



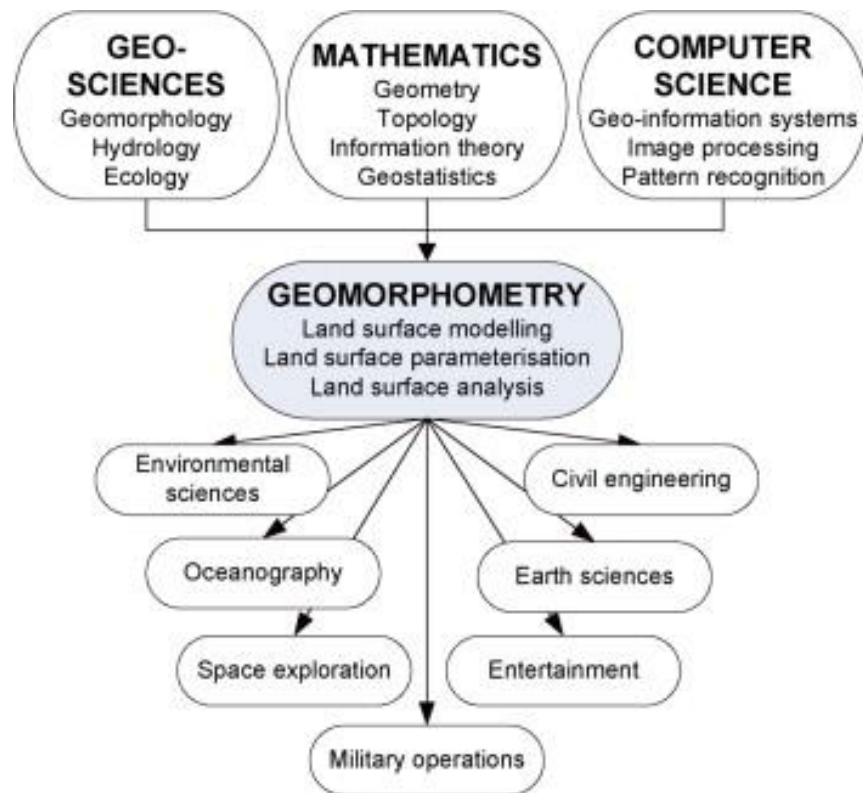
**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

# **Zastosowanie GIS w badaniach przyrodniczych**

**Modelowanie podstawowych form  
rzeźby terenu**

**Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska  
Katedra Geologii Ogólnej i Geoturystyki  
Kraków, 2021**

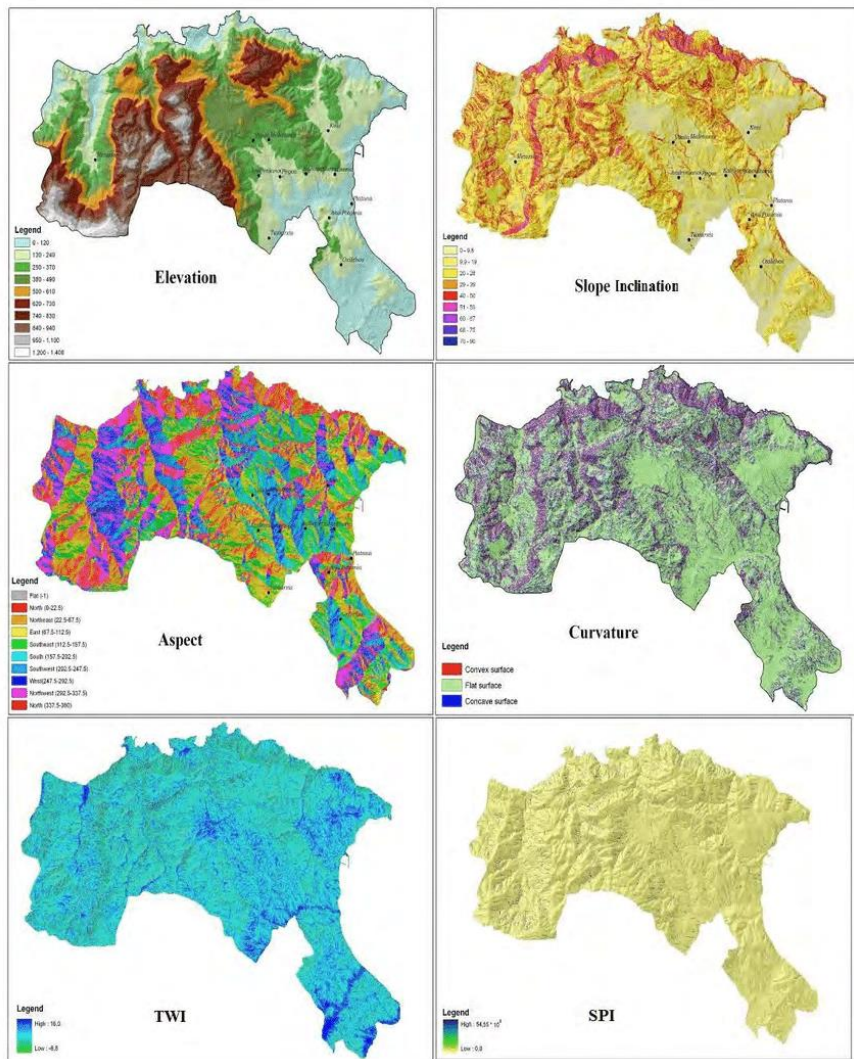




Jest dziedziną nauki zajmującą się pomiarami powierzchni Ziemi dokonywanymi dla jej opisu lub w celu późniejszego przetwarzania i umożliwienia różnorodnych analiz.



## Atrybuty topograficzne



Od wczesnych lat 70. ubiegłego stulecia bezpośrednim źródłem analiz geomorfometrycznych są numeryczne modele terenu (NMT).

Na podstawie NMT obliczane są:

- **podstawowe** (nachylenie, ekspozycja, krzywizna stoków)
- **wtórne parametry morfometryczne.**





AGH

## Klasyfikacja form rzeźby terenu



Jednym z typowych zadań z zakresu geomorfometrii jest klasyfikacja form geomorfologicznych.

W praktyce, w bardziej zaawansowanych aplikacjach istnieją rozszerzenia mające za zadanie generowanie map przedstawiających proste lub bardziej złożone formy morfologiczne, np.:

- Illwis: **Generic landforms** (Hengl i in. 2003),
- GeoMedia Professional: **Landform** (Klingseisen i in. 2008).
- ArcGis: **Topography Tools** lub **Topographic Position Index** (Jenness 2006).





Jeff Jenness

W pakiecie w wersji 1.3a funkcjonują trzy narzędzia:

- **Topographic Position Index,**
- **Slope Position Classification,**
- **Landform Classification.**

Pierwsze służy do obliczenia Topograficznego indeksu pozycji (TPI) natomiast drugie i trzecie do prostej bądź bardziej złożonej klasyfikacji tego indeksu.



# Topographic Position Index

**Topographic Position and Landforms Analysis**  
Andrew D. Weiss, The Nature Conservancy

Director: Ecoregional Data Management Team  
The Nature Conservancy, Northwest Division  
217 Pine St. Suite 1100  
Seattle WA 98103  
(206) 343-4345 x360  
amwiss@tnc.org

## Introduction

Many physical and biological processes acting on the landscape are tightly correlated with topographic position: a hilltop, valley bottom, exposed ridge flume, upper or lower slope, and so on. Examples of these processes include soil erosion and deposition, hydrological balance and response, wind exposure, and seed dispersal. These bioclimatic attributes in turn are key predictors of habitat suitability, community composition, and species distribution and abundance.

This poster presents an algorithm, implemented in R2GIS, for generating a multi-scale Topographic Position Index, classifying sites into nine slope position and landform types, and using the Topographic Position Index to structure landscape models.

This work was done in a co-authorship with U.S. EPA Region III, working on the National Monitoring and Assessment Program (NMAP) for the Landscape Project (Jones et al. 2009).

### Study Area

### Future Research

- (1) Using dimensionally-weighted TPI testing among steeply-sloped shrubsteppe at the site (see 2.8 below). Here TPI testing would allow us to help resolve slopes from those areas from outliers, ridges from hilltops and valleys from depressions. It can also be used to help resolve the relative elevations of a valley or ridge which would allow a finer scale for mesoscale and wind weather exposure
- (2) Exploring the use of neighborhood statistics of slope and exposure, or slope exposure measured as a coarse scale to increase the resolution of landscape classifications
- (3) Testing TPI and thresholding strategies in a wide variety of different landscapes
- (4) Assessing the usefulness of TPIs as predictors for landscape level processes and features, and for predictive species/communities models
- (5) Compare TPI to the Topographic Correlation Index  $h(\Delta)$  described, where  $\Delta$  is the upslope contributing area
- (6) Exploring further other neighborhood metric indices, such as high pass filter

### Basic Algorithm

The Tappan and the Hudson basin (CT) compares the duration of each cell with the mean duration of a specified neighborhood around it (cell size = 100 km<sup>2</sup>). The Tappan basin is a small, relatively homogeneous basin, and the drainage divides are well defined. Since the first input required is a digital elevation map, TPI can be readily generated across any watershed.

Positive TPI values represent locations that are higher than the average of the surrounding cells. Negative TPI values represent locations that are lower than their neighbors (collectively, TPI values near zero are either flat areas (where the divide is near zero) or areas of convergence (where the divide is high)).

