w którym gromadzimy zbiory rastrowe i wpisz nazwę zbioru wynikowego, który będzie zawierał wyniki reklasyfikacji form terenowych – `Rzezba100`.
- 2.5. W polu „*Output geomorphons raster*” (*Raster wyjściowy geomorfonów*), który definiuje położenie i nazwę rastrowego obrazu reprezentującego unikalne wzorce geomorfonów wybierz ten sam podfolder jak powyżej i nadaj zbiorowi nazwę `Geomorfon100`.
- 2.6. W polu „*Flat terrain angle threshold*” (*Wartość progowa kąta obszarów płaskich*) zdefiniuj próg płaskości jako 1° (wartość domyślna).
- 2.7. Jako jednostki odległości analizy można zdefiniować piksele albo jednostki mapy, czyli metry. W polu „*Distance Unit*” (*Jednostka odległości*), jako jednostkę definiującą skalę obserwacji (*L*) zdefiniuj *Cells (Komórki)*.
- 2.8. W polu *Search distance (Odległość wyszukiwania)* pozostaw domyślną wartość 10 (co jest równoznaczne z 100 m).

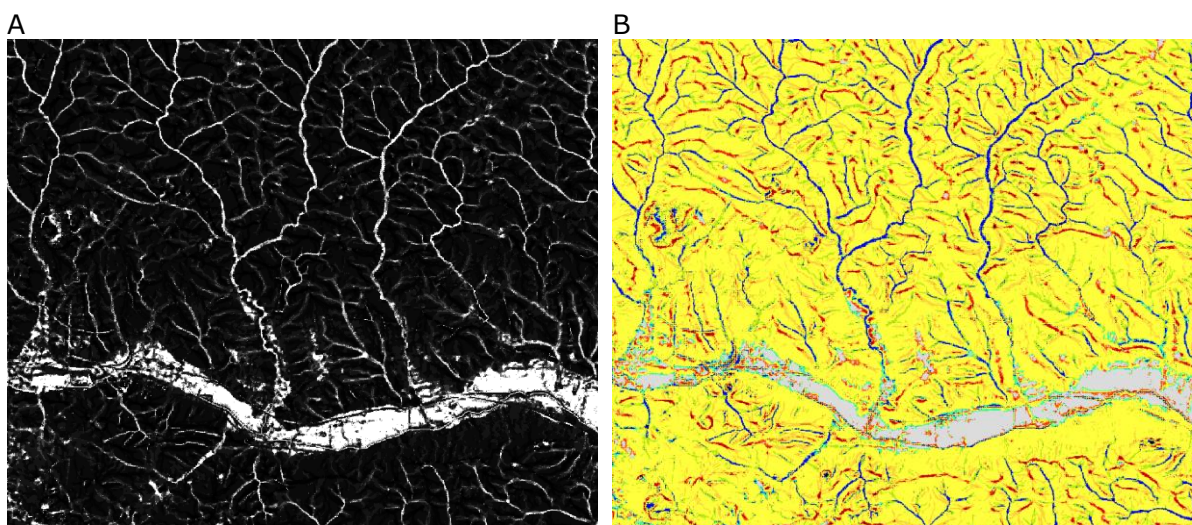
- 2.9. Opcjonalnej *odległości zaniechania* (*Skip distance*) nie będziemy definiowali.
- 2.10. Jako jednostkę wysokości (*Z unit*) pozostaw *Meter* (*Metry*).



