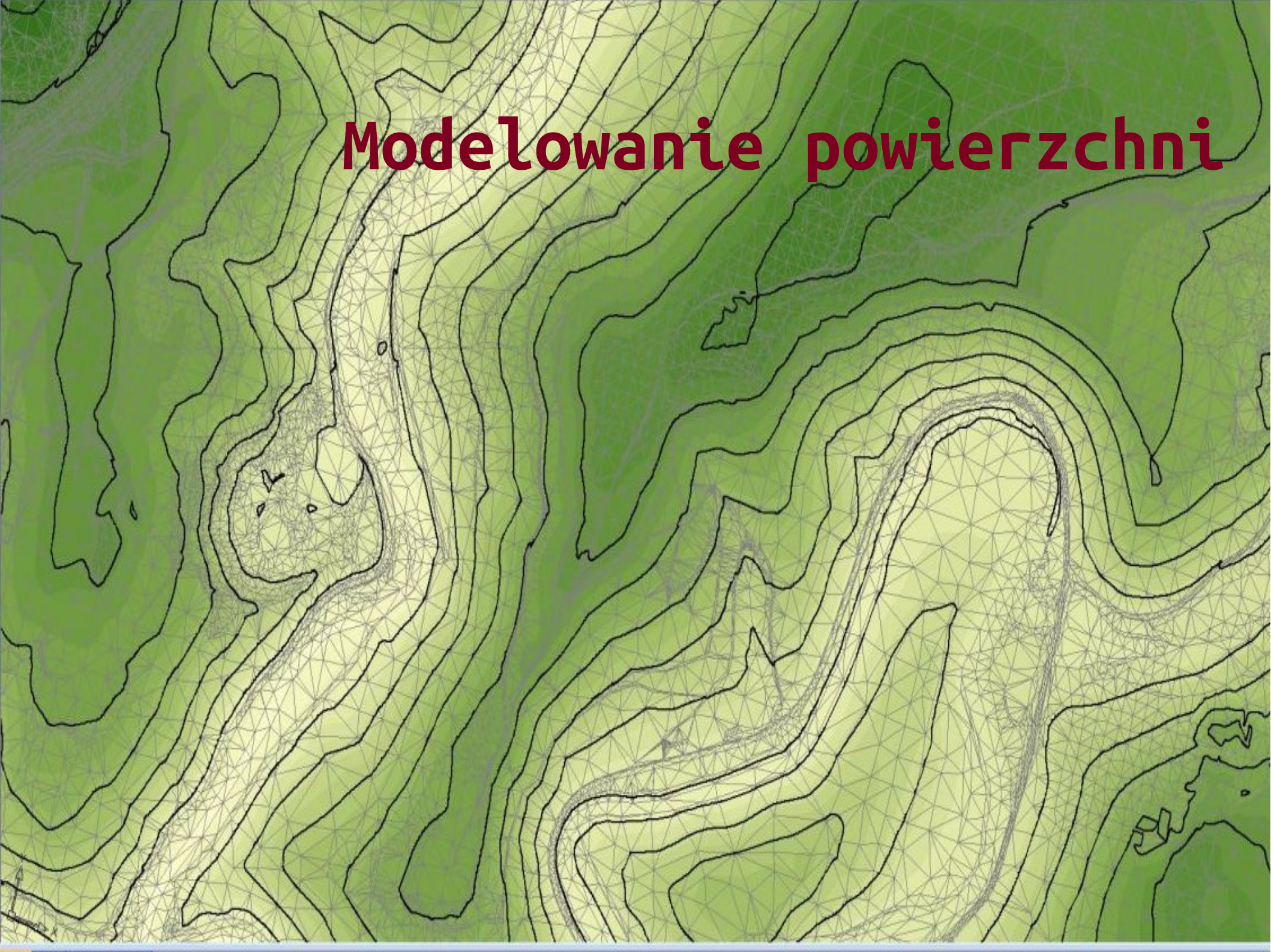
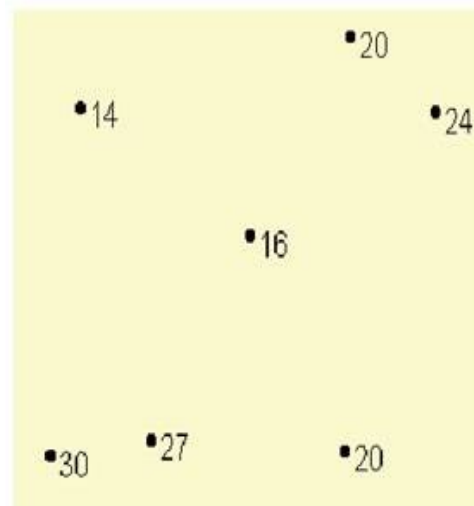


Modelowanie powierzchni



Ciągła natura powierzchni

- Powierzchnia jest zjawiskiem ciągłym i składa się z nieskończonej liczby punktów
- Nie jest możliwe zapisanie wartości dla każdego z nieskończonej liczby punktów
- Powierzchnia przedstawiana jest jako model - a więc przybliżony wycinek rzeczywistości
- Model zawiera skończoną liczbę punktów
- Model jest przybliżany poprzez pobór skończonej liczby próbek a następnie modelowaniu wartości dla punktów pomiędzy nimi



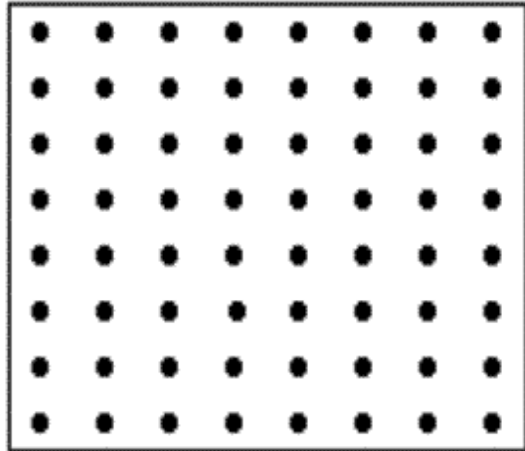
13	14	16	20	23
14	14	16	19	24
18	16	16	18	22
24	22	19	19	21
30	27	23	20	20

Metody interpolacji

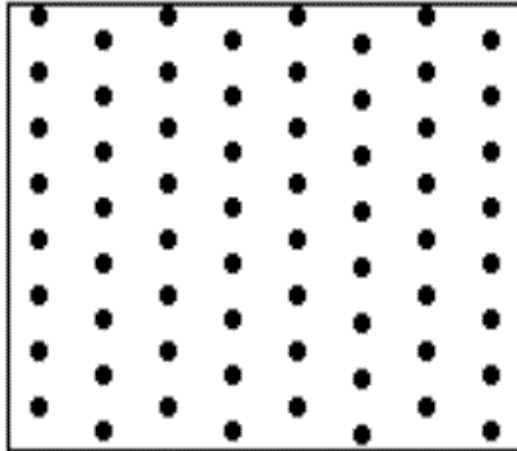
- Wartości modeluje się metodami deterministycznymi i stochastycznymi. Modele mogą zachowywać oryginalne wartości punktów albo też wyliczać je na nowo na podstawie interpolacji
- Metody **deterministyczne** - używają modeli matematycznych do określenia wartości w punkcie. Wyniki dla tych samych parametrów są powtarzalne
 - Triangulacja (TIN)
 - Najbliższy sąsiad
 - Wzajemność odwrotna do odległości
 - Naturalne sąsiedztwo
 - Funkcje sklejące
 - Metoda kwadratowa
 - Dopasowanie trendu
- Metody **stochastyczne** - pozwalają określić poziom ufności dla predykcji. Wyniki nie są powtarzalne, ale mają wiarygodność
 - symulacje i Kriging

Próbkowanie

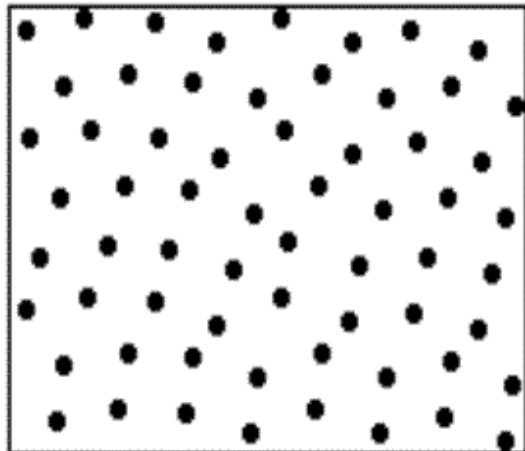
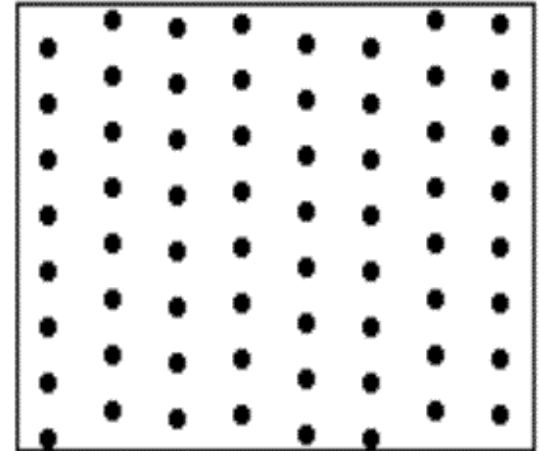
REGULAR