Topographic position is an inherently scale-sensitive variable. As an example, consider a location in a mountain in Yosemite valley. At a fine scale, the location is a peak, and the TPI value is positive. As the scale increases, the location is a valley, and the TPI value is negative. The TPI value for looking at wet transport is not neutral in nature. At a scale of several kilometers, this same point is at the bottom of a 1500 m deep canyon, where the TPI value is positive. At a scale of 100 km, the TPI value is negative. *One does not change the morphological characteristics of a point as one is affected by TPI values; rather, in a study of topographic position in the Spring Mountains, the TPI values are negative for the same point at scales of 1000, 10000, and 20000 m.*

Topographic position is a scale-sensitive variable. The TPI values for the same significant relationships (TPI at scales of 1000, 10000, and 20000 m) are not the same.

Chen, S., & M. Watts, & A. D. Waide (1998) Using a TPI spatial modeling of riparian distribution. *Ecological Modelling* 107:357-372

### Slope Position

By themselves, the continuous TPI values at a given scale, and checking the slope for values near zero, handmaps can be classified into discrete slope position classes (Fig. 3a).

Using xgknn (Fig. 3b), we may instead divide ridges and valleys as delineate a fine-scale, including lateral variations in the major valleys, and the bottom of the valleys (Fig. 3c). At the coarsest scale, Fig. 3d, the classification shows the major landforms (Fig. 3c) more accurately, major ridge lines, and the major valleys and canyons. Smaller lateral features disappear, and canyons bottom are now classified as valleys.

Delineating the threshold leads to take into account several factors: the spatial scale of the data, the scale of the classification, the scale of the classification, the scale of the data, and the particular problem at hand. Selected last particularly important is a specific analysis could be extended by adjusting the weights and incorporating additional metrics, such as the variance of the data.

One significant benefit of creating classes, used in Fig. 3b and c, is to create standard deviation maps. In this example, class 2 and 3 are low-complexity

## Landforms

Combining TPI at a small and large scale allows a variety of nested landscapes to be distinguished (Fig. 3). As a general rule, average elevation tends to be spatially autocorrelated, the range of TPI values increases with scale. One question to address here is whether it is meaningful for TPI grids at scales  $\geq 10$  m to have a range of 0–100 m (often should only be 0–10 m if the means of the original TPI grids are 'normalized' close to zero). This lets the same basic ranges appear to be used to classify any scale combinations of TPI grids.

### Watershed Metrics

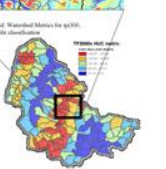
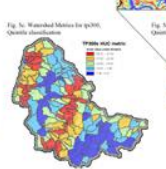
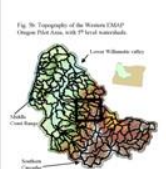
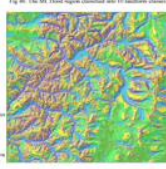
Combining TFS with a small and large scale allows a variety of nested landforms to be distinguished (Fig. 5a). As a general rule, nested elevation trends will be spatially autocorrelated; the range of TFS values increases with scale. (We method to address this problem is to standardize TFS grids to mean = 0 and sd = 1. (This should only be done if the means of the original TFS grids are "reasonably close" to zero. This lets the same basic equations to be used to classify any scale combinations of TFS grids.)

The exact breakpoints among classes can be manually chosen to represent the classification for a particular landscape and problem. As is done in this classification, additional topographic metrics, such as variance of elevation, slope, or aspect within the neighborhood, may help delineate landforms more accurately, and extract different types of features.

Fig. 4b. The Mt. Hood region classified into 10 basaltic classes.

Landforms

Class	Landform
1	carpeted, steep, rocky stream
2	rocky or stony stream
3	gravel stream, moderate
4	gravel stream, moderate
5	rocky stream
6	stream
7	open slope
8	open slope, steep
9	open slope, steep
10	open slope, steep
11	open slope, steep
12	open slope, steep
13	open slope, steep
14	open slope, steep
15	open slope, steep
16	open slope, steep
17	open slope, steep
18	open slope, steep
19	open slope, steep
20	open slope, steep
21	open slope, steep
22	open slope, steep
23	open slope, steep
24	open slope, steep
25	open slope, steep
26	open slope, steep
27	open slope, steep
28	open slope, steep
29	open slope, steep
30	open slope, steep
31	open slope, steep
32	open slope, steep
33	open slope, steep
34	open slope, steep
35	open slope, steep
36	open slope, steep
37	open slope, steep
38	open slope, steep
39	open slope, steep
40	open slope, steep
41	open slope, steep
42	open slope, steep
43	open slope, steep
44	open slope, steep
45	open slope, steep
46	open slope, steep
47	open slope, steep
48	open slope, steep
49	open slope, steep
50	open slope, steep
51	open slope, steep
52	open slope, steep
53	open slope, steep
54	open slope, steep
55	open slope, steep
56	open slope, steep
57	open slope, steep
58	open slope, steep
59	open slope, steep
60	open slope, steep
61	open slope, steep
62	open slope, steep
63	open slope, steep
64	open slope, steep
65	open slope, steep
66	open slope, steep
67	open slope, steep
68	open slope, steep
69	open slope, steep
70	open slope, steep
71	open slope, steep
72	open slope, steep
73	open slope, steep
74	open slope, steep
75	open slope, steep
76	open slope, steep
77	open slope, steep
78	open slope, steep
79	open slope, steep
80	open slope, steep
81	open slope, steep
82	open slope, steep
83	open slope, steep
84	open slope, steep
85	open slope, steep
86	open slope, steep
87	open slope, steep
88	open slope, steep
89	open slope, steep
90	open slope, steep
91	open slope, steep
92	open slope, steep
93	open slope, steep
94	open slope, steep
95	open slope, steep
96	open slope, steep
97	open slope, steep
98	open slope, steep
99	open slope, steep
100	open slope, steep



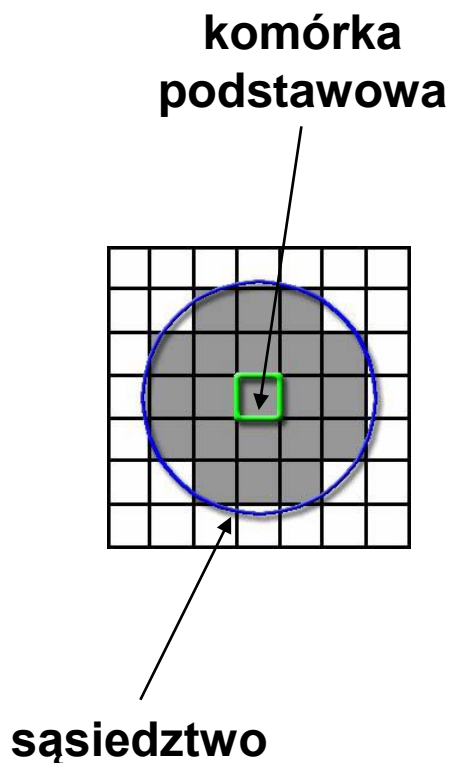
- Podstawy teoretyczne TPI zostały opracowane przez Weissa (2001).
- Do analizy wykorzystywane są obrazy rastrowe.
- Algorytm obliczeniowy polega on na określeniu **różnic pomiędzy oryginalną powierzchnią NMT, a wyliczoną powierzchnią uśrednionych wysokości.**
- Generowanie powierzchni uśrednionej przebiega półautomatycznie.





AGH

## Topographic Position Index

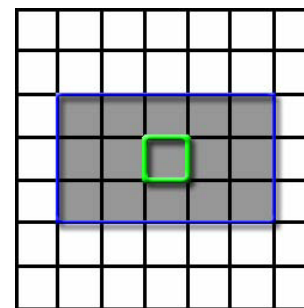
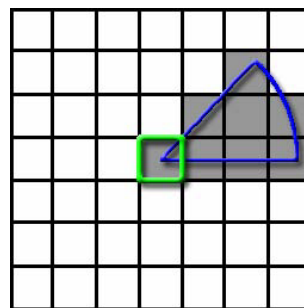
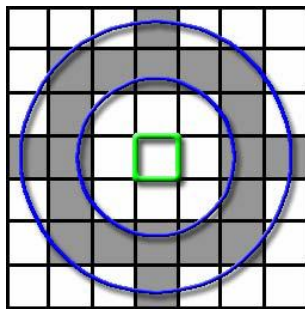
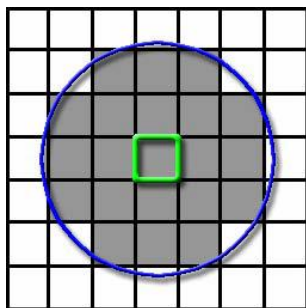


- Dla każdej komórki podstawowej (piksela) tej powierzchni, obliczana jest wartość przeciętna z komórek znajdujących się w pewnym jej otoczeniu, które dalej nazywane będzie **sąsiedztwem** lub **skalą obserwacji**.
- Wykorzystuje się tutaj technikę zwaną ruchomym oknem.



