



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE
AGH UNIVERSITY OF KRAKOW

Modelowanie podstawowych form rzeźby terenu metodą **GEOMORFONÓW**

Zastosowanie GIS w badaniach przyrodniczych

Tomasz Bartuś
Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska
Katedra Geologii Ogólnej i Geoturystyki

Geomorfometria

Większość metod modelowania form morfologicznych klasyfikuje te formy na podstawie zmiennych morfometrycznych (atrybutów topograficznych).

Różnice między metodami koncentrują się na tym, jak najlepiej wykorzystać informacje zawarte w tych zmiennych oraz na wyborze docelowych jednostek klasyfikacji.

Metoda geomorfonów

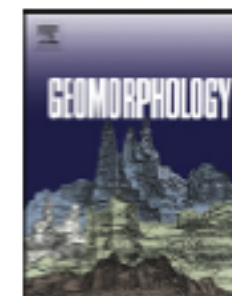
Geomorphology 182 (2013) 147–156



Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](#)

Geomorphology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/geomorph



Geomorphons — a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms

Jarosław Jasiewicz ^{a,b}, Tomasz F. Stepinski ^{a,*}

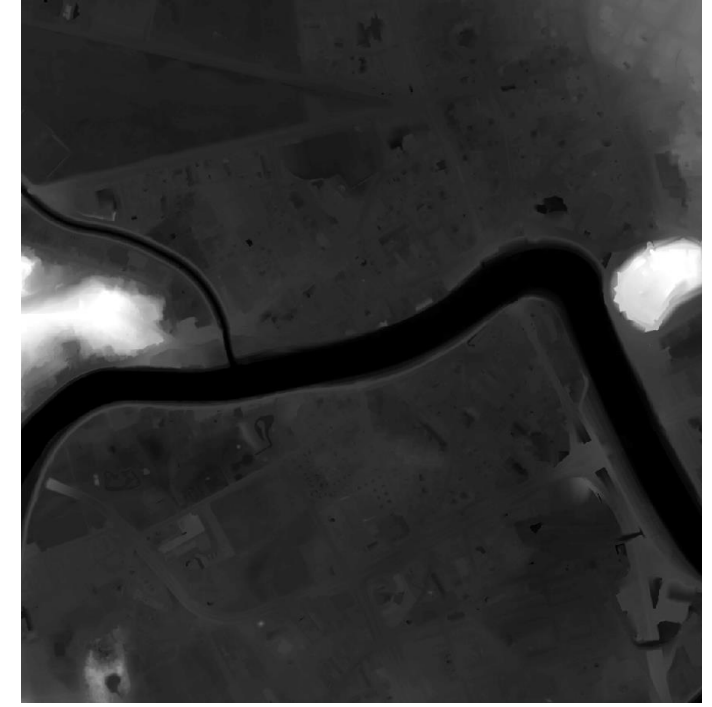
^a Department of Geography, University of Cincinnati, Cincinnati, OH 45221-0131, USA

^b Geoecology and Geoinformation Institute Adam Mickiewicz University, Dziegiełowa 27, 60-680 Poznań, Poland

Intro

Punktem wyjścia było spostrzeżenie, że analityk, który ręcznie klasyfikuje formy terenu z NMT (za pomocą mapy cieniowanej rzeźby terenu lub mapy warstwicznej) nie podejmuje decyzji na podstawie zmiennych morfometrycznych lecz **identyfikuje całe wzorce topograficzne odpowiadające poszczególnym formom terenu.**

Metoda manualna



Tekstura obrazu odnosi się do przestrzennego rozmieszczenia intensywności skali szarości w wybranym obszarze obrazu. Podobnie elementy ukształtowania terenu można traktować jako określony układ przestrzenny wartości wysokości w wybranej części NMT.

Metoda manualna

Obrazy w skali szarości i NMT są podobne, ponieważ są rastrami jednowartościowymi.

Obrazy w skali szarości składają się ze skomplikowanych wzorów poziomów szarości, podobnie jak NMT składają się ze skomplikowanych wzorów wartości wysokości.

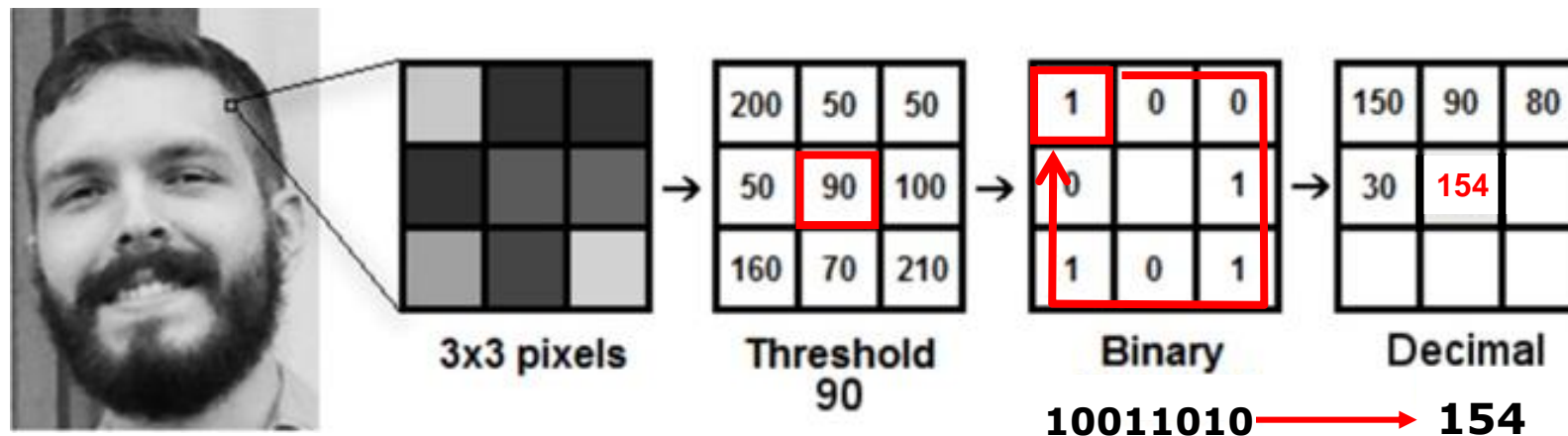
Te wzorce to nic innego jak tekstury. Dlatego rozpoznawanie form rzeźby terenu jest więc zagadnieniem **rozpoznawania tekstur**.

Deskryptor tekstury *LBP*

Deskryptory tekstur, które okazały się najskuteczniejsze, oparte są na lokalnych wzorcach kontrastów poziomów szarości.

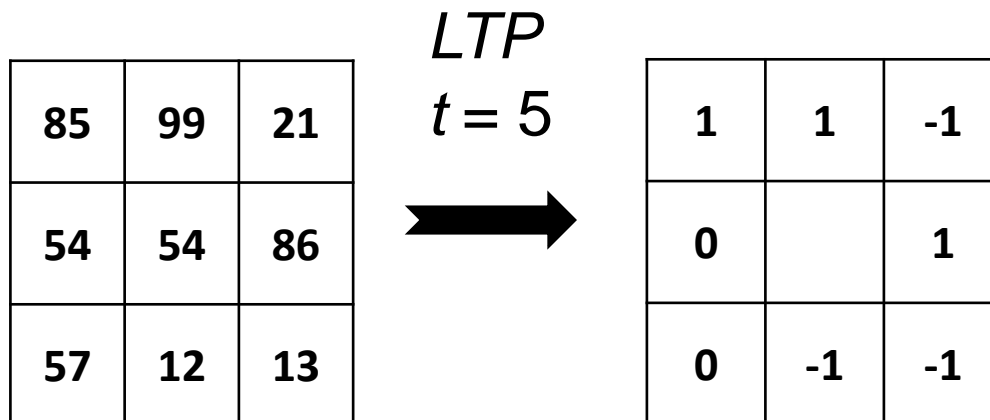
Ojala et al. (2002) wprowadzili **Lokalne Wzorce Binarne** – *Local Binary Patterns (LBP)* jako deskryptory tekstury.