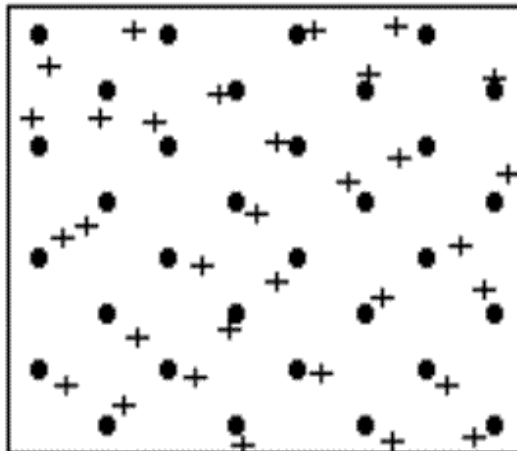
STAGGERED START



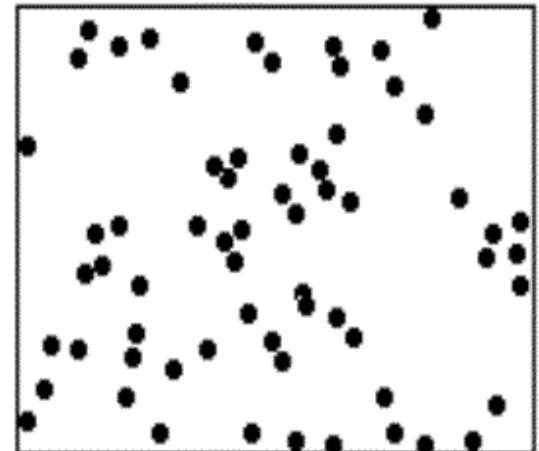
RANDOM START



SYSTEMATIC UNALIGNED

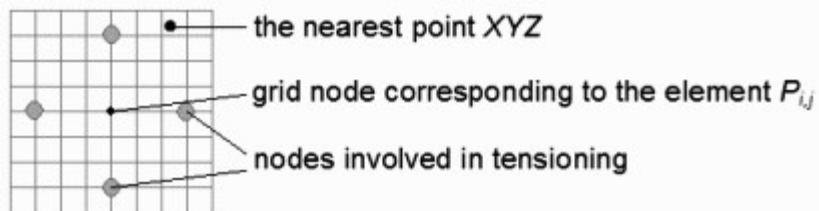
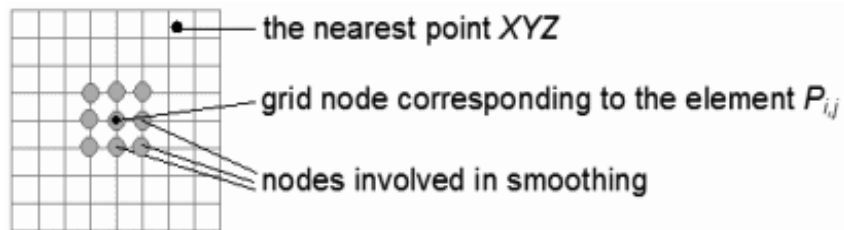
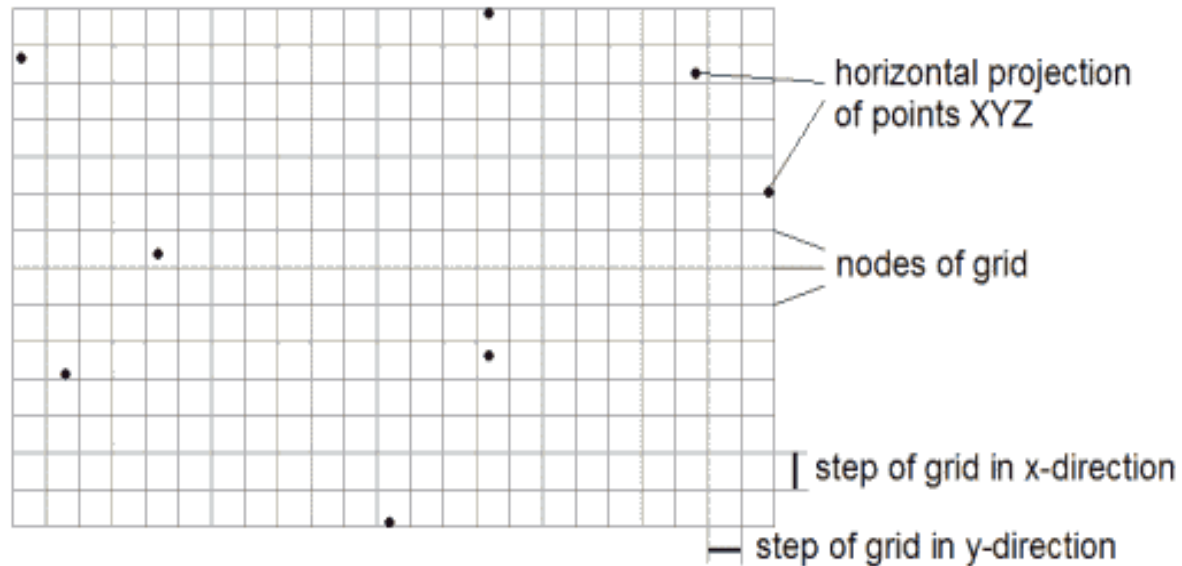


RANDOM CLUSTER



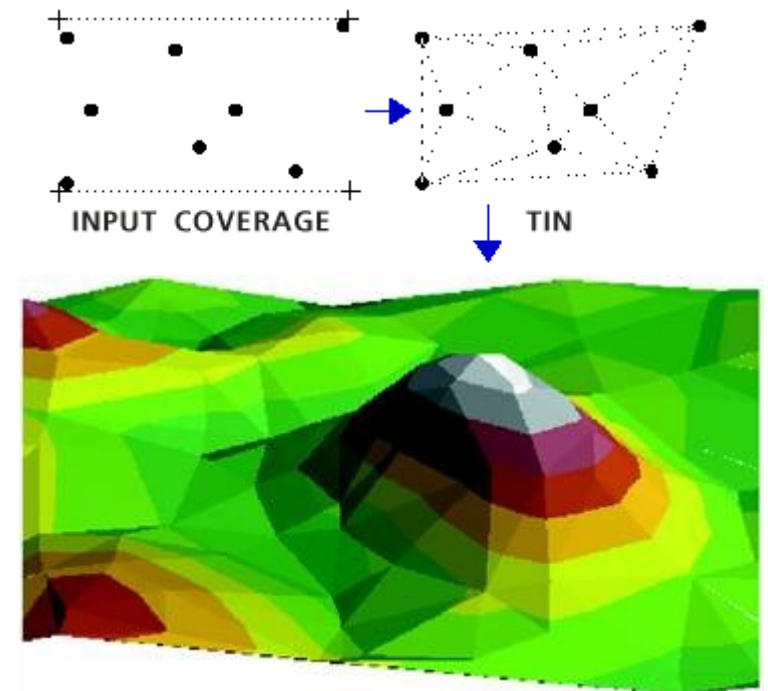
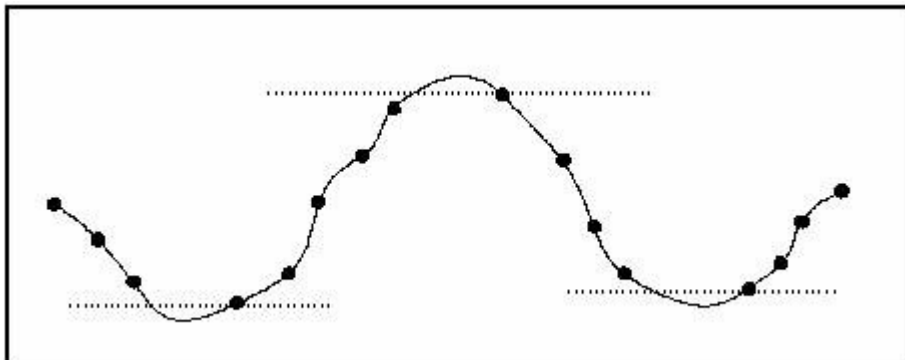
SIMPLE RANDOM