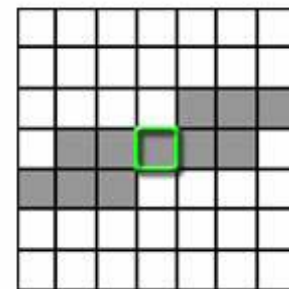
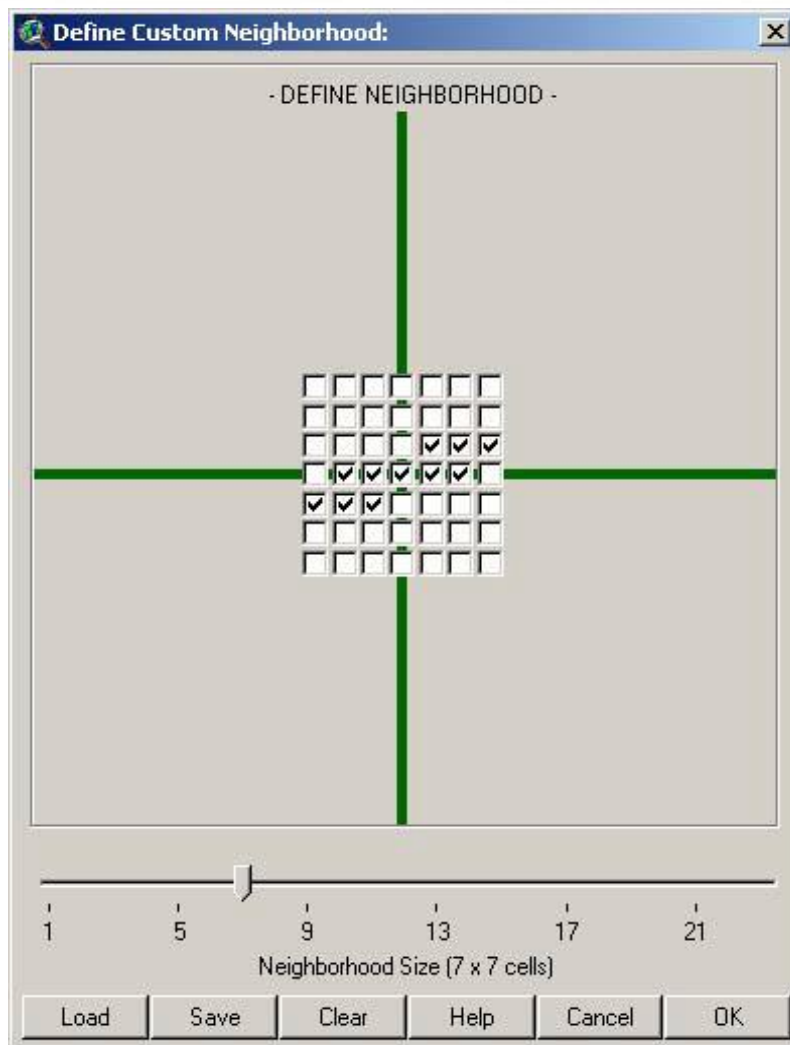
## Wybór sąsiedztwa

- Na wstępie określa się kształt i wielkość sąsiedztwa. Może mieć ono formę kwadratu, koła, pierścienia, wycinka koła lub być nieregularne – zdefiniowane przez badacza



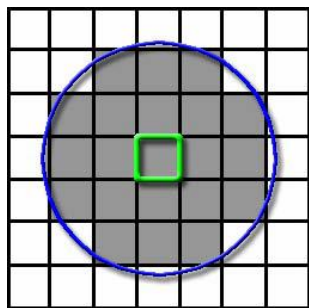


## Wybór sąsiedztwa





## Topographic Position Index

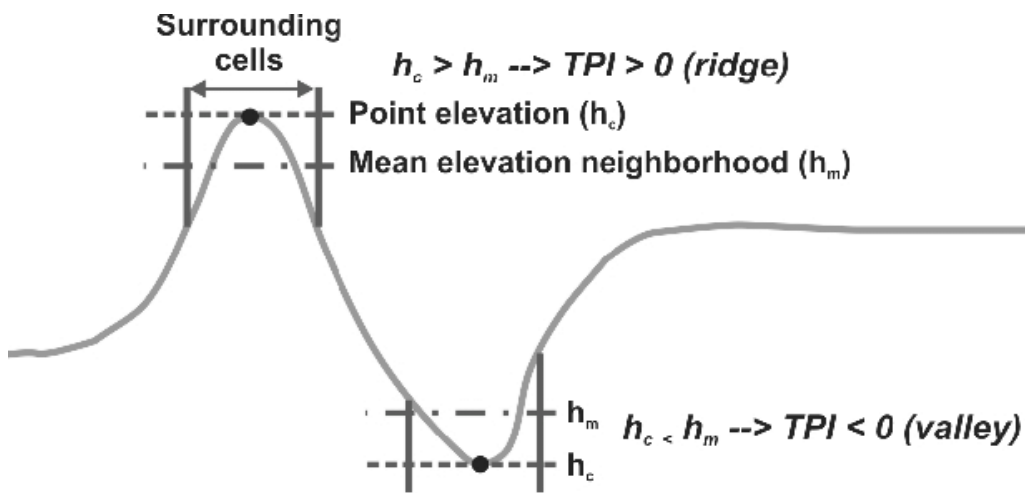


- Następnie na pierwszą komórkę analizowanej powierzchni, nakładana jest maska zdefiniowanego sąsiedztwa i w oparciu o dane znajdujące się w jej wnętrzu dokonywane są obliczenia wskaźnika TPI.
- Po ich wykonaniu maska zostaje przesunięta na kolejną komórkę i algorytm ulega powtórzeniu.
- Obliczenia dokonywane są w kolejnych obszarach analizowanego rastra, aż do wyczerpania całej jego powierzchni.



## Topographic Position Index

- 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).

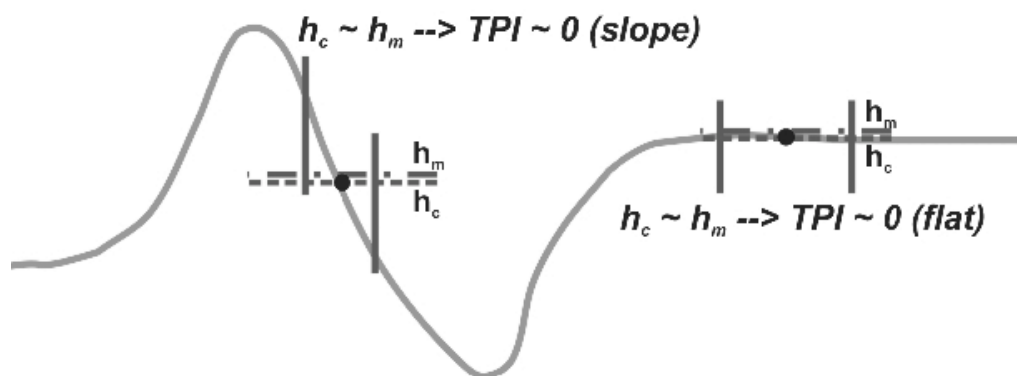


- Dodatknie** wartości atrybutu TPI wskazują na wyższe położenie komórki względem swego sąsiedztwa (obszary o reliefie wypukłym: wzgórza, grzbiety).



## Topographic Position Index

- 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.

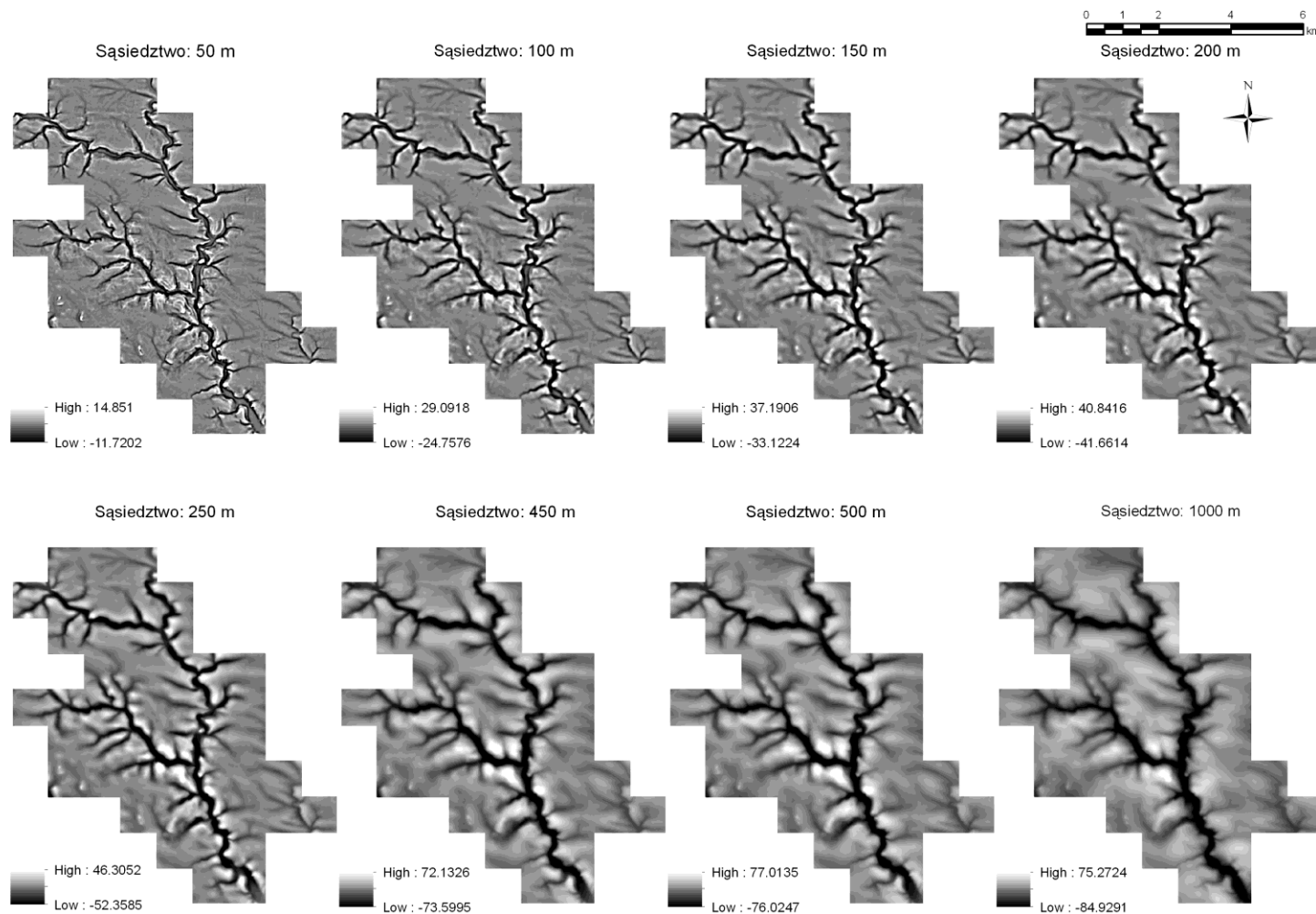




W wyniku przeprowadzonych obliczeń, powstaje nowa, rastrowa warstwa informująca nas jak bardzo wysokość w danym miejscu odbiega od lokalnej średniej.