Ryc. 14. Okno dialogowe narzędzia *Geomorphon Landforms* z parametrami generowania pierwszych zbiorów wynikowych

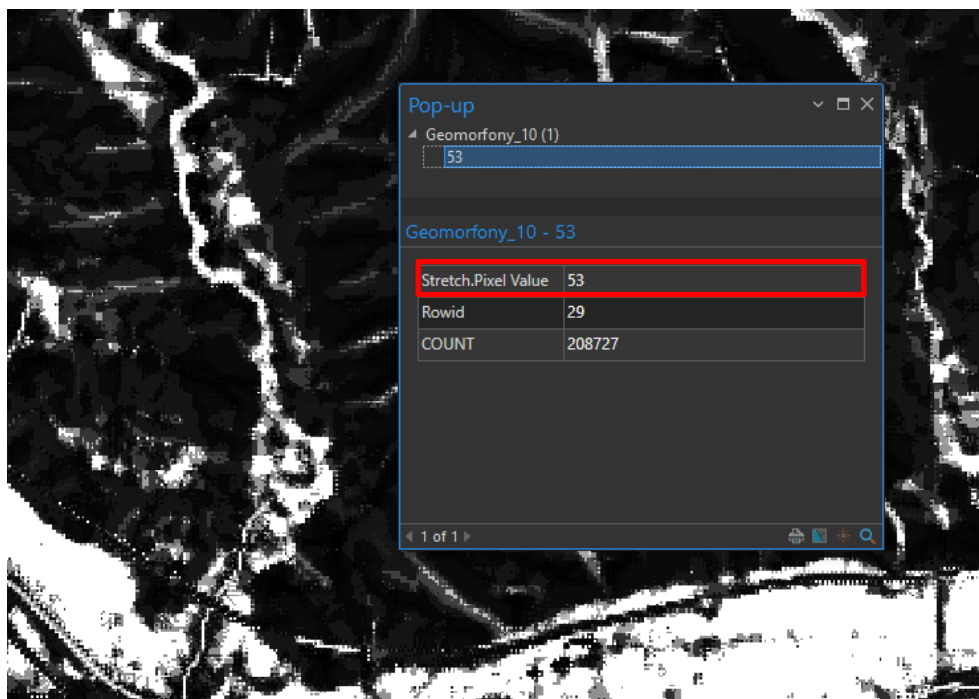
- 2.11. Po uzupełnieniu wszystkich parametrów narzędzia geoprzetwarzania naciśnij przycisk *Run*.

W wyniku działania narzędzia zostaną wygenerowane dwa obrazy rastrowe: Geomorfon100 (**Ryc. 15A**) oraz Rzeźba100 (**Ryc. 15B**). Pierwszy jest zapisem wzorców geomorfonów, zaś drugi przedstawia położenie dziesięciu elementów rzeźby terenu w analizowanym fragmencie Rowu Krzeszowickiego.



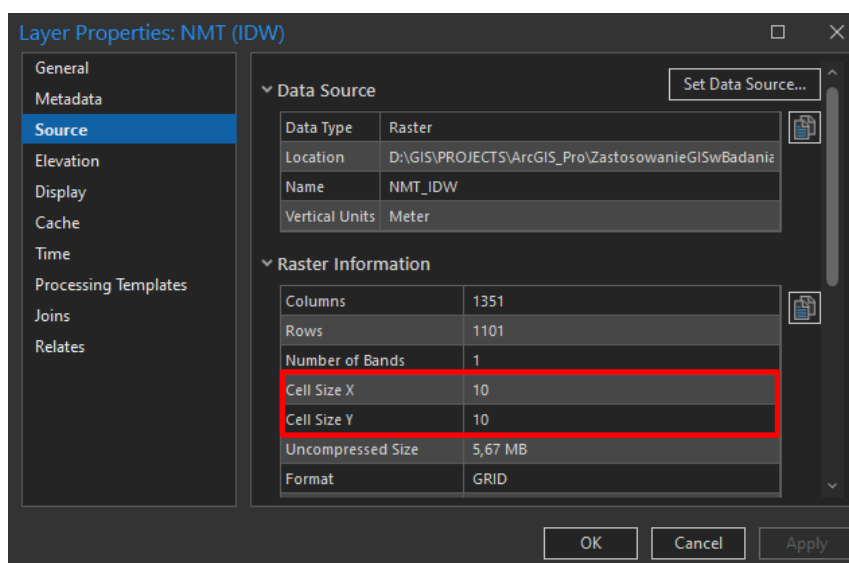
Ryc. 15. Obrazy rastrowe wygenerowane przy użyciu narzędzia *Geomorphon Landforms* dla parametrów $L = 100$ m, $t = 1^\circ$; A – zbiór wzorców geomorfonów, B – interpretacja dziesięciu typowych elementów morfologicznych