Terminy podstawowe - Siatka



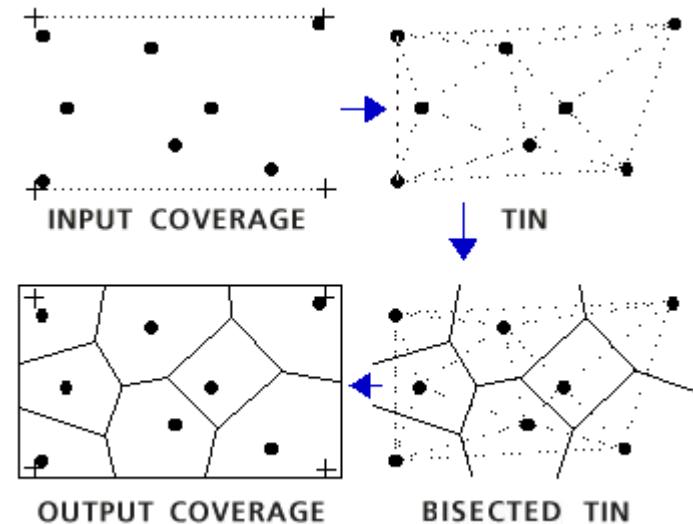
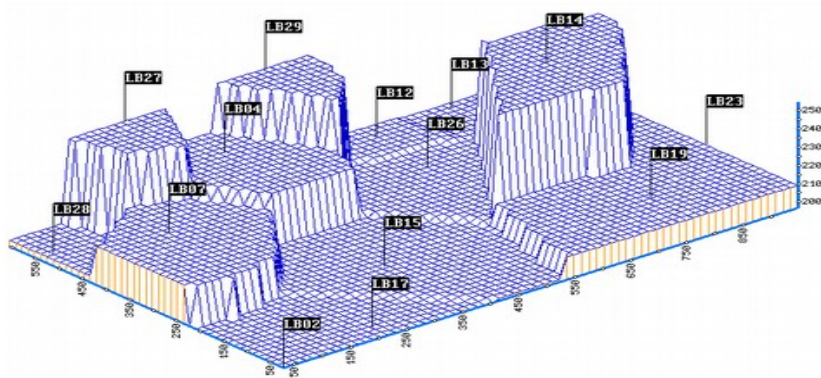
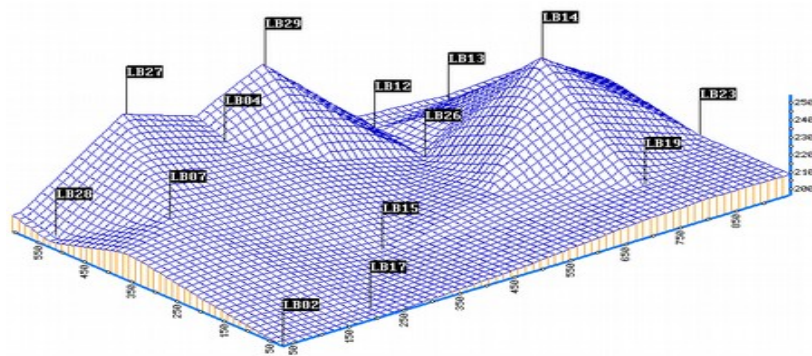
Metoda triangulacyjna

- Zostają zachowane oryginalne wartości punktów
- Tracimy potencjalne minima i maxima nie zawarte w punktach
- Wartości pomiędzy punktami wyznaczane są liniowo
- Połączenia między punktami określone wg kryterium najbliższego sąsiada (sieć Delaunay'ego)



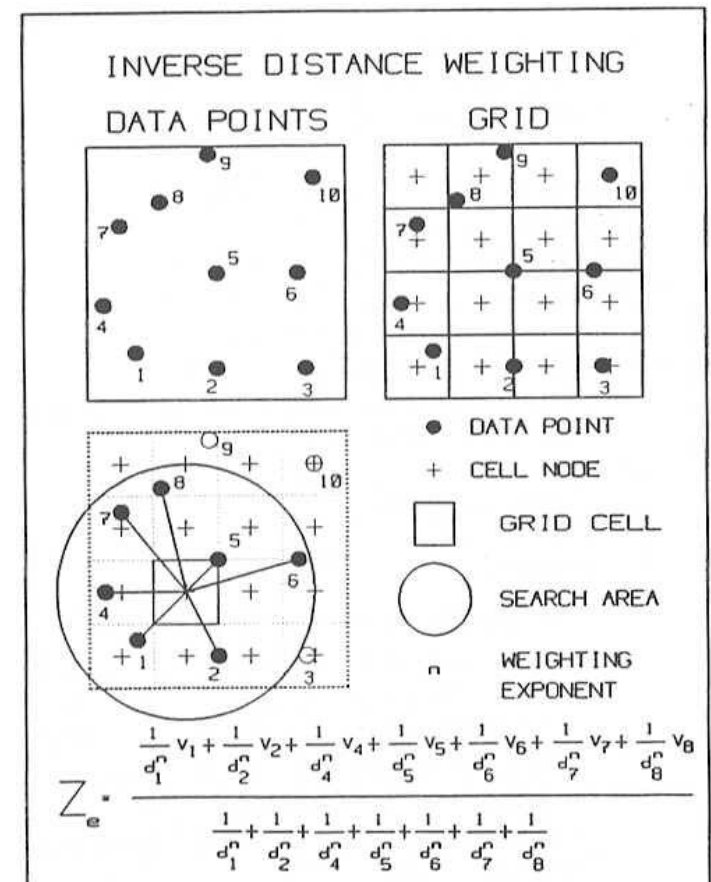
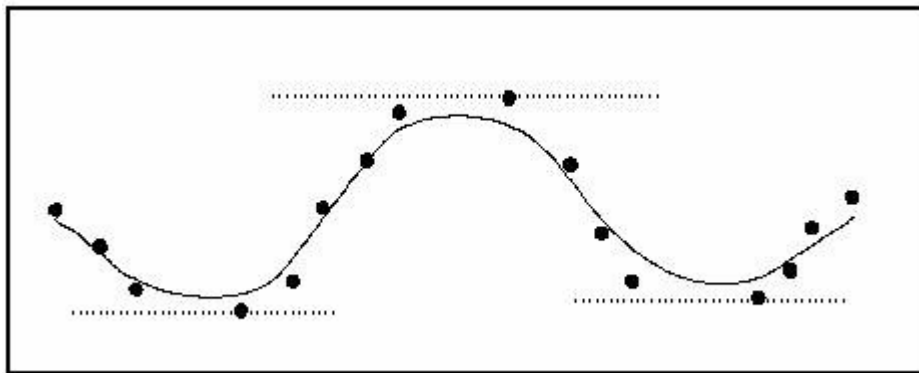
Metoda najbliższego sąsiada

- Metoda stosowana do bardzo gęstych zbiorów danych, gdy pokrycie pomiarami zbliżone do gęstości siatki (np. lidar)
- Dla wszystkich komórek przypisywana jest wartość najbliższego znanego pomiaru



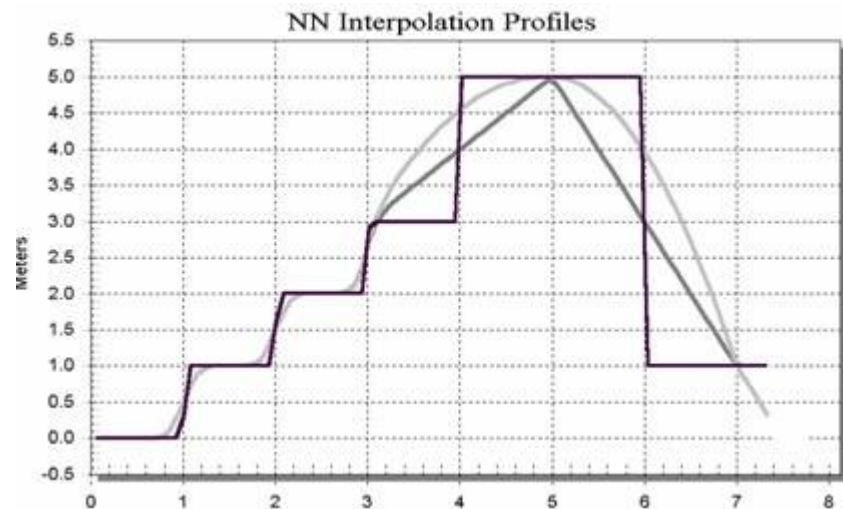
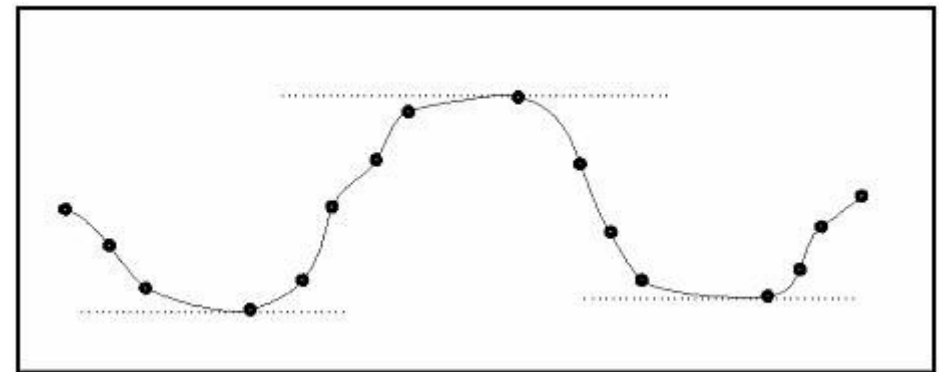
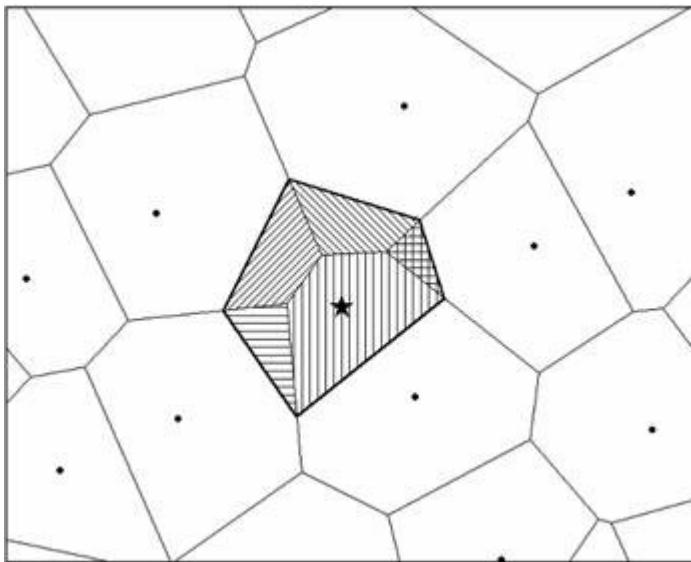
Metoda wag odwrotnych odległości IDW