# Topographic Position Index – rejon OPN

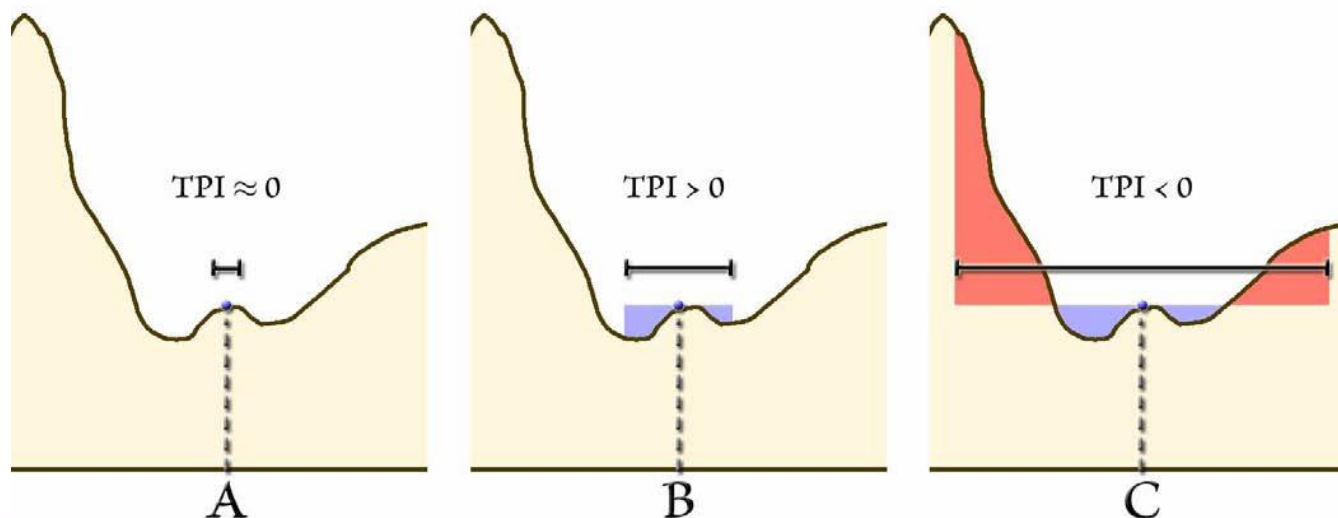




## Wpływ skali obserwacji

- Indeks TPI jest bardzo czuły na wielkość sąsiedztwa analizowanej komórki.
- Ten sam punkt, w zależności od przyjętej skali obserwacji może zostać różnie zinterpretowany,

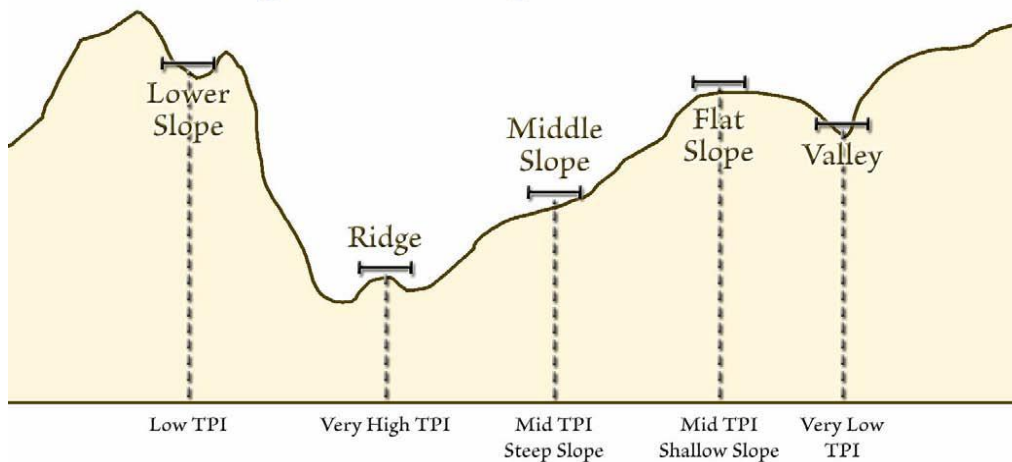
TPI Values at 3 Different Scales



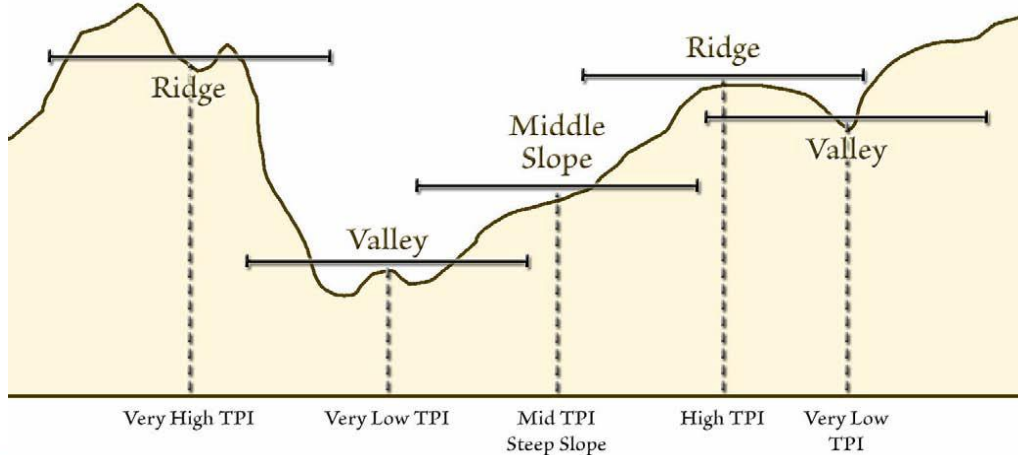


# Wpływ skali obserwacji

Small-Nighborhood Slope Position Classification



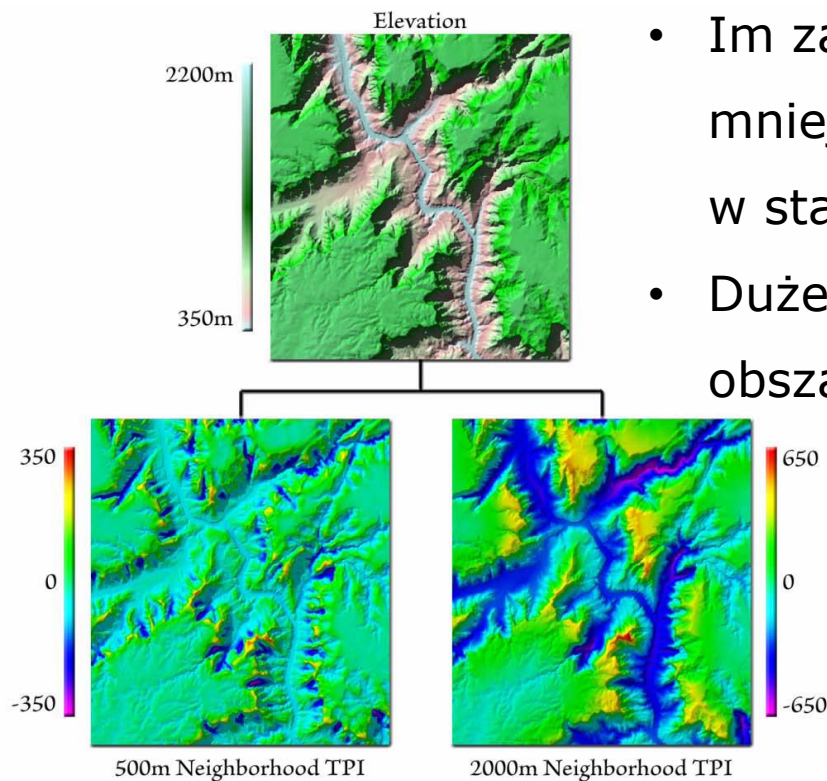
Large-Nighborhood Slope Position Classification





# Topographic Position Index

- Zróżnicowanie skali obserwacji wpływa na możliwość rejestracji mniejszych bądź większych struktur morfologicznych.
- Im zastosujemy mniejszą skalę obserwacji, tym mniejsze struktury powierzchni terenu będziemy w stanie rozpoznać, a później je sklasyfikować.
- Duże znaczenie w analizach ma także kształt obszaru zliczania.