LBP jest zbudowany z lokalnego sąsiedztwa 3×3 piksele wokół komórki centralnej; 8 sąsiadów jest oznaczanych jako 0 – jeśli poziom szarości sąsiada jest mniejszy niż poziom szarości komórki centralnej, lub 1 w przeciwnym razie.



Deskryptor tekstury *LTP*

Rozszerzeniem *LBP* do wzorców 3-wartościowych są **Lokalne wzorce trójskładnikowe** – *Local Ternary Patterns (LTP)* (Liao 2010).

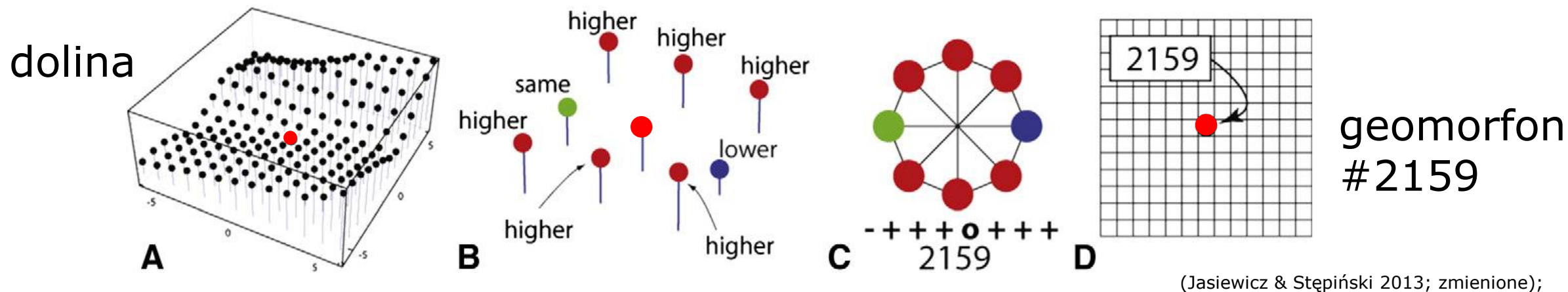


Określa się **wartość progową t** .

- Sąsiad jest oznaczany jako **1** jeśli jego wartość przekracza wartość komórki centralnej o co najmniej t ,
- Sąsiad jest oznaczony jako **-1** jeśli jego wartość jest co najmniej t mniejsza niż wartość komórki centralnej.
- W przeciwnym razie sąsiad jest oznaczony jako **0**.

Geomorfon

- pierwszy symbol (**najmłodszy**) w ciągu odpowiada **wschodniemu** sąsiadowi,
- a kolejne symbole odpowiadają sąsiadom w kolejności **przeciwnej do ruchu wskazówek zegara**



Piksele		-	+	+	+	0	+	+	+
A	Trity	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	$A \times C$	0	1458	486	162	27	18	6	2
E	ΣD	2159							

Kolejność slotów we wzorze trójskładnikowym

Slot 6	Slot 7	Slot 8
Slot 5	Pixel A	Slot 1
Slot 4	Slot 3	Slot 2

2	2	2
1	2159	0
2	2	2

Slot 1	Slot 2	Slot 3	Slot 4	Slot 5	Slot 6	Slot 7	Slot 8
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

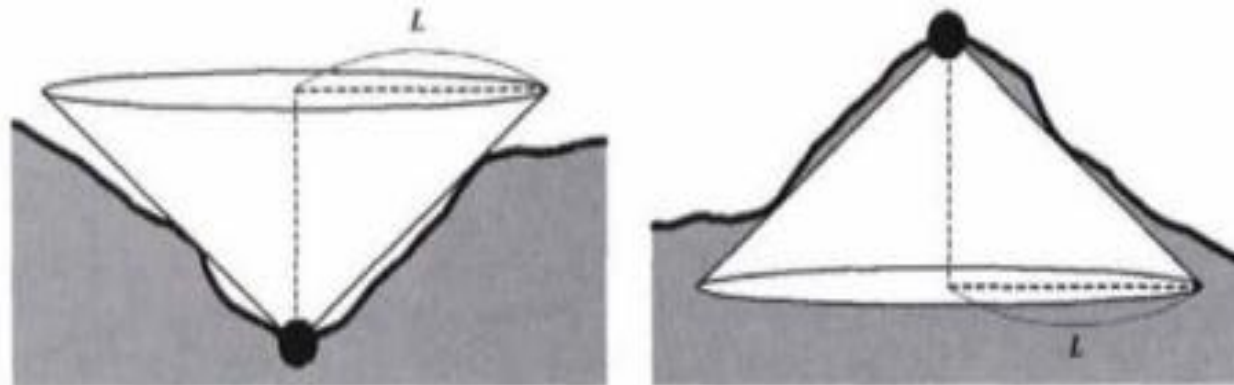
Otwartość terenu Δ

W praktyce trójskładnikowy wzór charakteryzujący typ terenu w sąsiedztwie komórki centralnej jest określany **nie na podstawie prostych różnic wysokości** i techniki ruchomego okna ale na podstawie parametru morfometrycznego **otwartości terenu (Δ)** (*Yokoyama et al. 2002*).

Otwartość terenu

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.

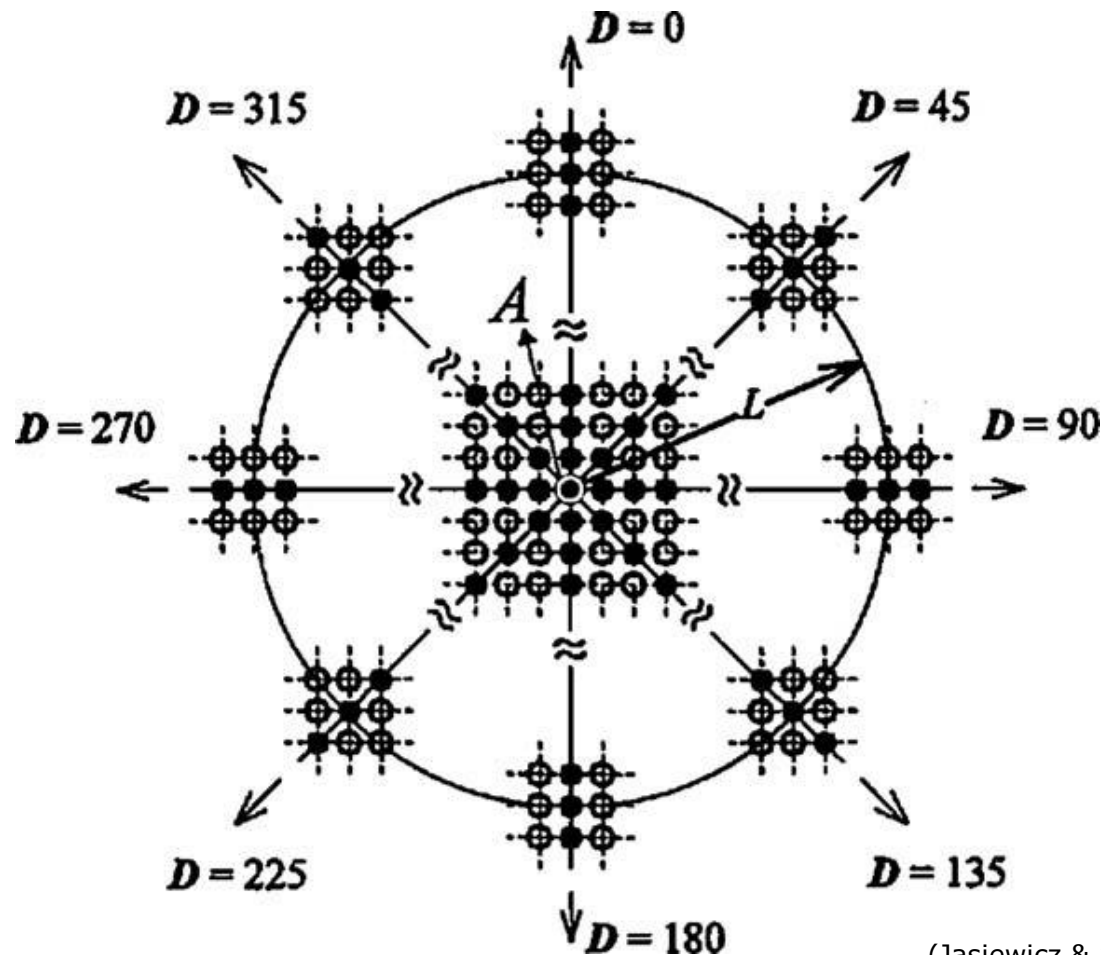
- **wartości dodatnie** wyrażające otwartość nad powierzchnią,
- **wartości ujemne** opisują tę cechę pod powierzchnią.