Piksele zbioru geomorfonów przechowują liczby w kodzie dziesiętnym (Ryc. 16), będące wzorcami tekstur, które w każdej chwili mogą zostać przetworzone na system trójkowy. Umożliwia to wykonanie innej reklasyfikacji geomorfonów niż ta zaproponowana przez Jasiewicza & Stępińskiego (2013).



Ryc. 16. Fragment rastra wzorców geomorfonów; widoczny jest wzorec #53 geomorfonu dla wskazanego piksela

Obraz NMT, z którego generowane były rastry Geomorfon100 oraz Rzeźba100 miał rozdzielczość 10 m × 10 m (Ryc. 17). Oznacza to, że wykorzystując domyślną wartość skali obserwacji (10 pikseli) (Ryc. 14), podczas analizy profili morfologicznych wzdłuż głównych kierunków świata sięgnęliśmy odległości 100 m. Stąd w nazwach zbiorów „100”.



Ryc. 17. Właściwości rastra NMT (IDW); ramką zaznaczono wielkość piksela

Niestety odległość ta raczej nie pozwoliła na pełne wykorzystanie potencjału metody otwartości terenowej. Odzwierciedla się to w lokalnej zmienności większości form morfologicznych jaką można obserwować na **Ryc. 15B**. W kolejnym etapie ćwiczenia wygenerujemy kilka dodatkowych interpretacji morfologii terenu dla różnych skal obserwacji L .