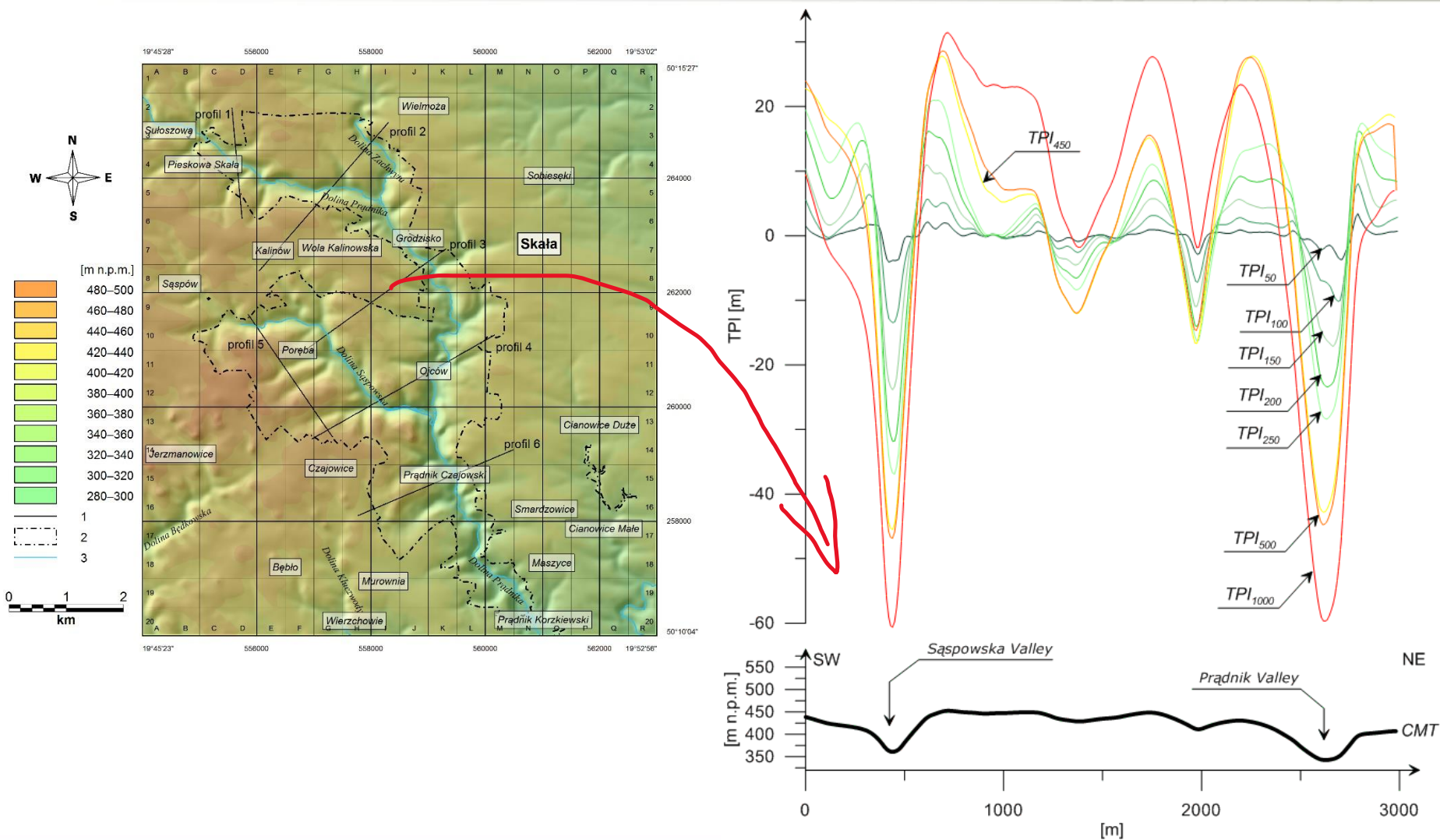






AGH

# Wpływ skali obserwacji na TPI





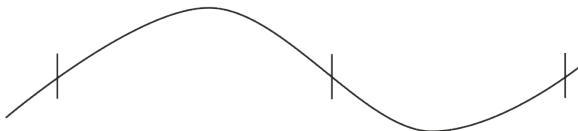
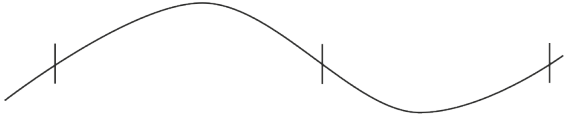
## Klasyfikacja form morfologicznych

- 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.



## Klasyfikacja form morfologicznych

- Aplikacja Topography Tools klasyfikuje formy terenu według australijskiego podziału Speighta (1990)

Nazwa	pozycja topograficzna	profil
<b>wierzchołek</b> ( <i>crest</i> )	Obszar wyniesiony, cechujący się pozytywną krzywizną planarną i/lub wertykalną	wierzchołek 
<b>Depresja</b> <b>otw., zamkn.</b> ( <i>depression:</i> <i>open, closed</i> )	obsz. 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 

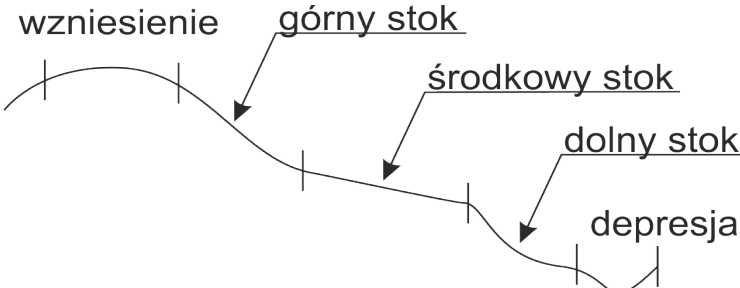
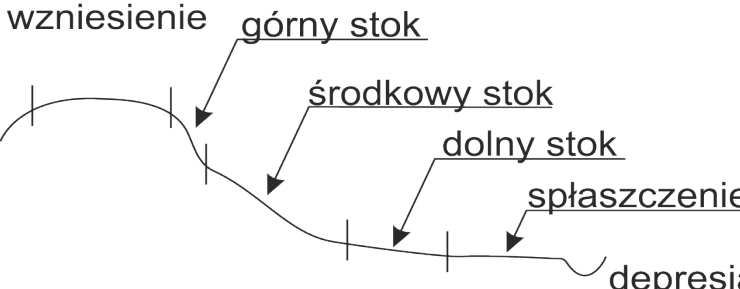
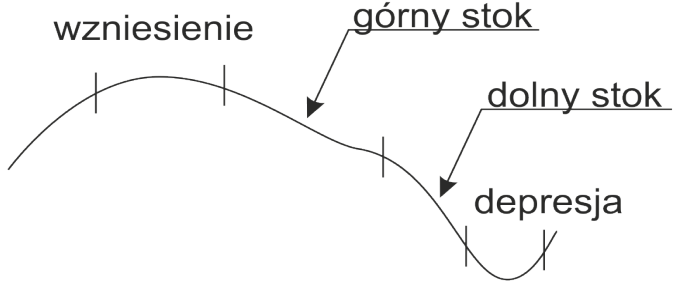


# Klasyfikacja form morfologicznych

<b>Splaszczanie</b> <i>(flat)</i>	obsz. o nachyleniu <3%	grzbiet splaszczanie
<b>Stok</b> <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 splaszczanie depresja
<b>Stok prosty</b> <i>(simple slope)</i>	Obszar występujący poniżej wierzchołka lub splaszczczenia oraz powyżej splaszczczenia dolin lub depresji	wzniesienie stok prosty depresja

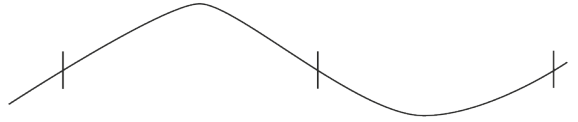
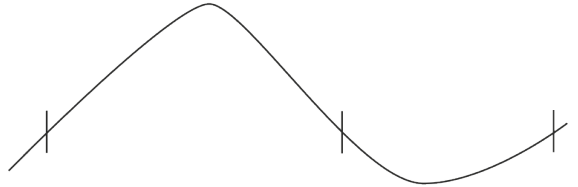


# Klasyfikacja form morfologicznych

<b>Górny stok</b> <i>(upper slope)</i>	<p>Obszar występujący poniżej wierzchołka lub spłaszczenia ale nie występujący nad spłaszczeniem lub depresją</p>	
<b>Śr. stok</b> <i>(mid slope)</i>	<p>Obszar nie sąsiadujący od góry z wierzchołkiem lub spłaszczeniem oraz nie sąsiadujący od dołu ze spłaszczeniem bądź depresją</p>	
<b>Dolny stok</b> <i>(lower slope)</i>	<p>Obszar nie sąsiadujący od góry z wierzchołkiem lub spłaszczeniem ale sąsiadujący od dołu ze spłaszczeniem lub depresją</p>	



## Klasyfikacja form morfologicznych

<p>Wzgórek (<i>hillock</i>)</p>	<p>Złożony element, w który krótkie elementy stokowe sąsiadują z wąskimi wzniesieniami (szer. &lt;40 m)</p>	<p>wzgórek</p> 
<p>Grzbiet (<i>ridge</i>)</p>	<p>Złożony element, w który krótkie elementy stokowe sąsiadują z wąskimi wzniesieniami (szer. &gt;40 m)</p>	<p>grzbiet</p> 



## Klasyfikacja form morfologicznych

- 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 wyznaczane są więc na podstawie zmienności komórek znajdujących się w sąsiedztwie, a nie na podstawie samych wartości TPI.



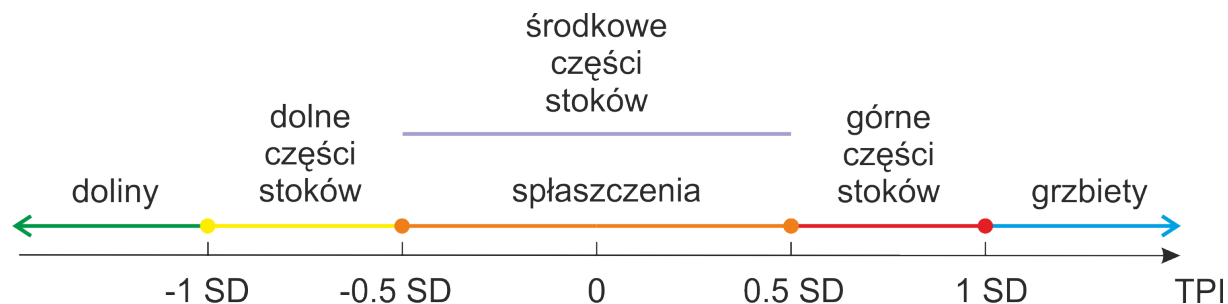
## Klasyfikacja form morfologicznych

- 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.