(Luo i in. 2014)

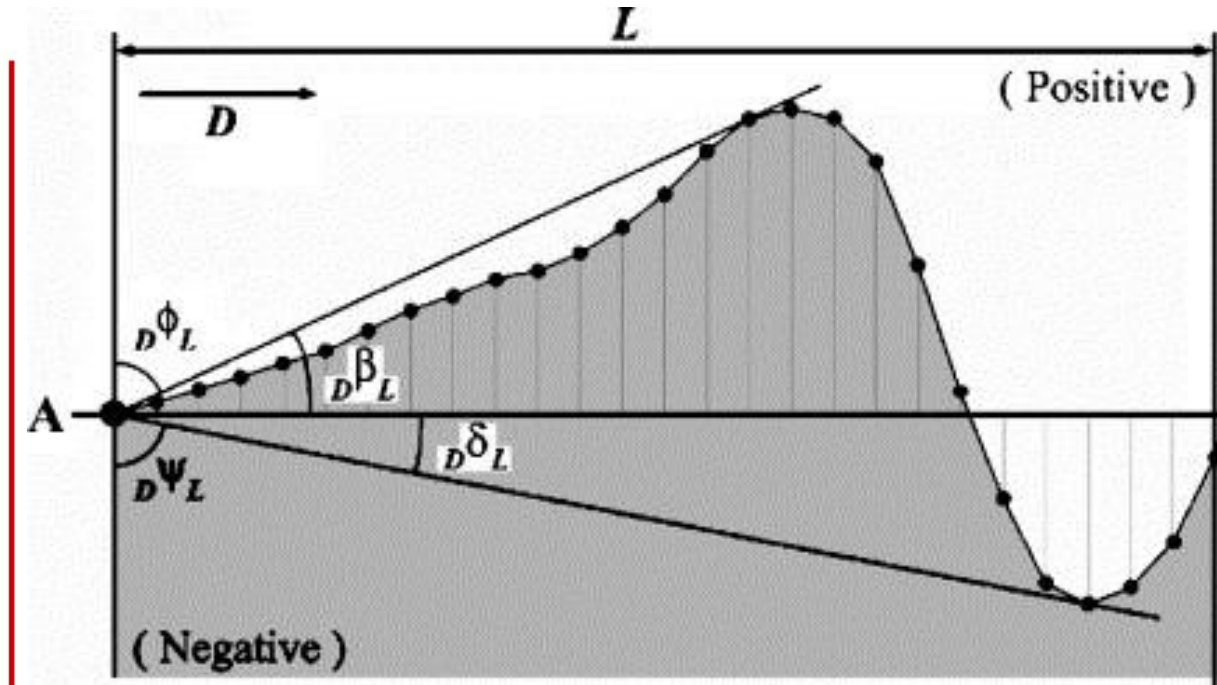
Profile wysokościowe

Obliczenie otwartości w rastrze NMT w punkcie **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 do odległości L oblicza się 8 profili wysokościowych.

Kąty elewacji



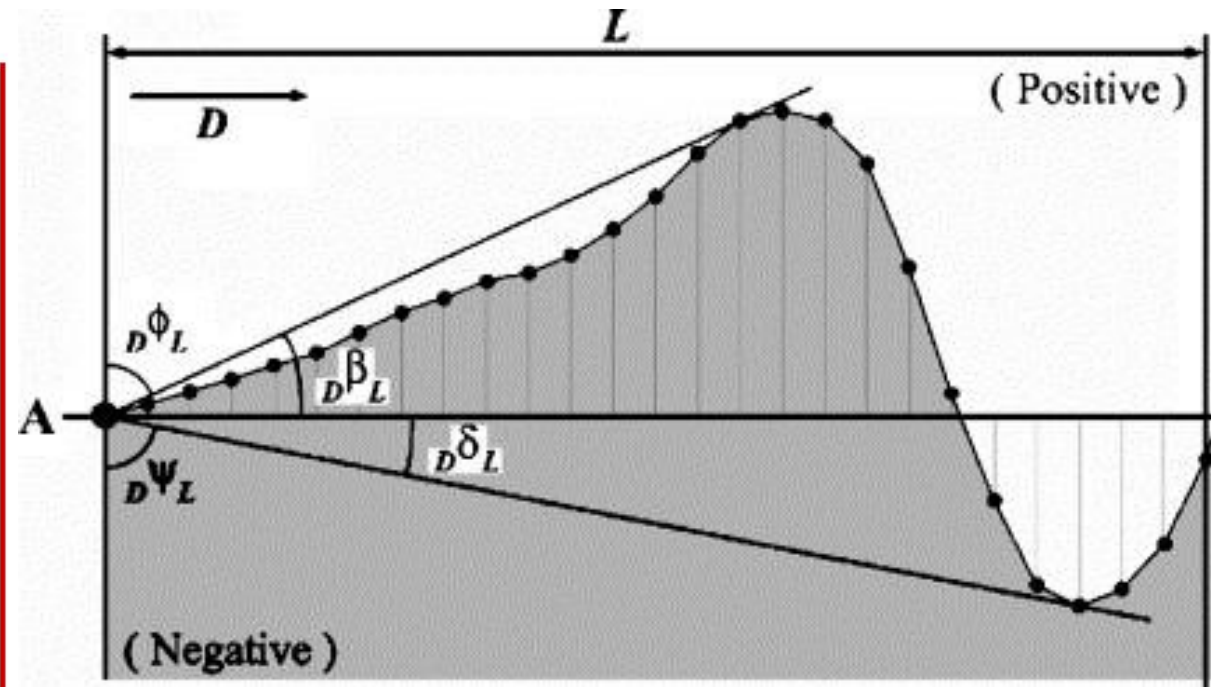
(Jasiewicz & Stępiński 2013)

2. Wzdłuż profili oblicza się kąty elewacji $D\mathbf{S}_L$.

Kąt elewacji jest liczony dla każdego piksela rastra wzdłuż profilu reprezentowanego przez małą czarną kropkę.