- Jest to metoda ruchomego okna z zastosowaniem dodatkowych wag
- Dla każdego punktu siatki wartość wysokości jest wyliczana jako średnia ważona z pewnej liczby punktów otoczenia, gdzie wagą jest odwrotność odległości
- Oryginalne wartości ekstremów NIE są zachowane



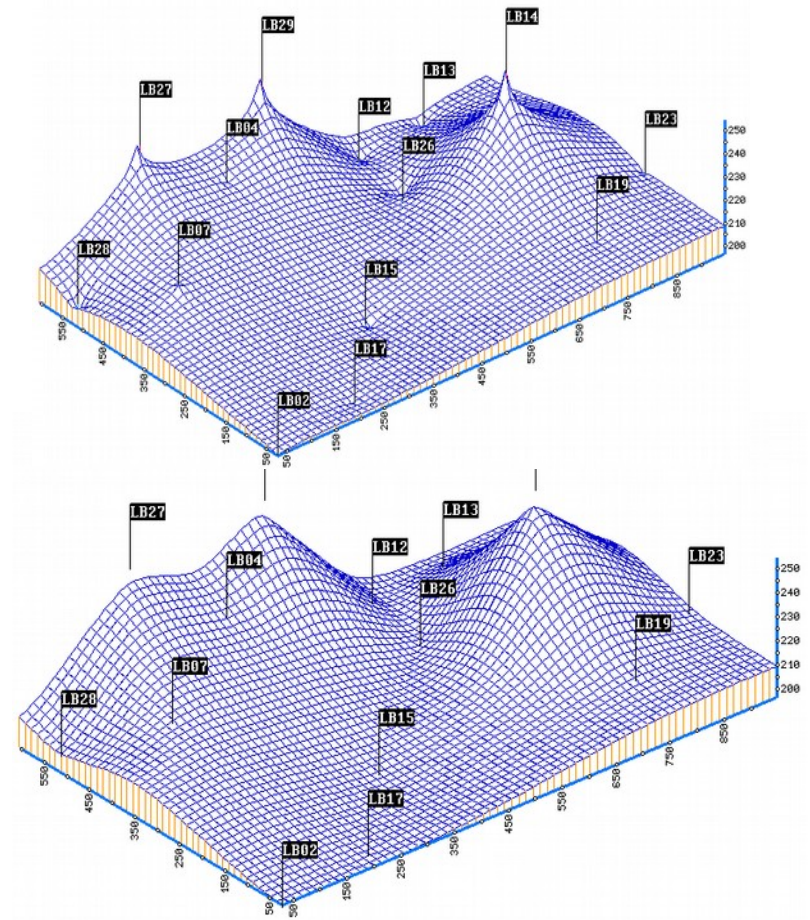
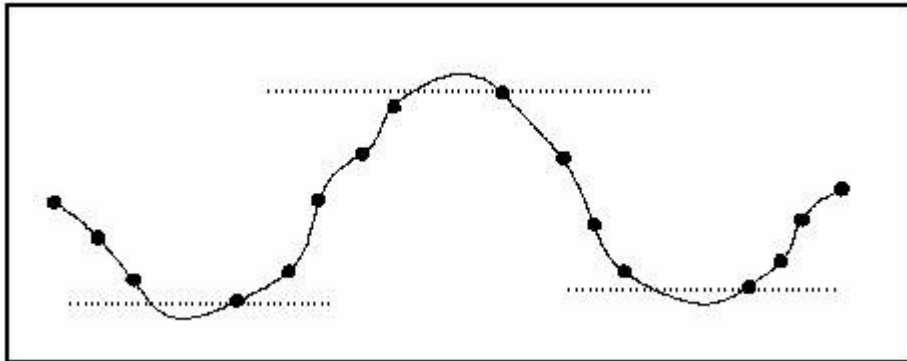
Metoda naturalnego sąsiedztwa

- Używa regionów naturalnego sąsiedztwa
- zasięg wyznaczany poprzez tessalizację otoczenia
- Wartość wyliczana jako średnia z naturalnych sąsiadów ważona przez udział obszarów tych sąsiadów
- Originalne wartości są zachowane



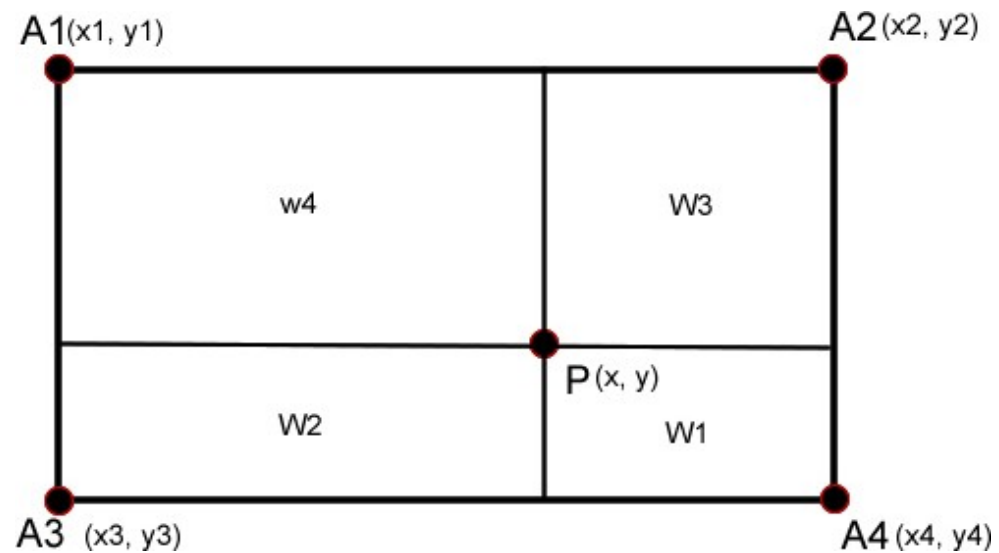
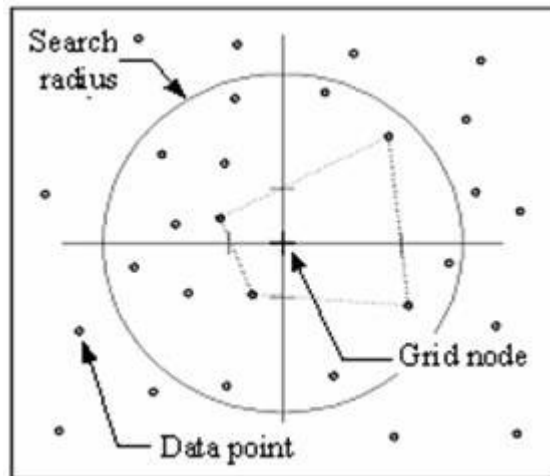
Krzywe sklejjane (SPLINE, RST)

- Używa matematycznych funkcji minimalizujących krzywiznę tak aby otrzymać gładką powierzchnię przechodzącą dokładnie przez istniejące punkty
- Interpolowane wartości mogą wykraczać poza zakres danych
- Używa parametru napięcia (tension), gdzie bliżej leżące punkty mają większą wagę dla tworzonej powierzchni



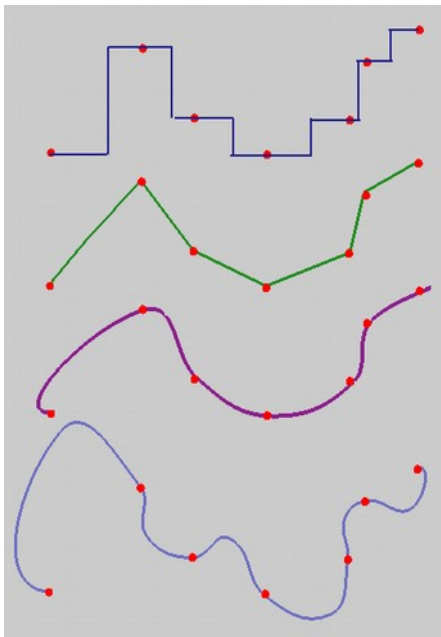
Metoda interpolacji ćwiartkowej

- Używa czterech najbliższych punktów leżących w osobnych ćwiartkach
- Jako wag używa nachylenia linii łączących te punkty
- Nie nadaje się do nieregularnych zbiorów danych ze względu na artefakty
- Używana do wygładzania powierzchni

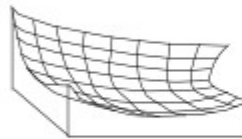


Globalne i lokalne dopasowanie trendu

- Polega na lokalnym dopasowaniu powierzchni określonej wzorem wielomianu:
- Metoda tworzy wygładzoną powierzchnię. Możliwe niedopasowanie ekstremów
- Niska wartość wielomianu wymaga dużej gęstości punktów