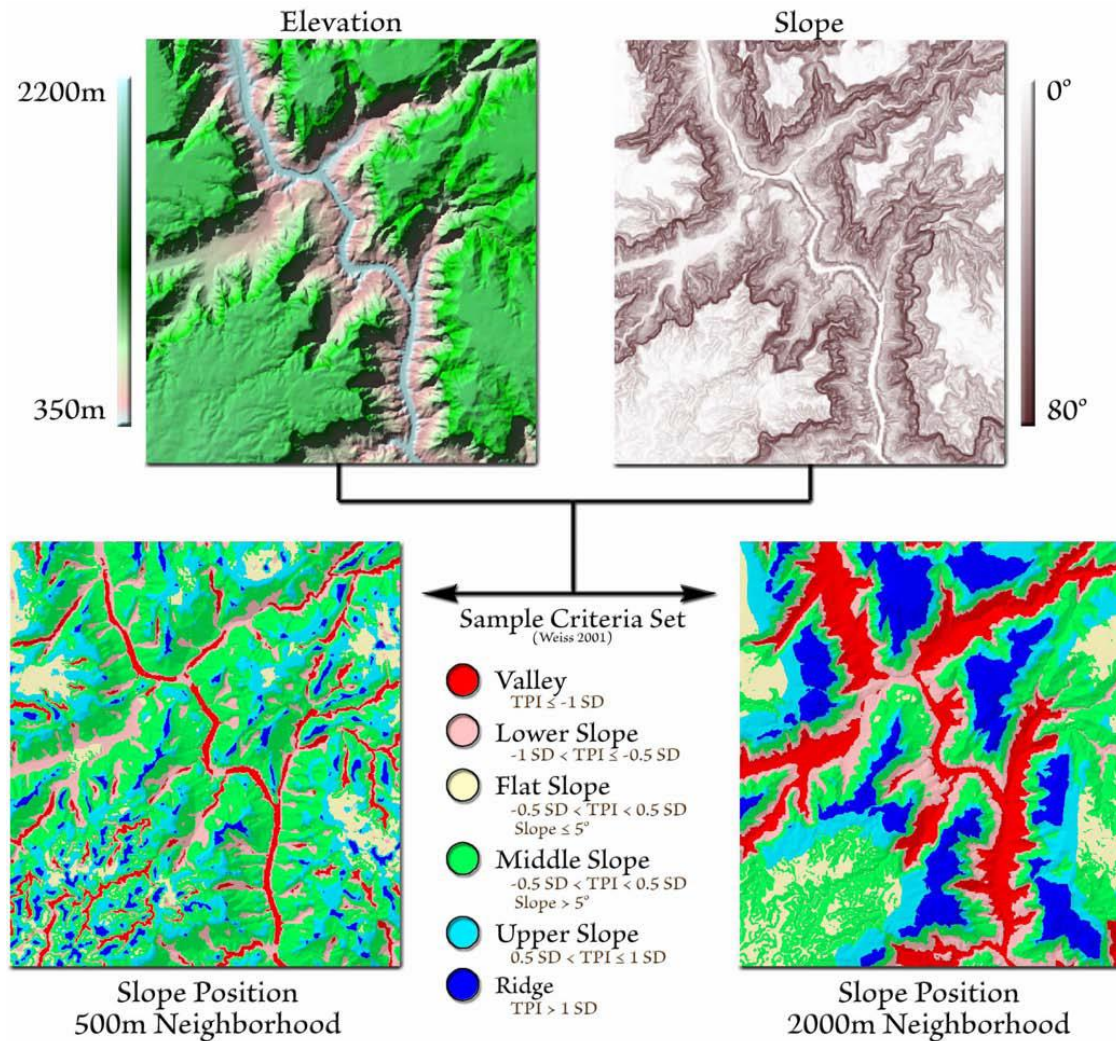
## Klasyfikacja wsk. TPI (Weiss, 2001)

Nazwa klasy	Wartości graniczne TPI	Warunki dodatkowe
dolina (valley)	$TPI < -1 \text{ SD}$	
dolne części/podnóża stoków (lower/toe slope)	$-1 \text{ SD} \leq TPI < -0.5 \text{ SD}$	
spłaszczenia (flat slope)	$-0.5 \text{ SD} \leq TPI \leq 0.5 \text{ SD}$	nachylenie $\leq 5^\circ$
środkowe części stoków (middle slope)	$-0.5 \text{ SD} < TPI < 0.5 \text{ SD}$	nachylenie $> 5^\circ$
górne części stoków (upper slope)	$0.5 \text{ SD} < TPI \leq 1 \text{ SD}$	
grzbiety (ridge)	$TPI > 1 \text{ SD}$	