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

Max i min kąty elewacji



(Jasiewicz & Stępiński 2013)

3. obliczenie maksymalnego kąta elewacji: ${}_D\beta_L = \max({}_DS_L)$
4. obliczenie minimalnego kąta elewacji: ${}_D\delta_L = \min({}_DS_L)$

Kąty zenitu i nadiru

3. obliczenie kątów zenitalnych:

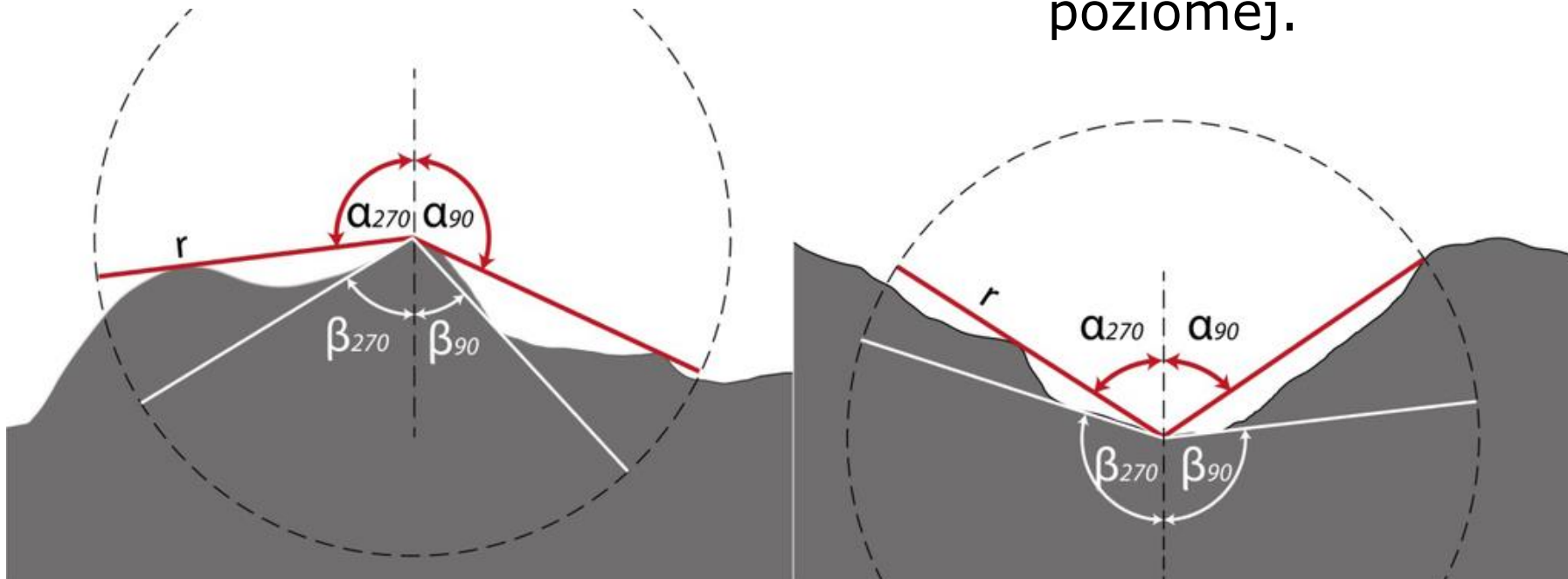
$${}_D\varphi_L = 90^\circ - {}_D\beta_L$$

4. obliczenie kątów nadiru:

$${}_D\psi_L = 90^\circ - {}_D\delta_L$$

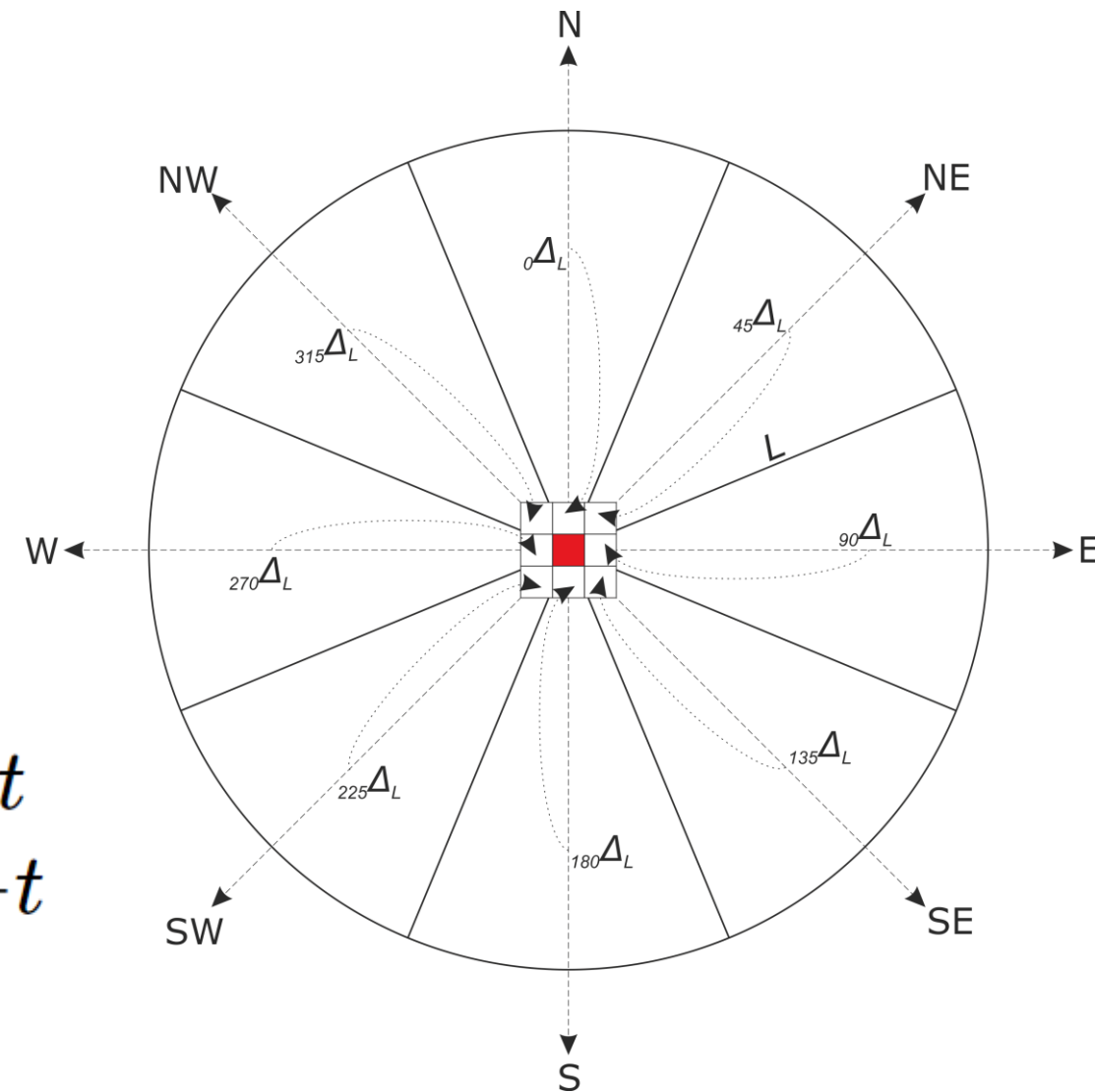
Kąt zenitalny jest kątem między zenitem a linią wzroku.

Kąt nadiru jest kątem między najniższym kątem a hipotetyczną linią wzroku wynikającą z odbicia profilu wysokościowego względem płaszczyzny poziomej.