3. Wybór optymalnej skali obserwacji

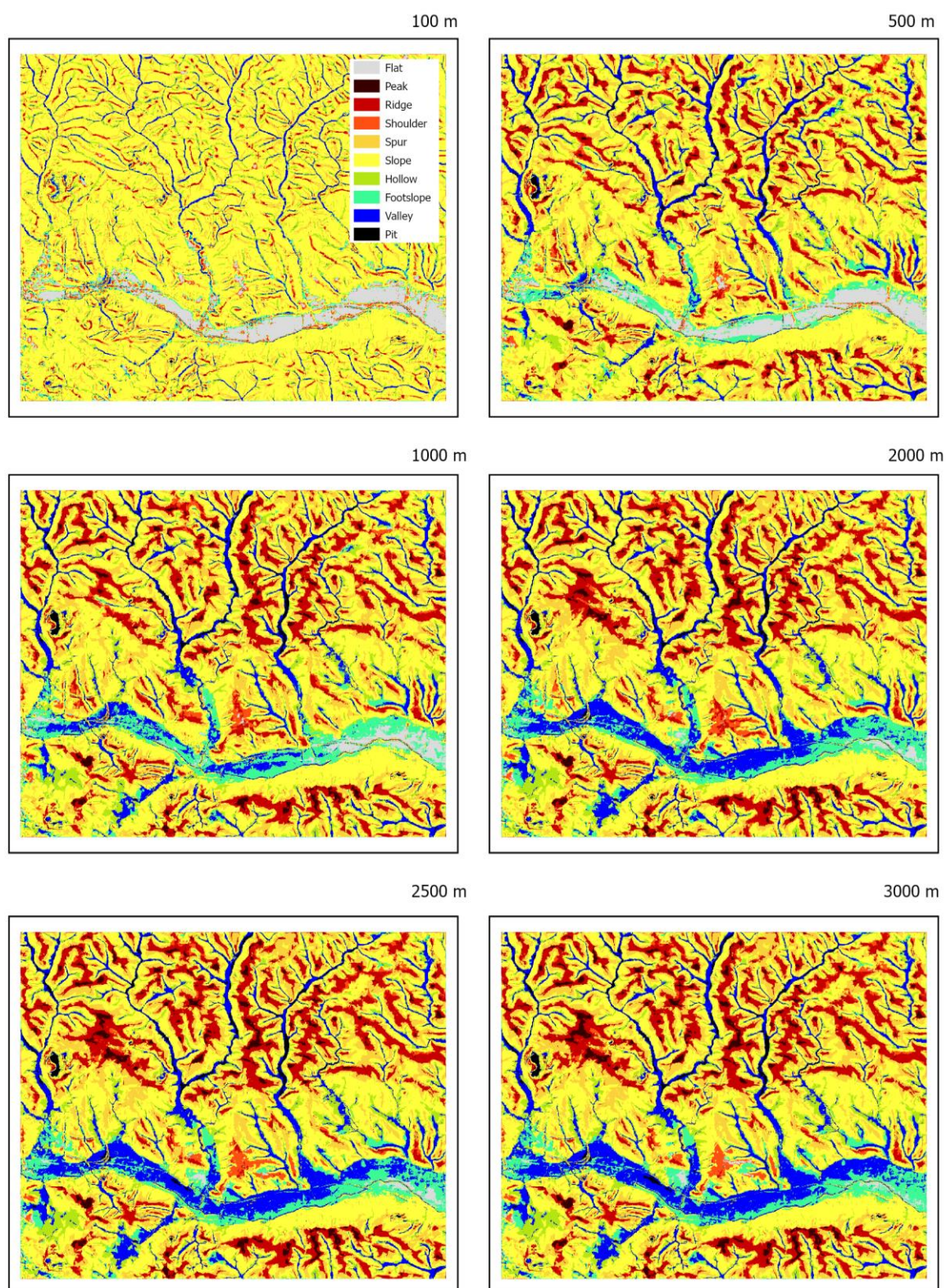
Jak można zauważyć na **Ryc. 15B**, po zastosowaniu skali obserwacji równej 100 m (10 pikseli), w obrazie form morfologicznych Rowu Krzeszowickiego dominowały wydzielienia stoków (*slope*). Pozostałe wydzielienia rejestrowano na ograniczonych obszarach, co było zapewne uzależnione od zbyt krótkiej odległości obserwacji (L). W tym etapie ćwiczenia, aby ocenić zależność efektów reklasyfikacji form morfologicznych od odległości obserwacji L , wykonamy dodatkowe pięć map geomorfometrycznych. Każdą z nich będziemy generowali dla coraz to dłuższych skal obserwacji: 500, 1000, 2000, 2500 i 3000 m (**Tab. 2**).

Tab. 2. Skale obserwacji i odpowiadające im liczby pikseli w interpretacjach podstawowych form morfologicznych Rowu Krzeszowickiego

Skala obserwacji L [m]	Liczba pikseli	Nazwa rastra
100	10	Rzezba100
500	50	Rzezba500
1000	100	Rzezba1000
2000	200	Rzezba2000
2500	250	Rzezba2500
3000	300	Rzezba3000