1st degree trend surface



2nd degree trend surface



3rd degree trend surface

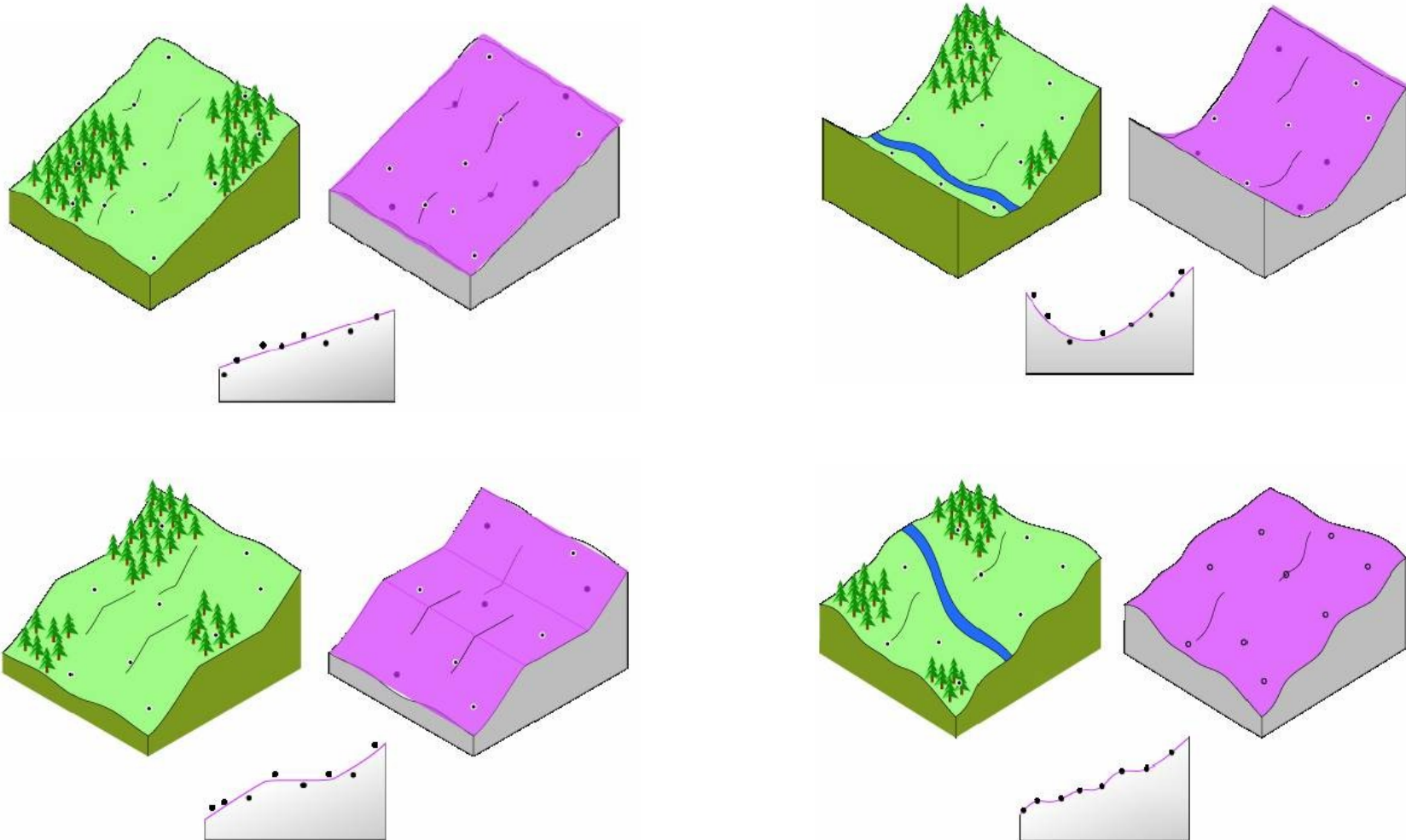
$$x_0 = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 Y + \beta_3 X^2 + \beta_4 XY + \beta_5 Y^2$$

$$y_0 = \alpha_0 + \alpha_1 X + \alpha_2 Y + \alpha_3 X^2 + \alpha_4 XY + \alpha_5 Y^2$$

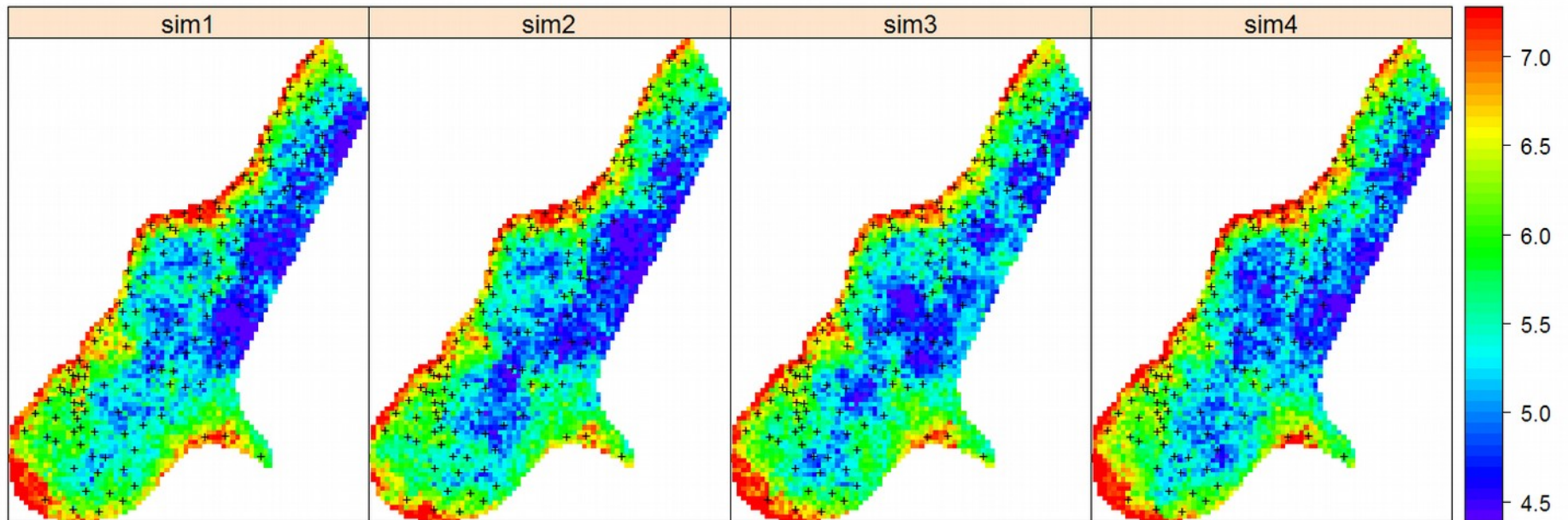
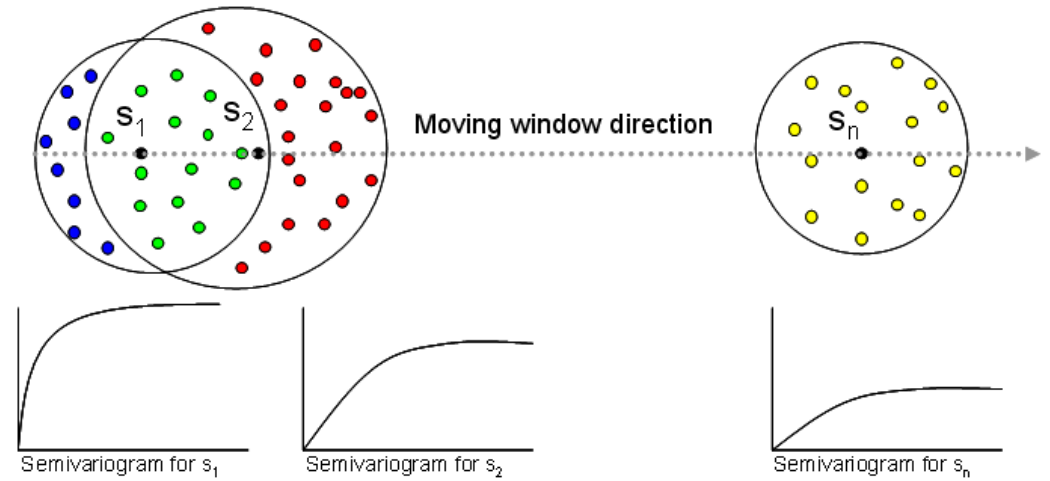
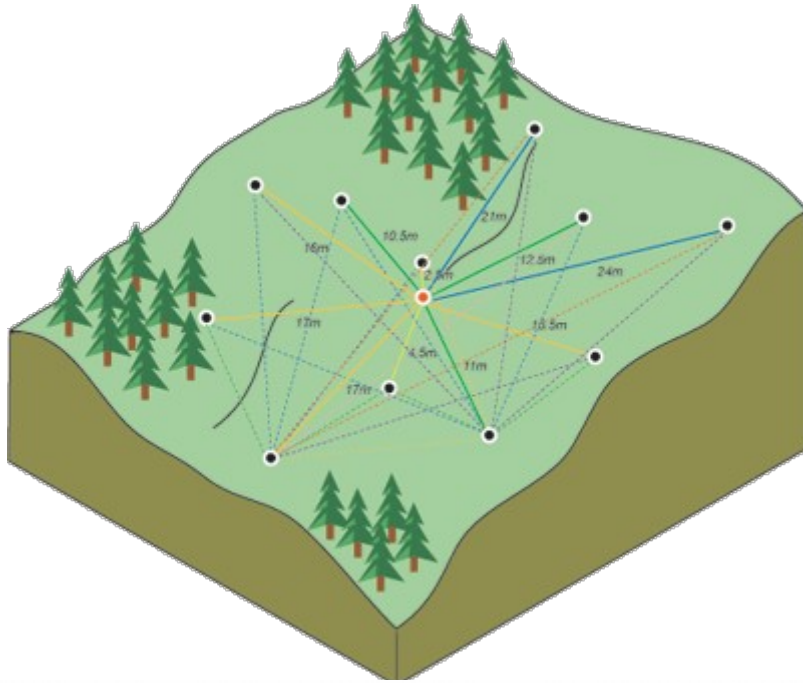
Figure 1. Polynomial transformation formulae