Obliczenie otwartości terenu

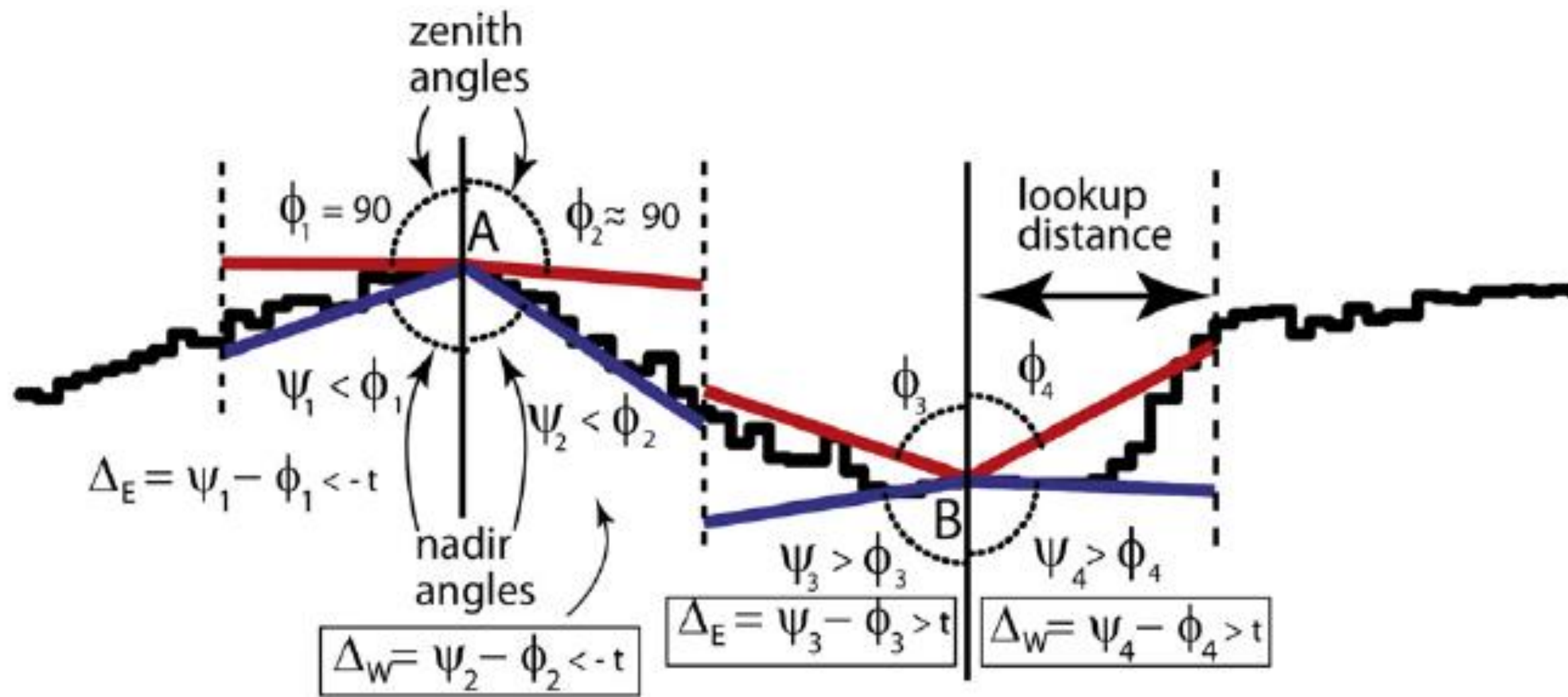
$$D\Delta_L = \begin{cases} 1 & \text{if } D\Psi_L - D\Phi_L > t \\ 0 & \text{if } |D\Psi_L - D\Phi_L| < t \\ -1 & \text{if } D\Psi_L - D\Phi_L < -t \end{cases}$$



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

Otwartość terenu

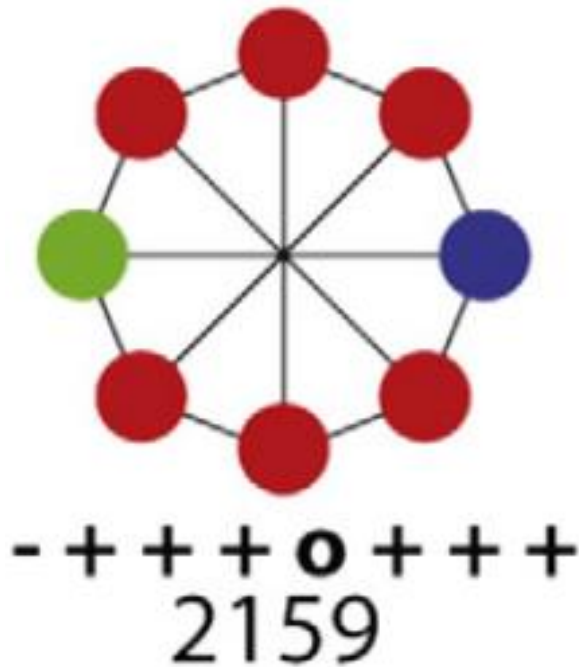
$$D\Delta_L = \begin{cases} 1 & \text{if } D\Psi_L - D\Phi_L > t \\ 0 & \text{if } |D\Psi_L - D\Phi_L| < t \\ -1 & \text{if } D\Psi_L - D\Phi_L < -t \end{cases}$$



(Jasiewicz & Stępiński 2013)

Gdzie: ϕ - kąty zenitu (czerwone); ψ - kąty nadiru (niebieskie)

Geomorfony



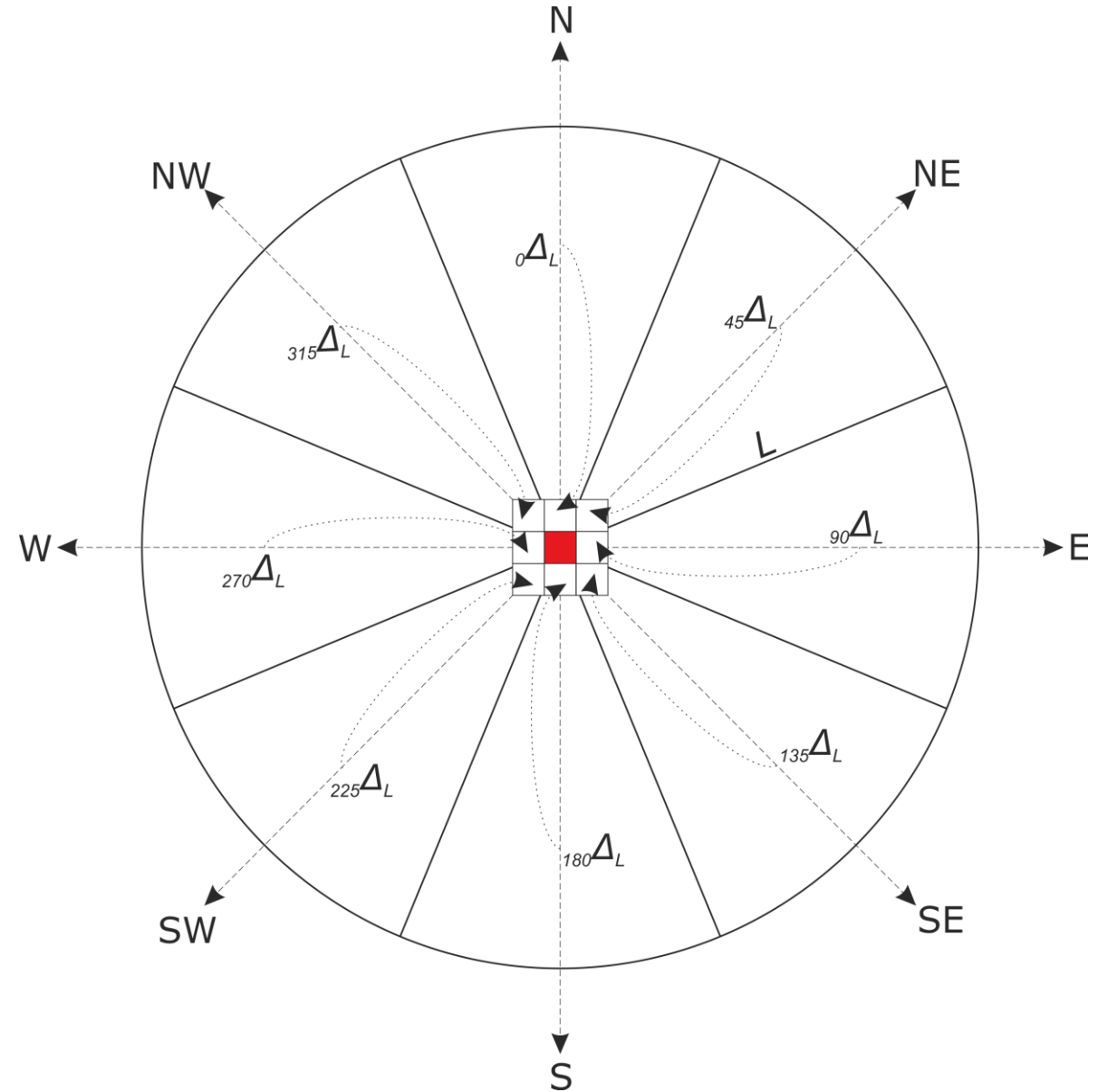
Biorąc pod uwagę, że każdy z *LTP* ma po 8 slotów, istnieje $3^8 = 6561$ teoretycznie możliwych różnych wzorców. Jednak wiele z nich jest wynikiem rotacji lub odbicia innych wzorców, więc eliminując takie wielokrotności, otrzymujemy zestaw **498 wzorów**. Jak wcześniej zauważono, określamy te wzorce jako **geomorfony**.