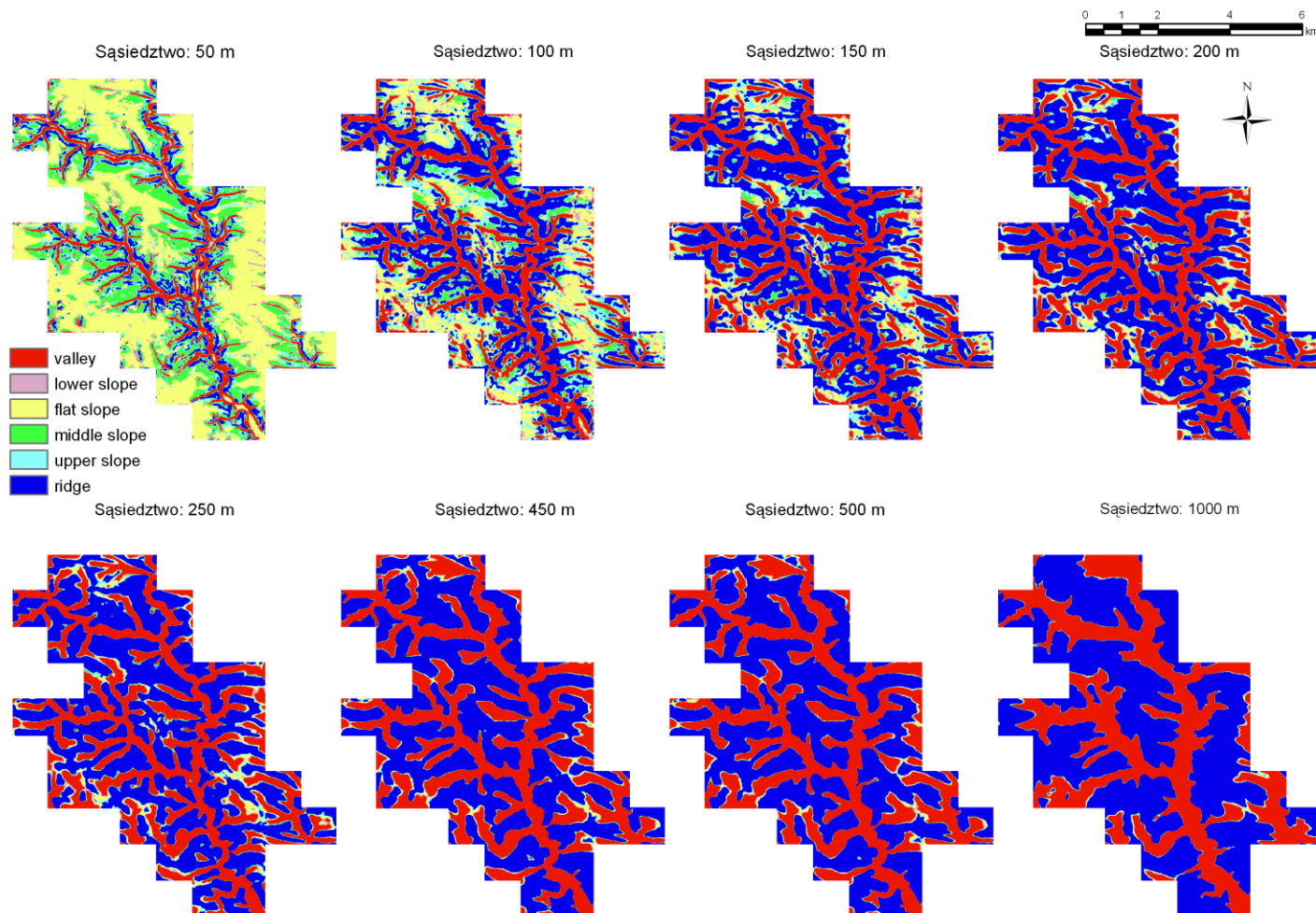


# Klasyfikacja wsk. TPI (Weiss, 2001)



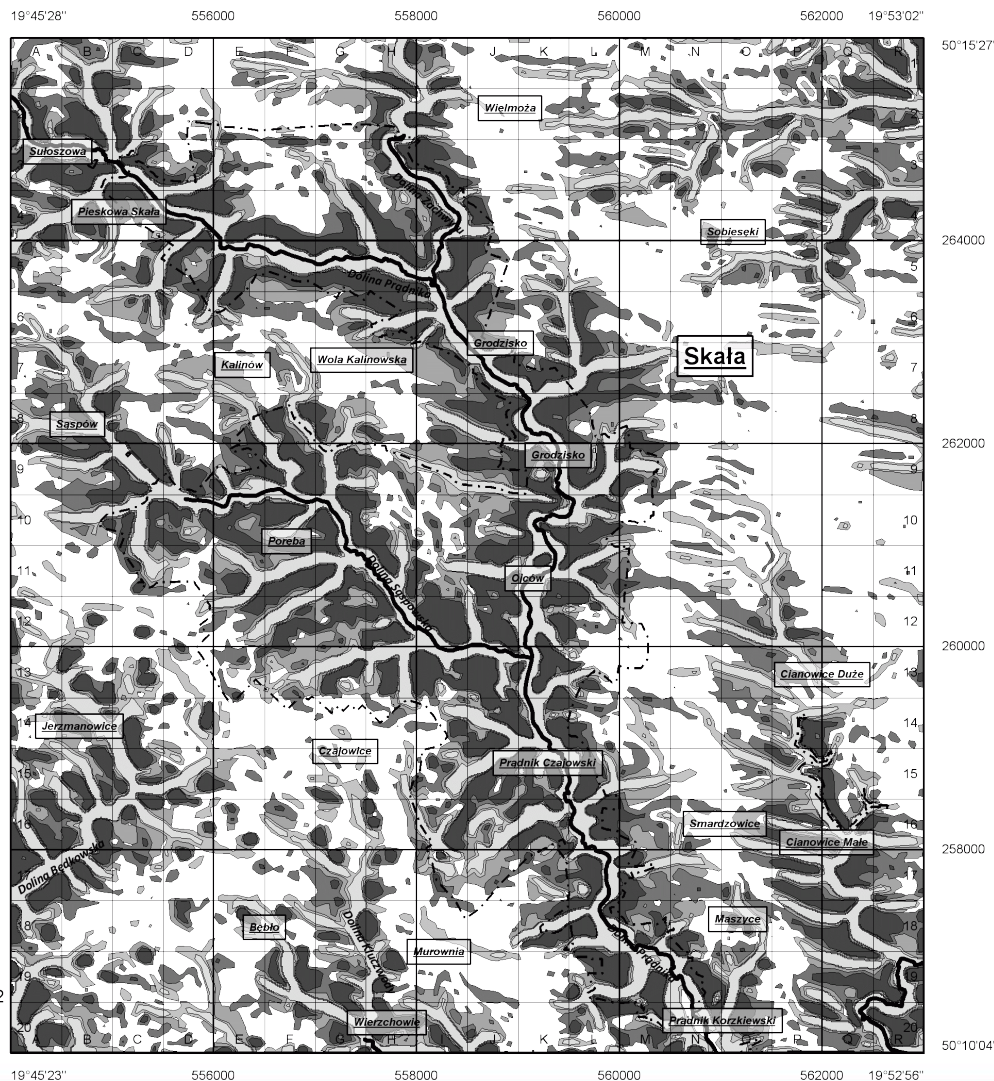


# Klasyfikacja wsk. TPI – rejon OPN





# Klasyfikacja wsk. TPI – rejon OPN



## Model geomorfologiczny rejonu OPN

- 1 – doliny,
- 2 – dolne części stoków,
- 3 – wypłaszczenia wierzchowinowe,
- 4 – środkowe części stoków,
- 5 – górne części stoków,
- 6 – grzbiety,
- 7 – granica OPN,
- 8 – cieki powierzchniowe



## Klasyfikacja wsk. TPI (Dickson & Beier 2007)

Formy morfologiczne	Wartości graniczne TPI	Warunki dodatkowe
dna dolin	$TPI \leq -8$	
grzbiety	$TPI \geq 8$	
słabo nachylone stoki	$-8 < TPI \leq 8$	nachylenie $< 6^\circ$
silnie nachylone stoki	$-8 < TPI \leq 8$	nachylenie $\geq 6^\circ$





**AGH**

## **Klasyfikacja z użyc. bliższego i dalszego sąsiedztwa**

- Wysoka czułość analiz wskaźnika TPI na przyjętą skalę obserwacji, spowodowała poszukiwania bardziej obiektywnego sposobu klasyfikacji.
- Metodę wykorzystującą obserwację sąsiedztwa w dwóch skalach obserwacji: małej i dużej zaproponował Weiss (2001).





**AGH**

## **Klasyfikacja z użyc. bliższego i dalszego sąsiedztwa**

- 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 morf.

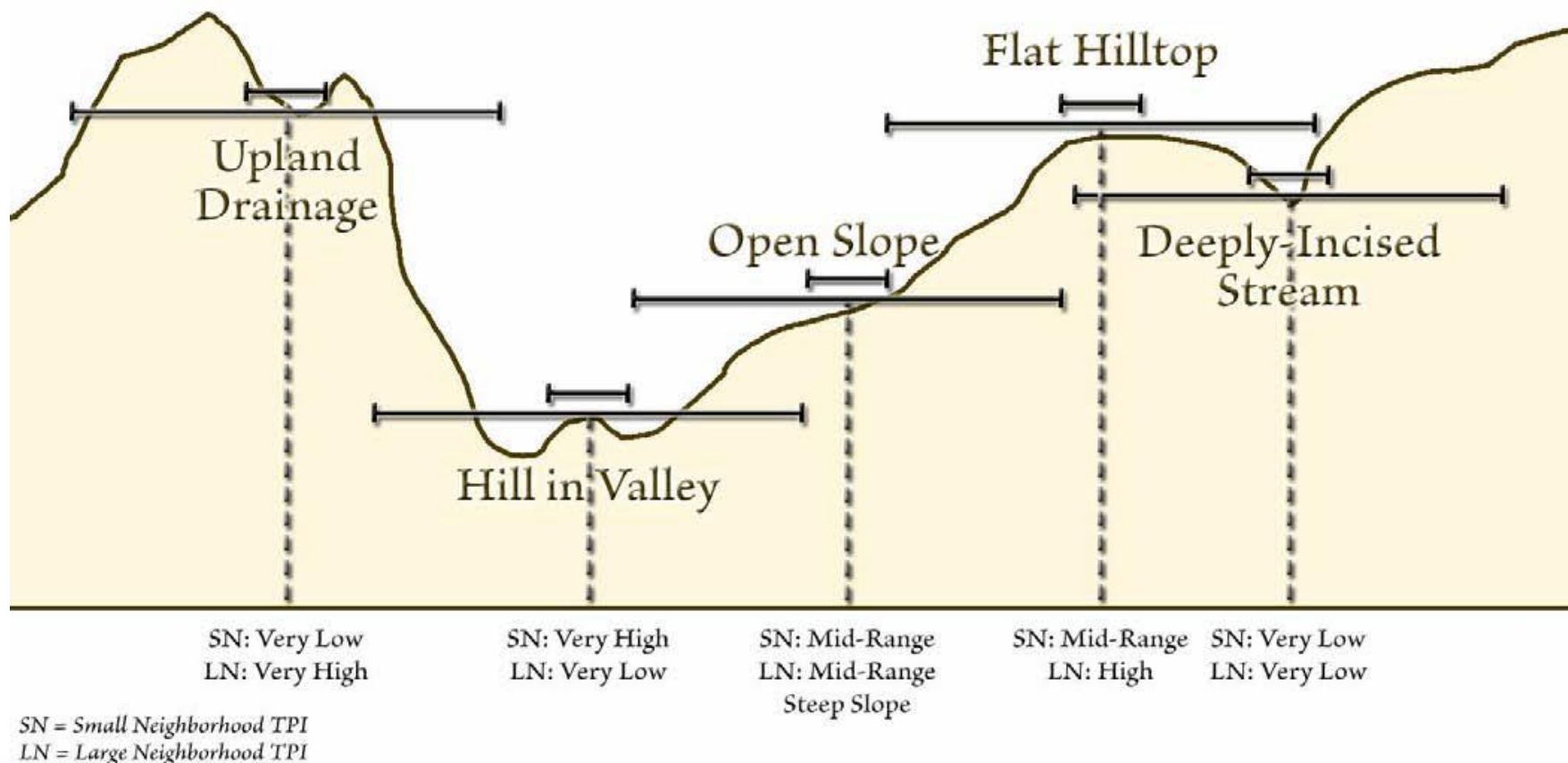




AGH

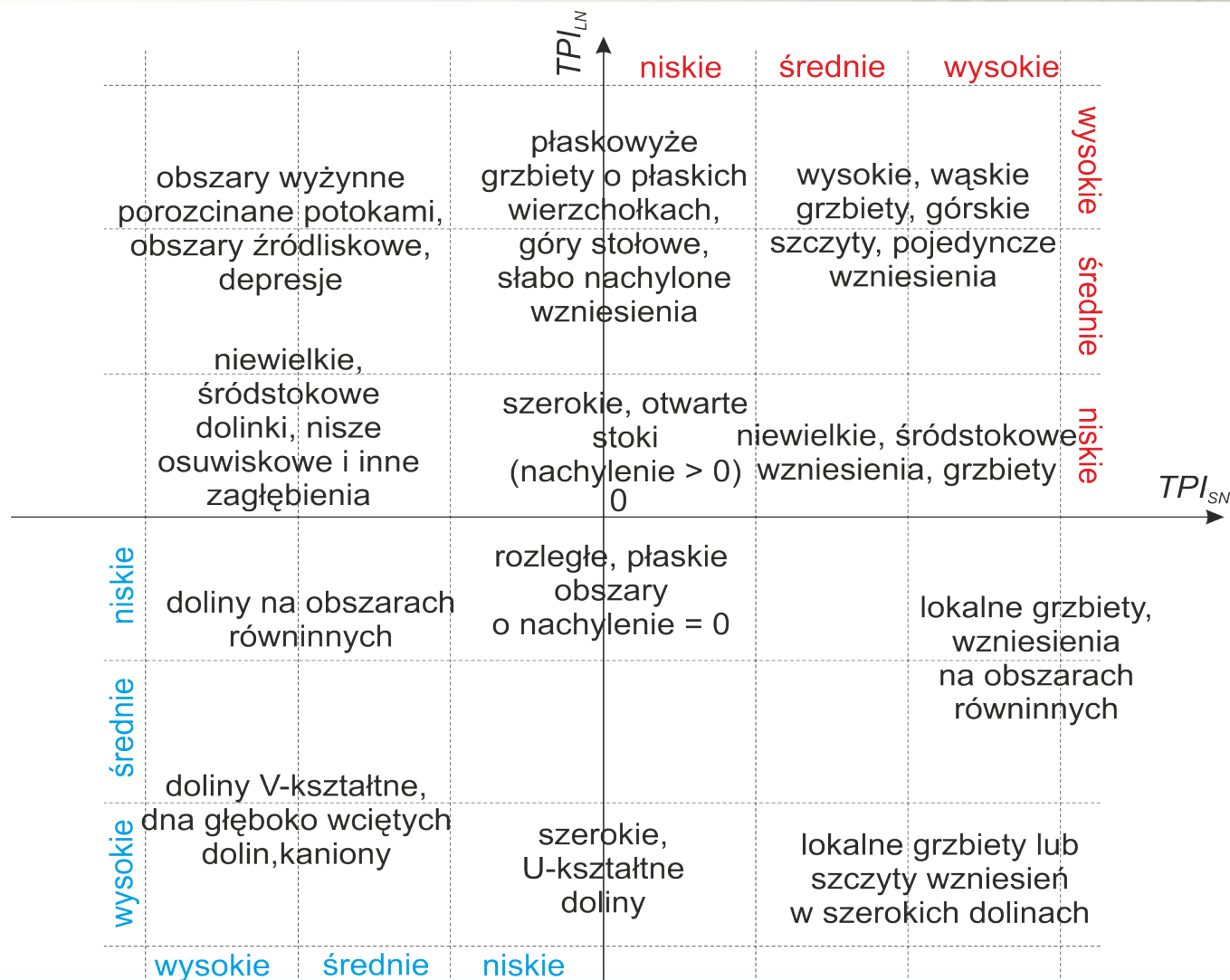
## Klasyfikacja wsk. TPI (Weiss, 2001)