Wielomiany a dopasowanie lokalne (Radial Basis)

- Bierze pod uwagę zarówno globalny trend jak i lokalną zmienność
- Pozwala modyfikować powierzchnię trendu tak aby dopasować ją do zmierzonych punktów

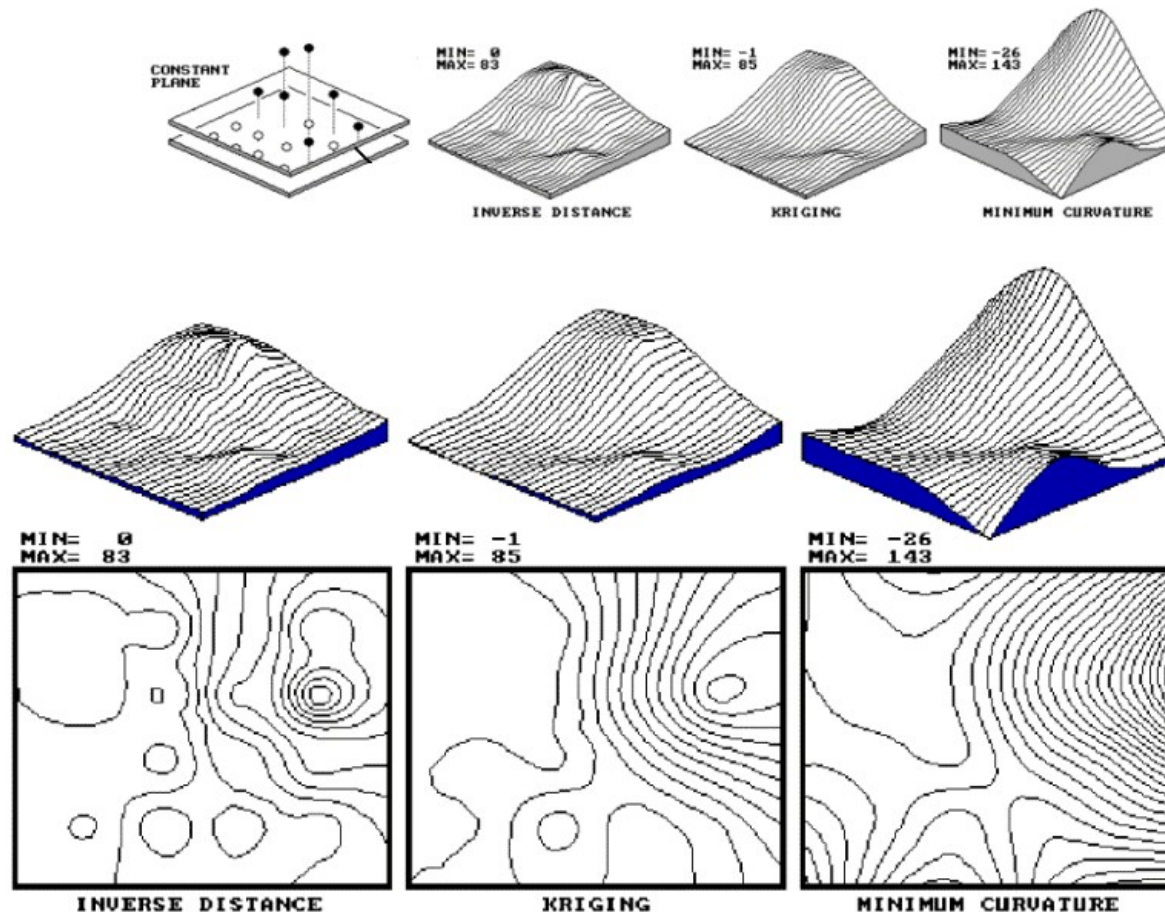


Kriging



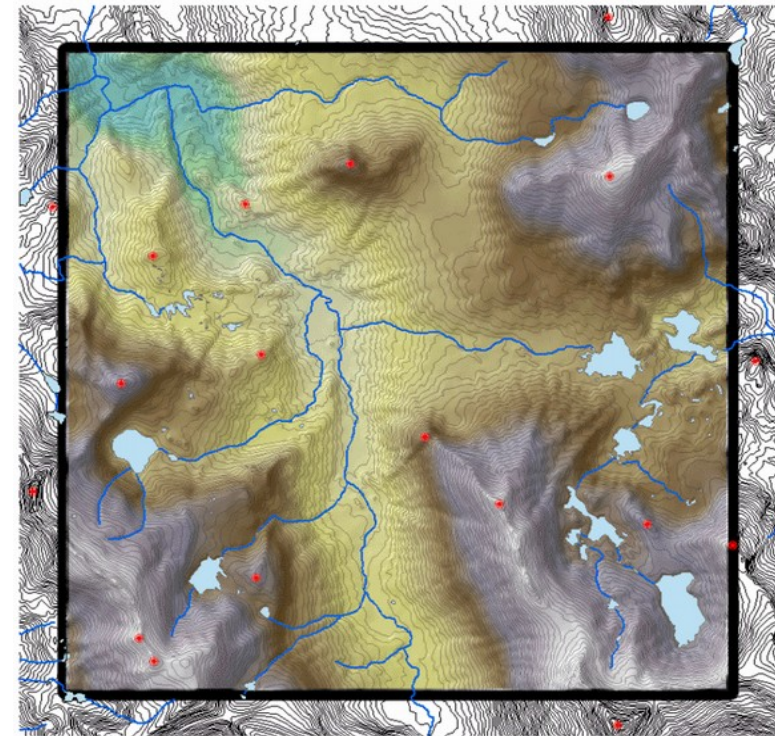
Minimalne krzywizny

- Polega na lokalnym dopasowaniu powierzchni tak aby minimalizować wartość krzywizny powierzchni
- Bardzo wygładzone modele powierzchni

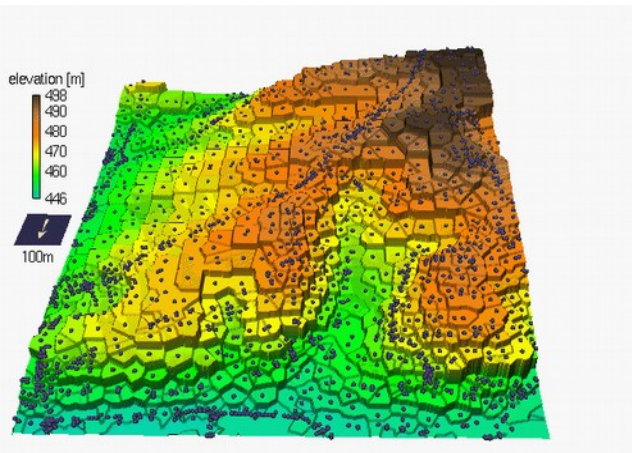


ANUDEM – konwersja modelu poziomicowego

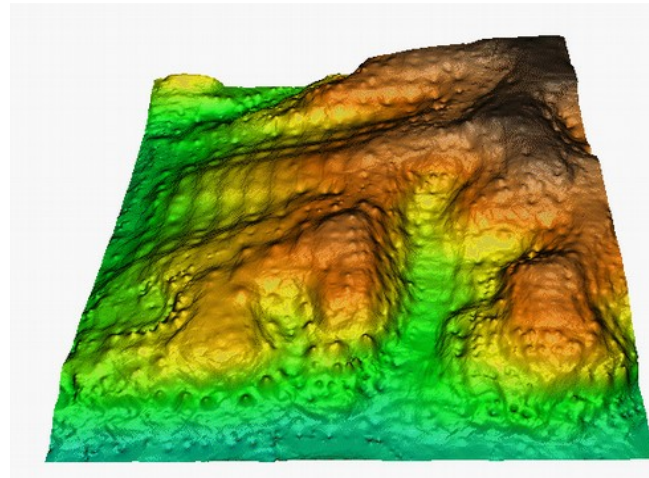
- Dopasowuje model do sieci drenażu, usuwa zbędne depresje i piki, wykrywa potencjalne błędy
- Uzględnia istniejącą sieć drenażu
- Wyznacza grzbiety i cieki w czasie interpolacji, dostosowuje model do szkieletu terenu
- Uzględnia załamania i klify, jeziora, strumienie i ich rzędną
- Używa następujących danych:
 - Generic elevation data file
 - depresje (sinks)
 - linie strumieni (streamline)
 - Linie wybrzeża
 - kontury
 - jeziora
 - Klify, uskoki terenu
 - maski