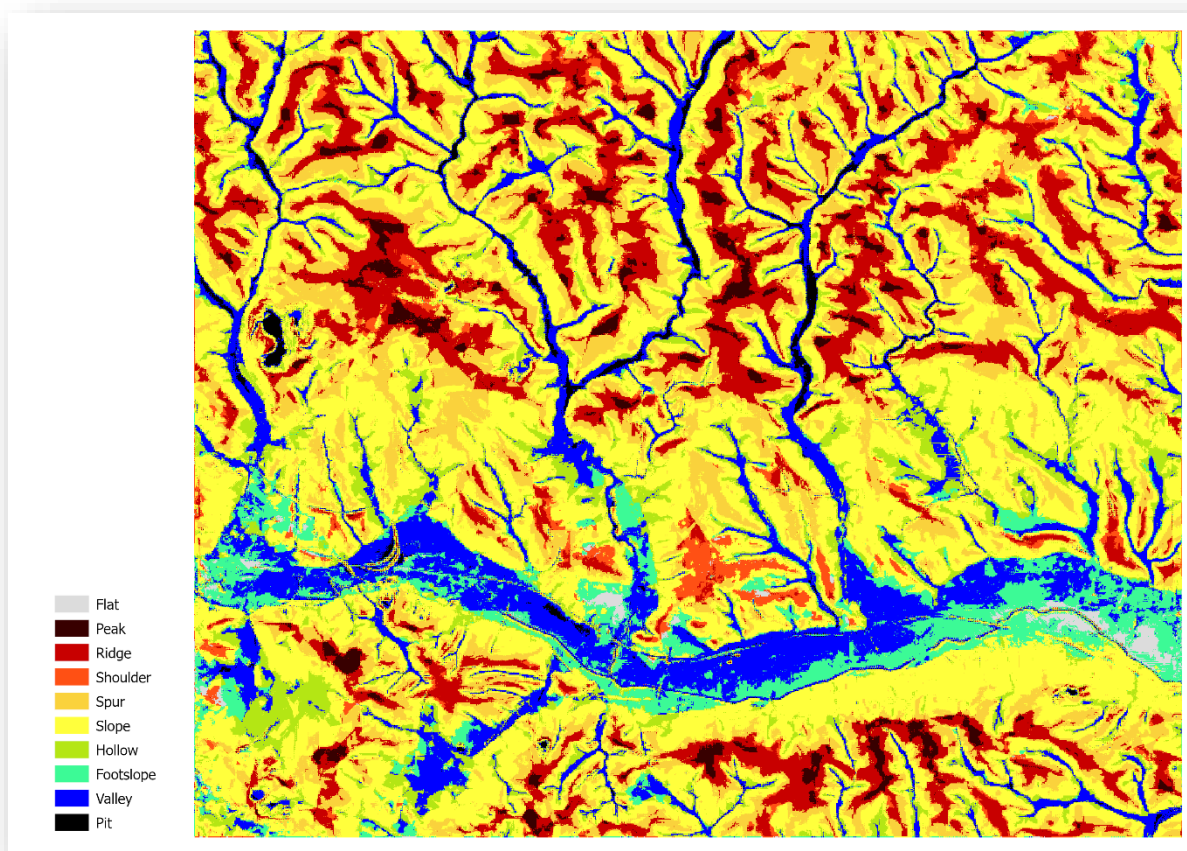
- 3.1. Stosując metodykę z rozdziału 2, utwórz rastry zmienności podstawowych form morfologicznych Rowu Krzeszowickiego dla skal obserwacji zamieszczonych w **Tab. 2**. Zbiory zapisuj w folderze ...RowKrzeszowicki\NMT\.
- 3.2. Dla utworzonych interpretacji wykonaj nowe mapy. Nadaj im nazwy 15. Geomorfony_100 do 20. Geomorfony_3000.
- 3.3. Dla sześciu utworzonych map utwórz wspólny układ 8. Layout Geomorfony taki jak na **Ryc. 18**.
- 3.4. Dopisz do układu swoje imię i nazwisko.
- 3.5. Wygeneruj pdf układu 8. Layout Geomorfony.
- 3.6. Wyślij pdf układu mailem do prowadzącego.

Ryc. 18 prezentuje sześć map geomorfometrycznych przedstawiających zróżnicowanie podstawowych form morfologicznych Rowu Krzeszowickiego. Mapy zostały wykonane dla różnych skal obserwacji (100, 500, 1000, 2000, 2500 i 3000 m).