Geomorfon

Geomorfony są wyodrębnianymi z oryginalnego NMT podstawowymi mikrostrukturami krajobrazu.

Dlaczego otwartość terenu zamiast sąsiedztwa pikseli

2	2	2
1	2159	0
2	2	2

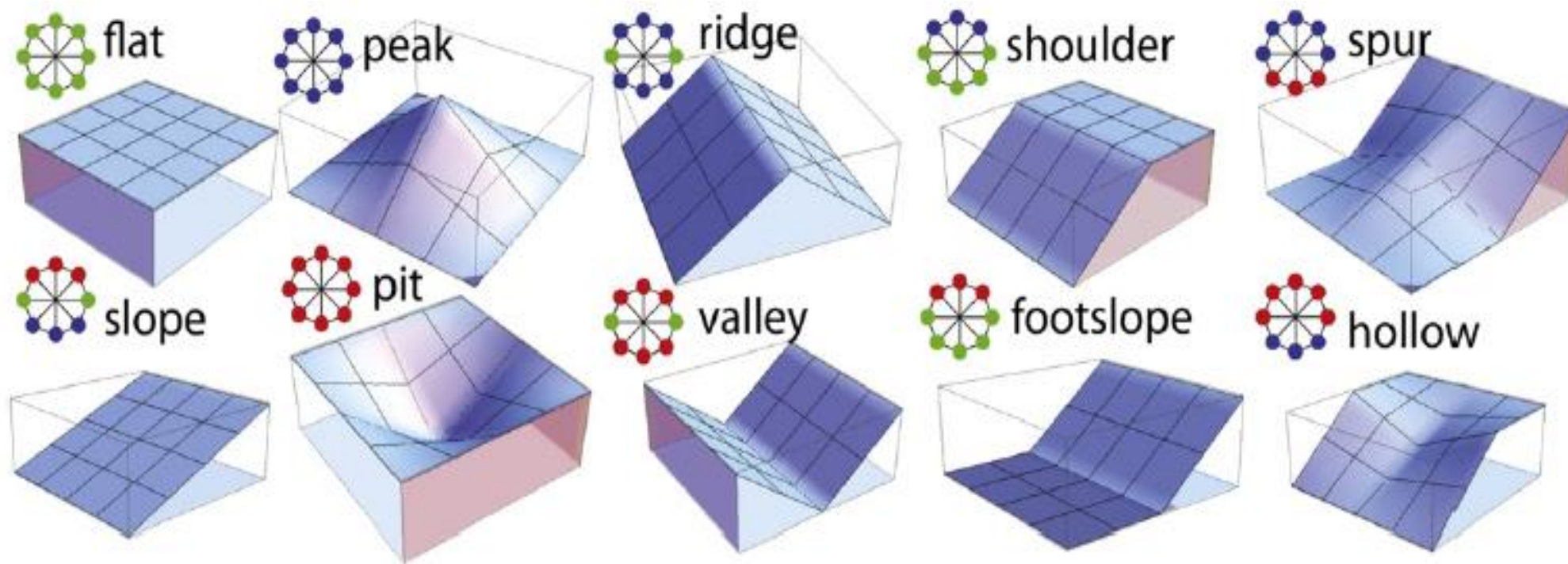


Klasyfikacja geomorfonów

Raster z przypisanymi geomorfonami jest przydatny do **klasyfikacji** obszarów pod względem **typów ukształtowania terenu**.

Ze względów praktycznych, trzeba **zmniejszyć liczbę elementów ukształtowania** terenu na mapie geomorfometrycznej. Osiąga się to poprzez grupowanie geomorfonów w klasy odpowiadające najczęściej rozpoznawalnym elementom ukształtowania terenu.

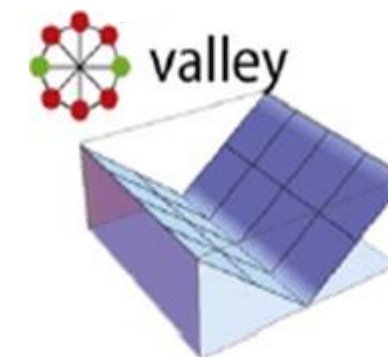
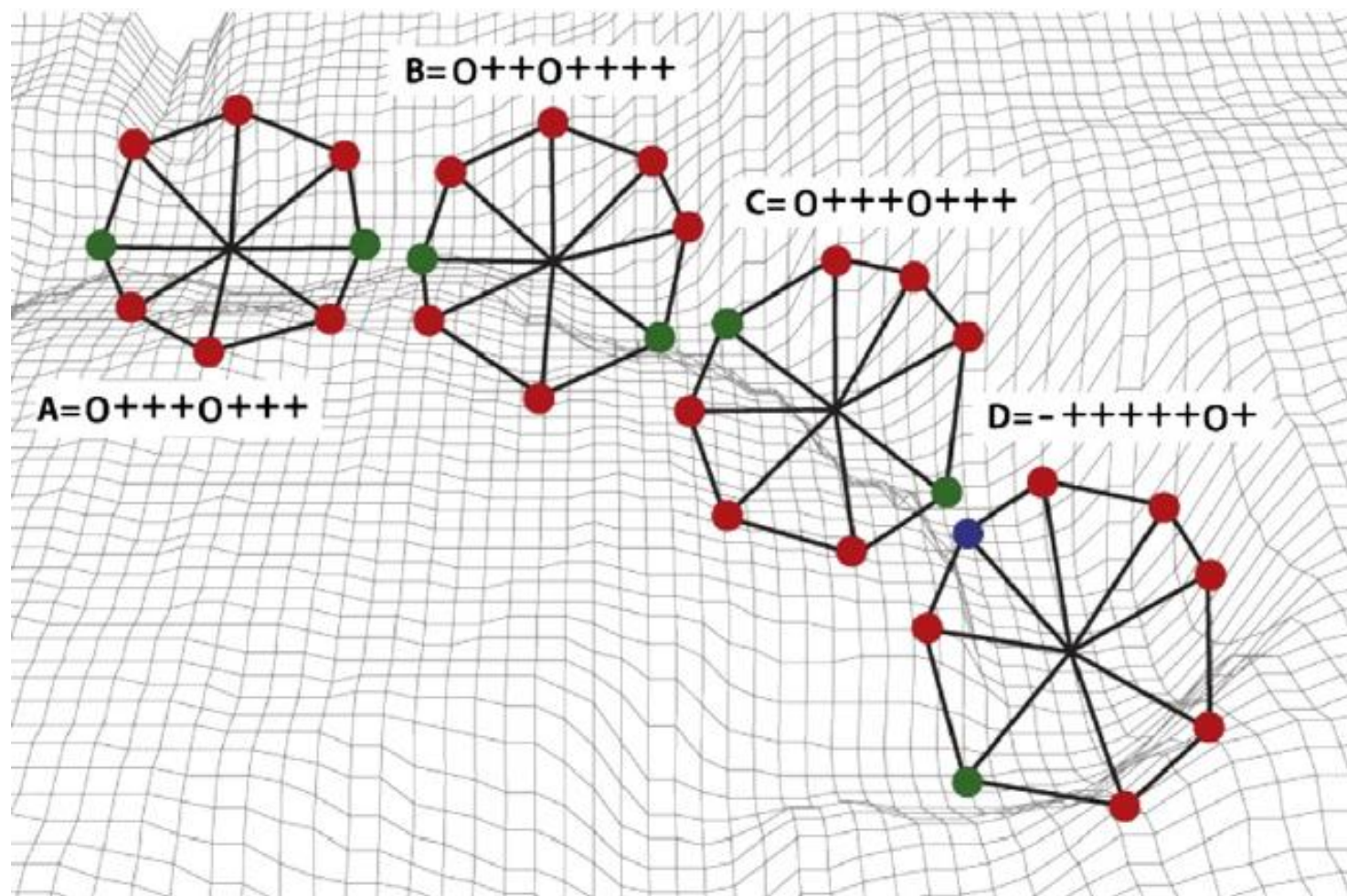
Najczęściej występujące formy terenu