### Landform Classification, using Large and Small Neighborhood TPI





# Klasyfikacja wsk. TPI (Weiss, 2001)







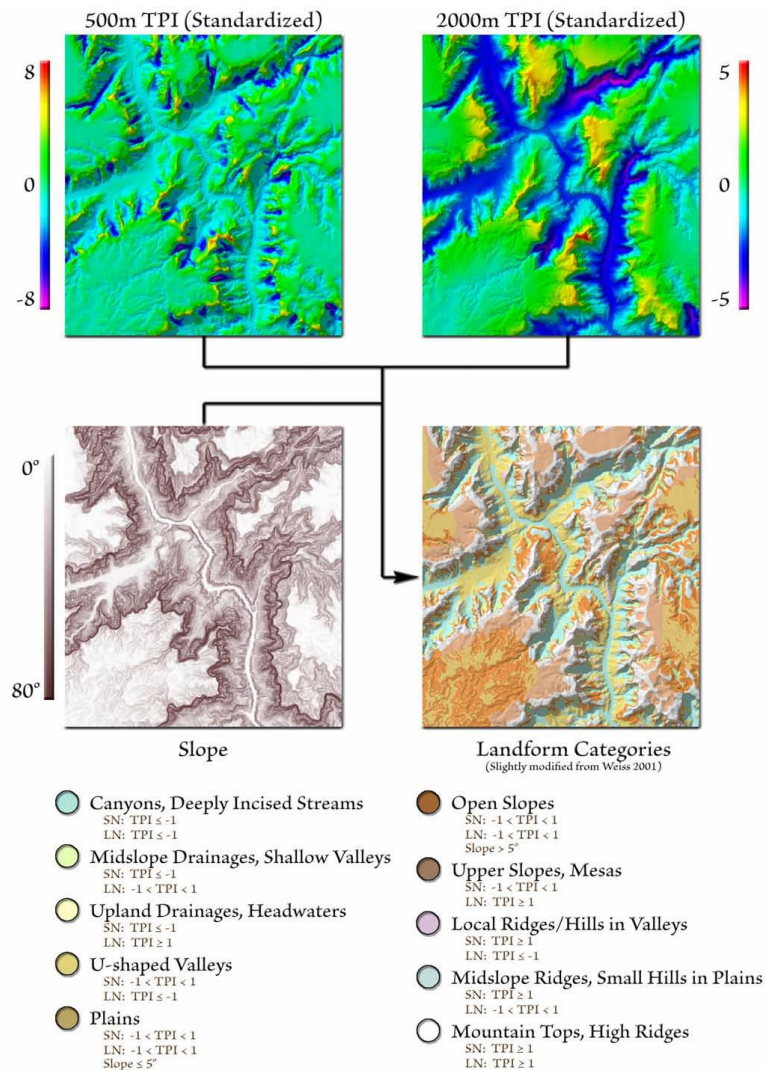
**AGH**

## Klasyfikacja wsk. TPI (Weiss, 2001)

<b>Formy morfologiczne</b>	<b>TPI<sub>SN</sub></b>	<b>TPI<sub>LN</sub></b>	<b>Nachylenie stoków</b>
Kaniony i doliny głęboko wciętych potoków	$TPI \leq -1$	$TPI \leq -1$	
Śródstokowe obszary bezodpływowe, płytkie doliny	$TPI \leq -1$	$-1 < TPI < 1$	
Wyżynne obszary bezodpływowe, obszary źródłiskowe	$TPI \leq -1$	$TPI \geq 1$	
Doliny u-kształtne	$-1 < TPI < 1$	$TPI \leq -1$	
Spłaszczenia	$-1 < TPI < 1$	$-1 < TPI < 1$	$Slope \leq 5^\circ$
Otwarte stoki	$-1 < TPI < 1$	$-1 < TPI < 1$	$Slope > 5^\circ$
Górne stoki, góry stołowe	$TPI: -1 < TPI < 1$	$TPI \geq 1$	
Lokalne grzbiety, wzniesienia w dolinach	$TPI \geq 1$	$TPI \leq -1$	
Środkowe części zboczy, niewielkie wzgórza na obszarach płaskich	$TPI \geq 1$	$-1 < TPI < 1$	
Szczyty górskie, wysokie grzbiety	$TPI \geq 1$	$TPI \geq 1$	



# Klasyfikacja wsk. TPI (Weiss, 2001)

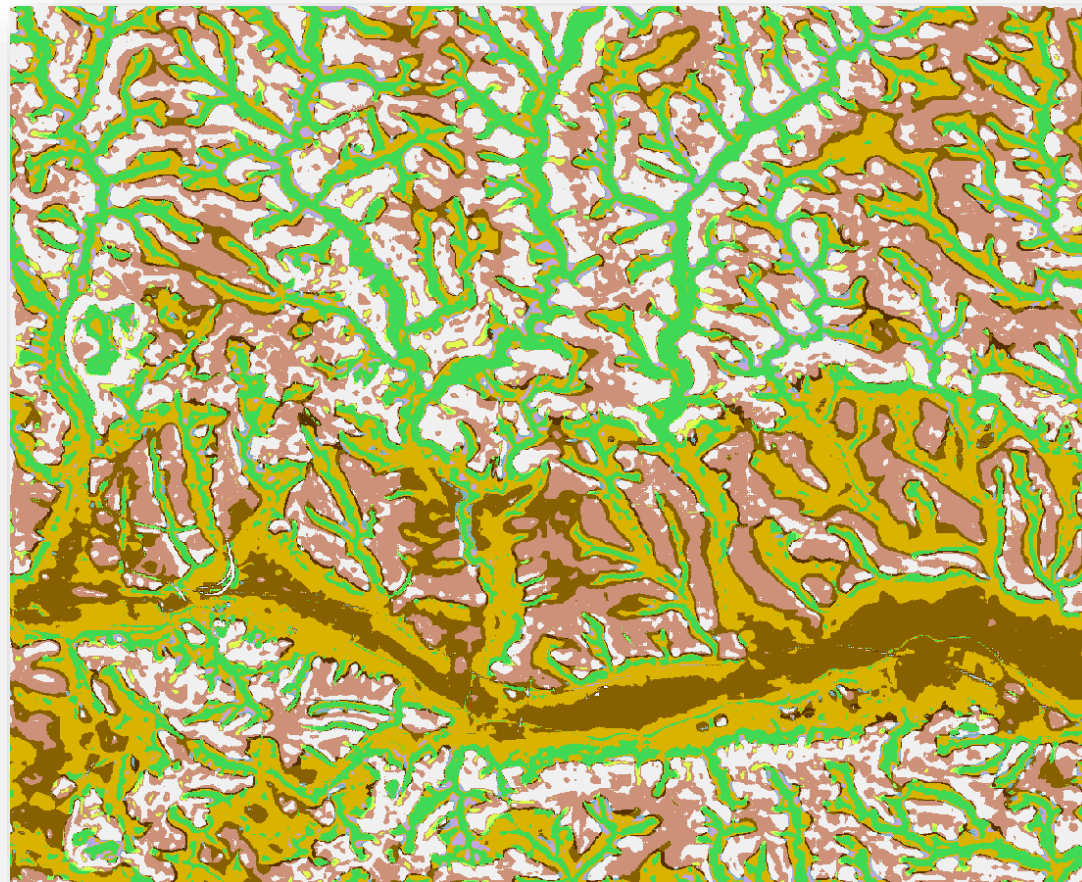






AGH

## Klasyfikacja wsk. TPI (Weiss, 2001)



- ☐ ☒ landforms
- ☒ canyons, deeply incised streams
  - ☒ midslope drainages, shallow valleys
  - ☒ upland drainages, headwaters
  - ☒ u-shaped valleys
  - ☒ plains
  - ☒ open slopes
  - ☒ upper slopes, mesas
  - ☒ local ridges, hills in valleys
  - ☒ midslope ridges, small hills in plains
  - ☒ mountain tops, high ridges



Dickson B.G., Beier P., 2007. Quantifying the influence of topographic position on cougar (*Puma concolor*) movement in southern California, USA. The Zoological Society of London, *Journal of Zoology* 271, 270–277.

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

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.

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

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

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](http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf), 2012-02-22).