Ryc. 18. Mapy podstawowych form morfologicznych wygenerowane z zastosowaniem różnych skal obserwacji

Dla skali obserwacji równej 100 m (10 pikseli) otrzymaliśmy mapę przedstawiającą dominację form stokowych (*slope*) nad niemal wszystkimi innymi. Poza płaskim obszarem rowu, wszystkie wydzielania są małe, co zapewne jest związane z niewielkimi zakresem prowadzonych obserwacji. Wraz ze wzrostem odległości, do której obserwowano otwartość terenową, możemy zaobserwować powiększanie się płatów różnych wydzieleni morfologicznych kosztem wydzieleni stoków. Na początku powiększają się zwłaszcza wydzielania grzbietów (*ridge*), ostróg (*spur*) i szczytów (*peak*). Z kolei w obrębie wydzieleni dolinnych, z obszarów płaskich (*flat*) wyodrębnione zostają coraz to większe wydzielania podnóży stoków (*footslope*, *lower slope*). Stopniowo z obszarów płaskich wydzielane są też coraz to większe obszary dolin (*valley*). Dzieje się tak do osiągnięcia odległości, w której dla obserwatorów umieszczonych na dnie dolin linia horyzontu załamuje się i nie jest możliwa obserwacja dalszych obiektów. Ma to miejsce dla skal obserwacji pomiędzy 2000, a 3000 m. Po przekroczeniu skali obserwacji 2500 m obserwowane zmiany interpretacji morfologii są niewielkie. Możemy wobec tego przyjąć, że dla analizowanego krajobrazu, wielkości piksela równej 10 m × 10 m oraz progu płaskości równego 1° odpowiednią skalą obserwacji jest odległość około 2500 m. Wobec powyższego należy przyjąć, za poprawną interpretację z Ryc. 19.



Ryc. 19. Mapa geomorfometryczna podstawowych form morfologicznych rejonu Rowu Krzeszowickiego wykonana metodą geomorfonów; skala obserwacji 2500 m

- 3.7. Zduplikuj layout 1. Layout NMT ciągły.
- 3.8. Zmień nazwę zduplikowanego układu na 9. Layout Geomorfon 2500.
- 3.9. W układzie 9. Layout Geomorfon 2500 zmień zawartość ramki mapy z NMT na 19. Geomorfony_2500.
- 3.10. Dodaj do układu legendę (Ryc. 19).

Wykonaliśmy geomorfometryczną interpretację zróżnicowania podstawowych elementów rzeźby terenu rejonu Rowu Krzeszowickiego. Pora na wnioski...

4. Wnioski

W metodzie geomorfonów odległość obserwacji i kształt sąsiedztwa, na podstawie którego określany jest element ukształtowania terenu, automatycznie dopasowują się do geometrii lokalnego terenu.

Wartość L określająca maksymalną skalę, w jakiej możemy znaleźć element ukształtowania terenu musi być ustawiona na stosunkowo dużą wartość aby metoda mogła zarejestrować struktury ujawniające się zarówno w skalach mniejszych jak i w większych.

Najważniejszą właściwością map geomorfometrycznych wykonanych za pomocą metody geomorfonów jest to, że interpretacje geomorfologiczne utworzone z różnymi wartościami odległości wyszukiwania L szybko zbiegają się wraz ze wzrostem wartości L i stają się do siebie bardzo podobne. To pozwala na łatwe określenie optymalnej skali obserwacji.

Bibliografia

- Jasiewicz, J., Stępiński, T.F., 2013. Geomorphons – a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology*, 182, 147–156. DOI: [10.1016/j.geomorph.2012.11.005](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. URL: <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>, 2012-02-22.
- Liao, W.-H., 2010. Region Description Using Extended Local Ternary Patterns. 2010 20th International Conference on Pattern Recognition, 1003–1006. DOI: [10.1109/ICPR.2010.251](https://doi.org/10.1109/ICPR.2010.251).
- Luo Wei, Xiaoyan Li, Ian Molloy, Liping Di & Tomasz Stepinski, 2014. Web Service for extracting stream networks from DEM data. *GeoJournal*, 79(2), *Special Issue on GIS & Built Environment*, 183–193.

- Ojala, T, Pietikainen, M. & Maenpaa, T., 2002. Multiresolution Gray-Scale and Rotation Invariant Texture Classification with Local Binary Patterns, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(7), 971–987.
- 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).
- Yokoyama, R., Sirasawa, M., Pike, R.J., 2002. Visualizing topography by openness: A new application of image processing to digital elevation models. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68(3), 257–265.