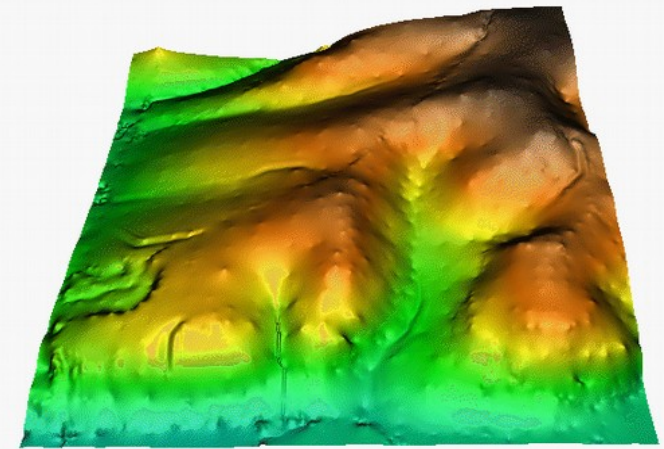
Zestawienie różnych metod interpolacji



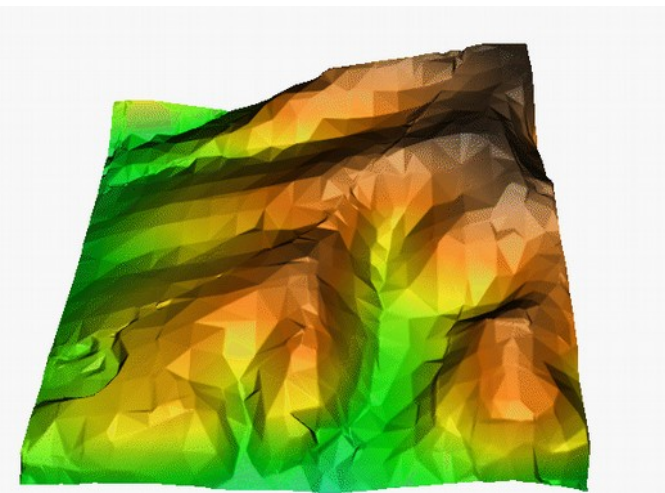
Nearest



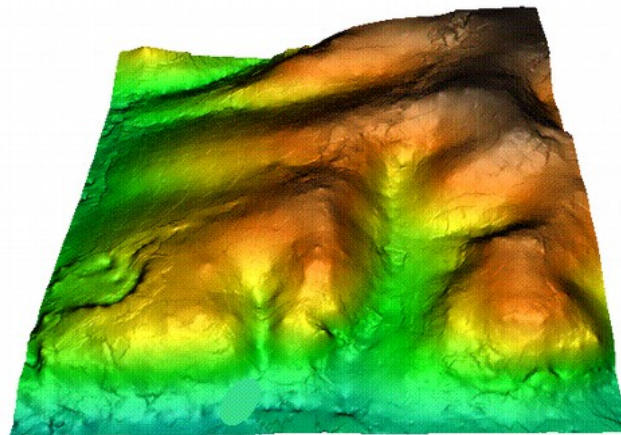
IDW



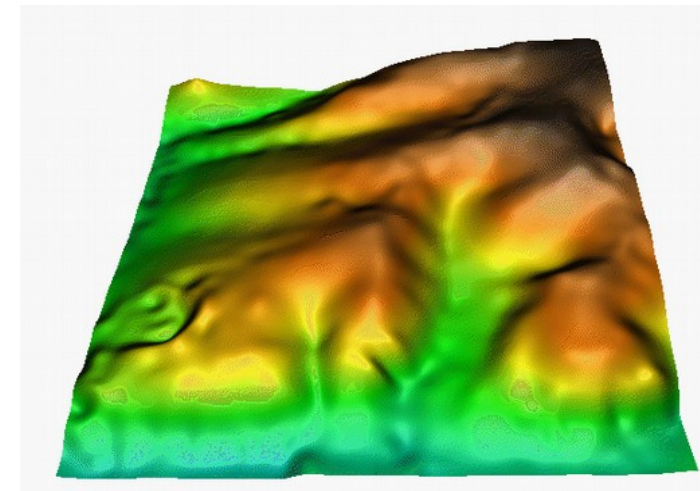
Natural



Linear



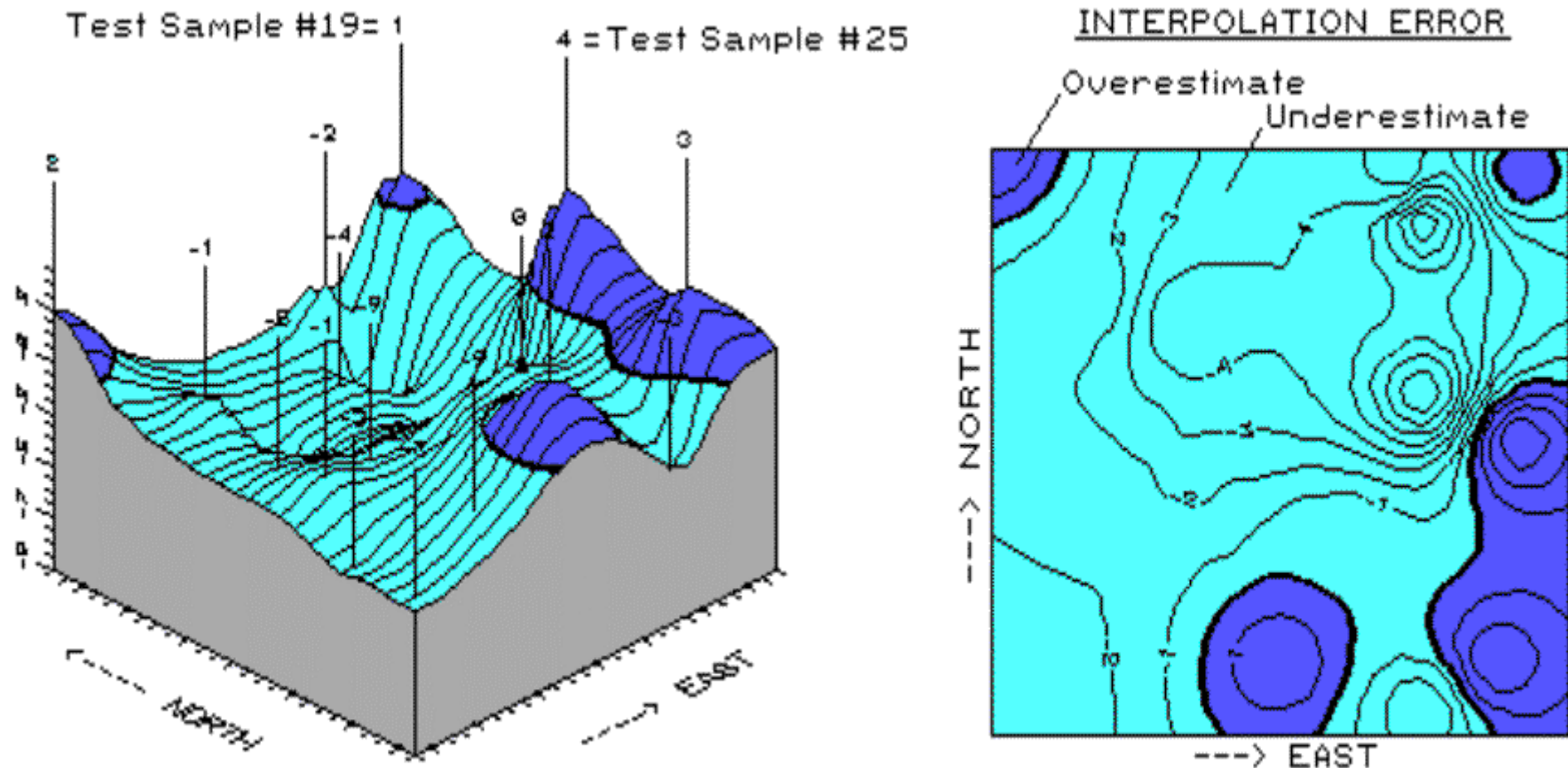
Kriging



Spline

Błędy interpolacji I niepewność modelu

MAPPING THE RESIDUALS -- Geographic Distribution of Error



The residuals for the Kriging interpolation (posted values) are themselves interpolated to generate a map of interpolation error. Note the upper right portion (NE) contains wide disparities (steep slopes in 3-D and close contours in 2-D) indicating changing performance.