(Jasiewicz & Stępiński 2013)

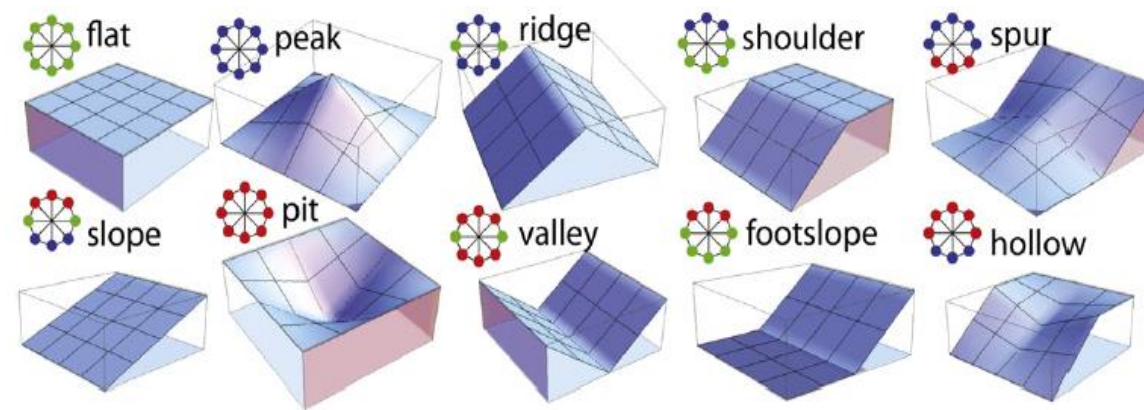
flat – obszar płaski; *peak* – szczyt; *ridge* – grzbiet; *shoulder* – górny załom stoku; *spur* – ostroga; *slope* – stok; *pit* – zagłębienie terenu; *valley* – dolina; *footslope* – dolny załom stoku; *hollow* – niecka

Dolina – zmienność geomorfonów



(Jasiewicz & Stępiński 2013)

Klasyfikacja geomorfonów



	+	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									

FL (*flat*) – obszar płaski,

PK (*peak*) – szczyt,

RI (*ridge*) – grzbiet,

SH (*shoulder*) – górny załom stoku,

SP (*spur*) – ostroga,

SL (*slope*) – stok,

HL (*hollow*) – niecka,

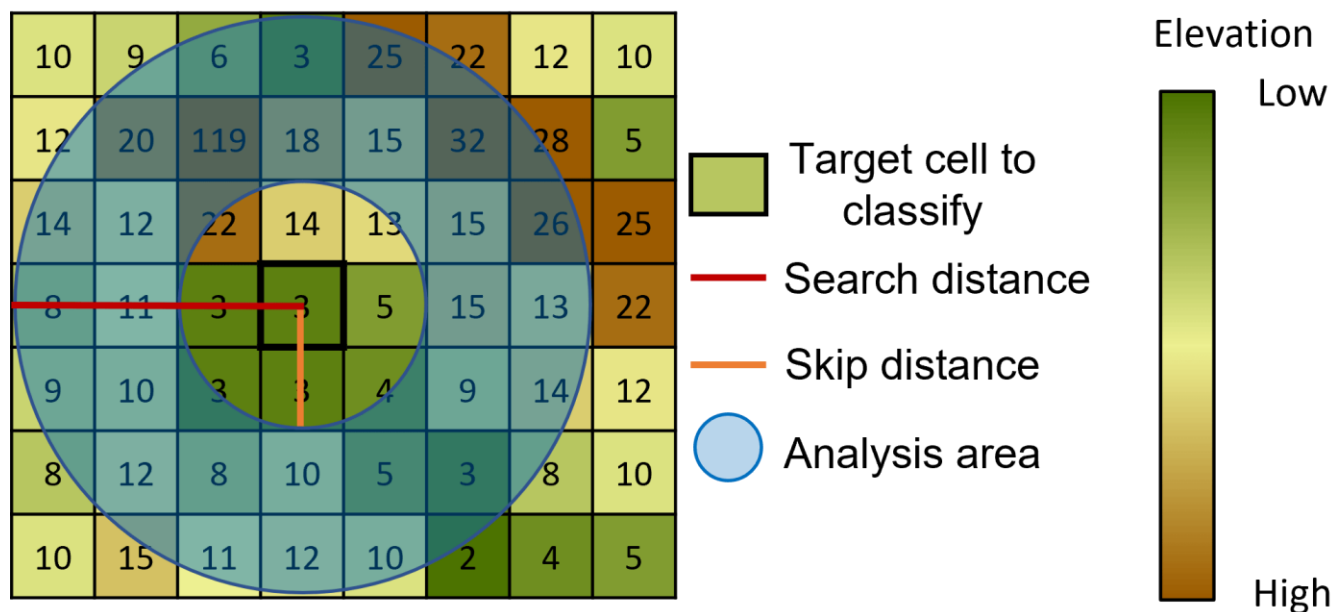
FS (*footslope*) – dolny załom stoku,

VL (*valley*) – dolina,

PT (*pit*) – zagłębienie terenu.

Pierścień wyszukiwania w ArcGIS Pro

O tym jak daleko narzędzie będzie analizować teren aby klasyfikować komórkę decydują parametry:

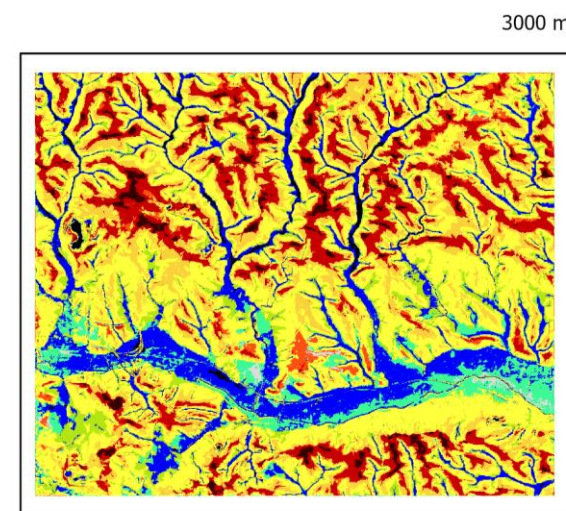
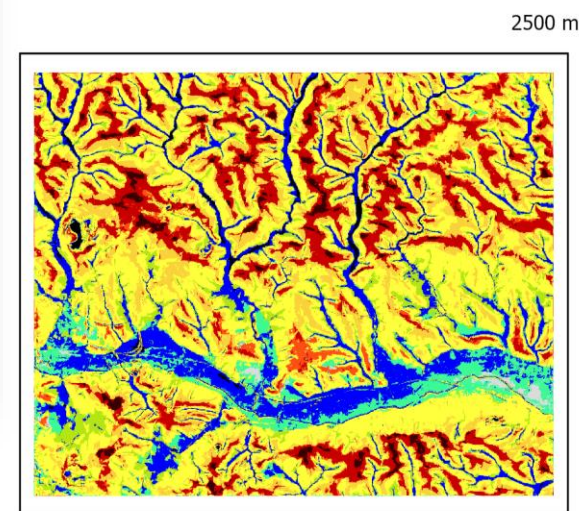
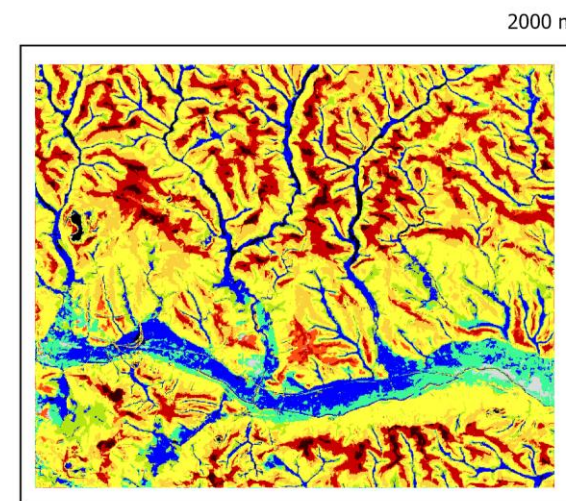
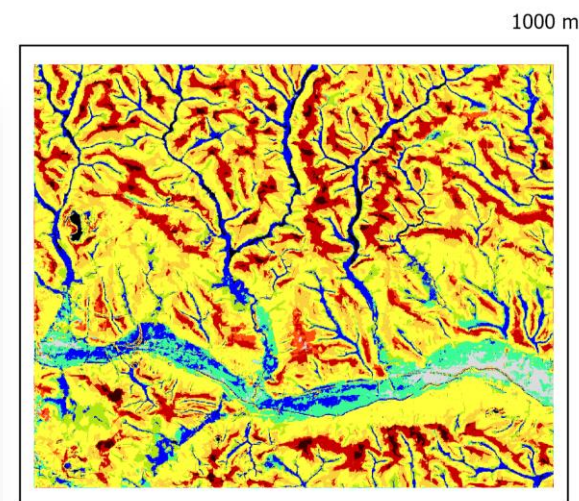
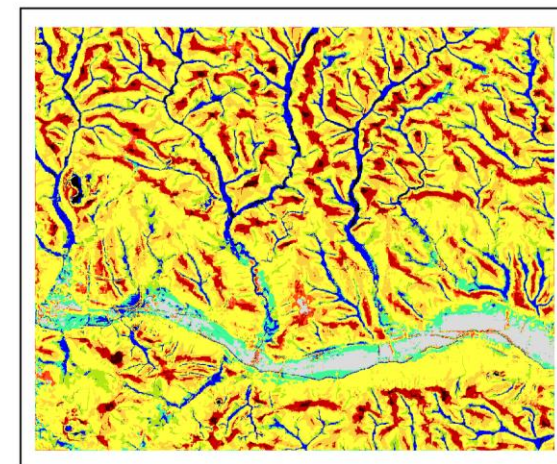
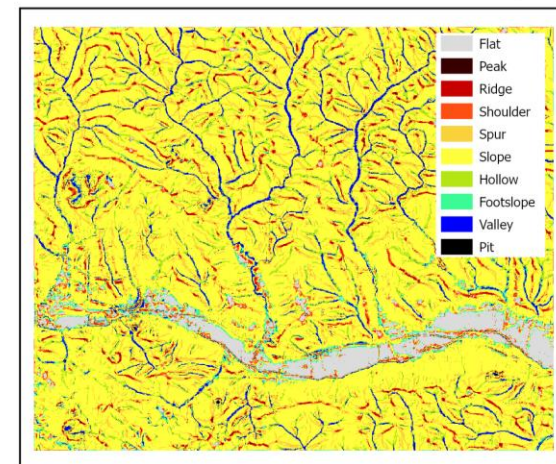
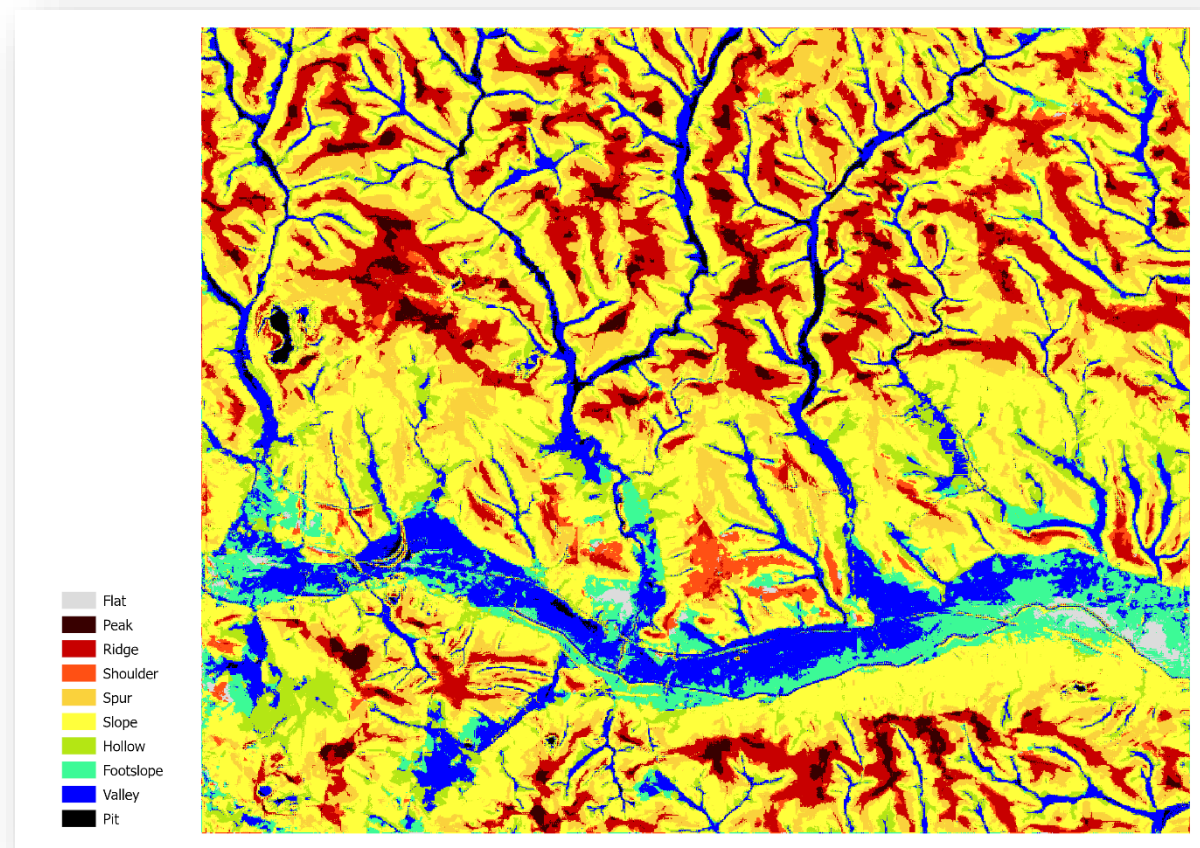


- **Odległość wyszukiwania** (*Search distance*) określa zakres pokrytego obszaru
- **Odległość pomijania** (*Skip distance*) wyklucza bezpośrednie otoczenie komórki docelowej z klasyfikacji.

Narzędzie ArcGIS Pro

- Obszar analizy definiuje, których komórek narzędzie używa do określenia wzoru geomorfonu.
- Większe wartości odległości pomijania i odległości wyszukiwania mogą uogólniać otaczający teren.
- Mniejsze wartości uchwycą więcej szczegółów.
- Zwiększenie wartości odległości pomijania jest przydatne w celu zmniejszenia szumu z pobliskich komórek, które mogą reprezentować błędne wartości wysokości lub które mogą nie dawać dodatkowych informacji pod względem różnicy wysokości.

Wybór skali obserwacji (definiowano tylko *Search distance*)



Wnioski

1. W metodzie geomorfonów odległość obserwacji i kształt sąsiedztwa, na podstawie którego określany jest element ukształtowania terenu, automatycznie dopasowują się do geometrii lokalnego terenu.
2. 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.
3. 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).
- 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.
- 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.