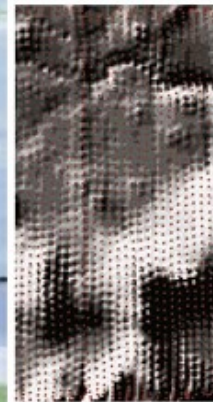
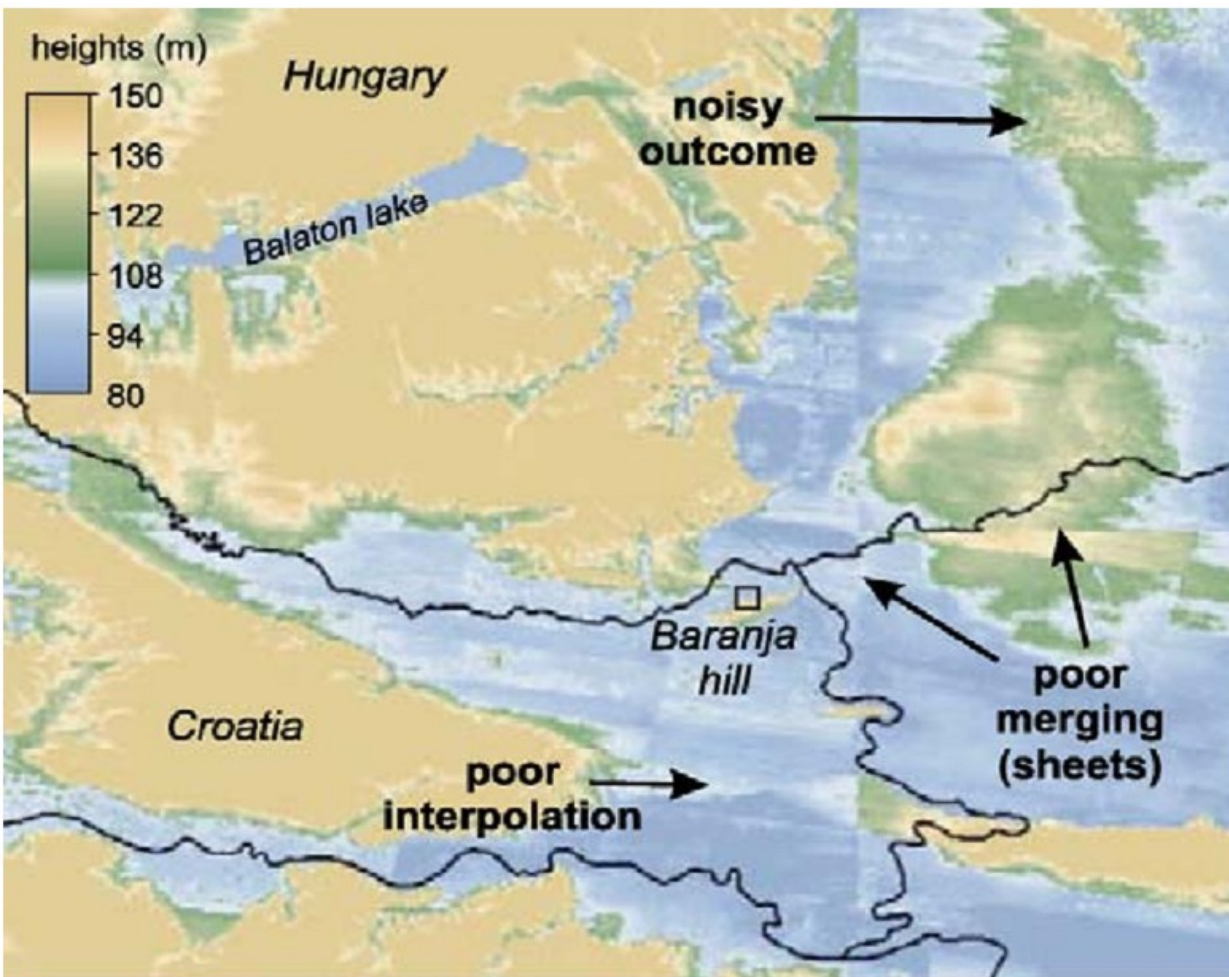
Co wpływa na jakość DEM?

- Szorstkość (urozmaicenie) powierzchni
- Gęstość i metoda próbkowania
- Rozdzielczość terenu
- Algorytm tworzenia siatki (interpolacja)
- Rozdzielczość pionowa
- Cel tworzenia DEM

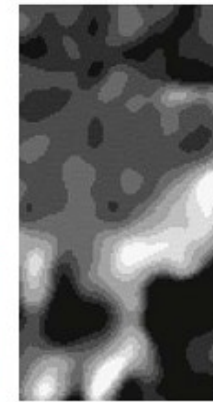
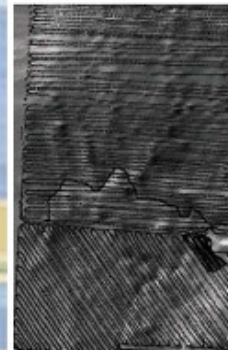
Rodzaje błędów

- **Braki:** (powierzchnie wodne, brak pomiarów, zbyt mało pomiarów)
- **Artefakty:** depresje, terasy, poziomic, i inne pozostałości niedoskonałości algorytmów interpolacji
- **Pomyłki (gross errors):** błędy opisu punktów, poziomic, itp.
- **Błędy systematyczne (systematic errors):** pokrywa roślinna, powierzchnie wodne, budynki, błędy spasowania różnych fragmentów
- **Szum (noise):** skanowanie powierzchni

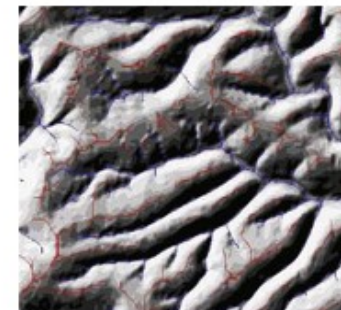
Artefakty



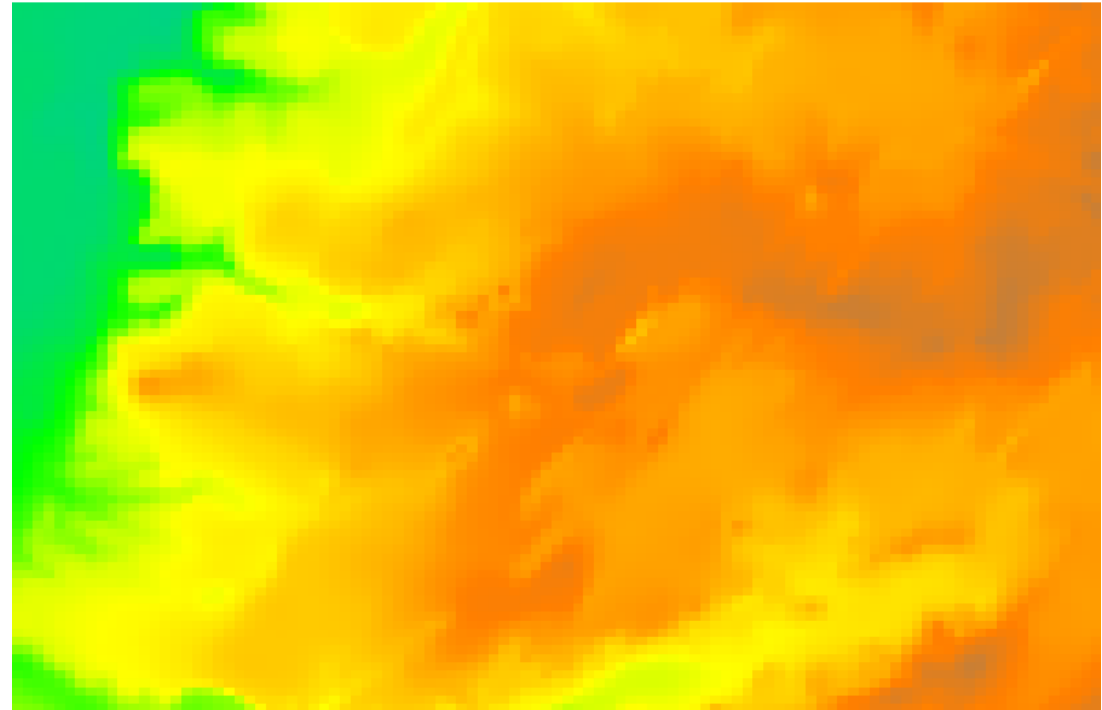
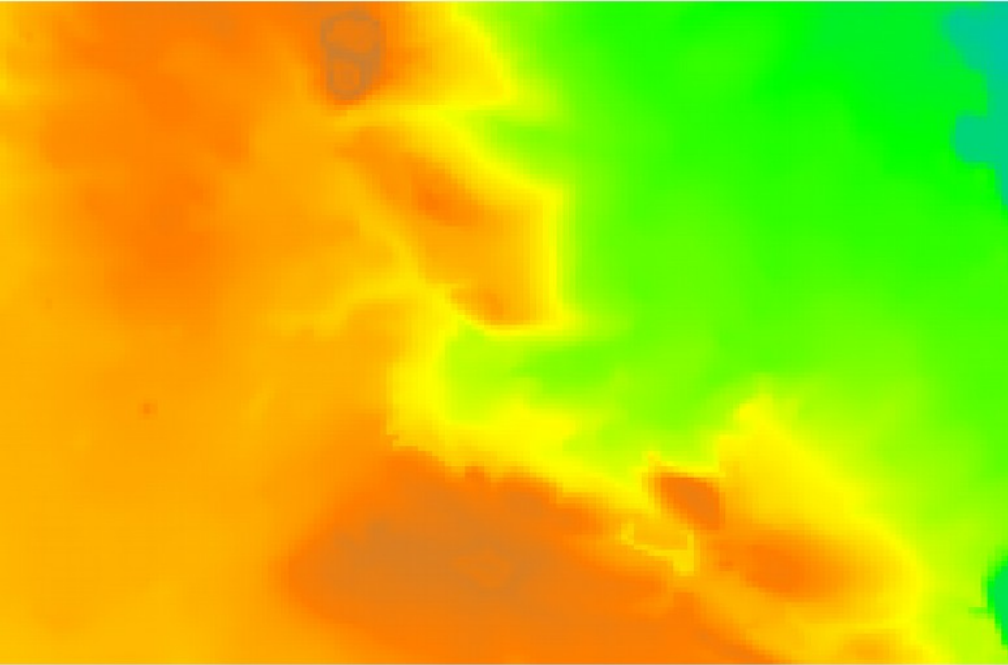
(b)



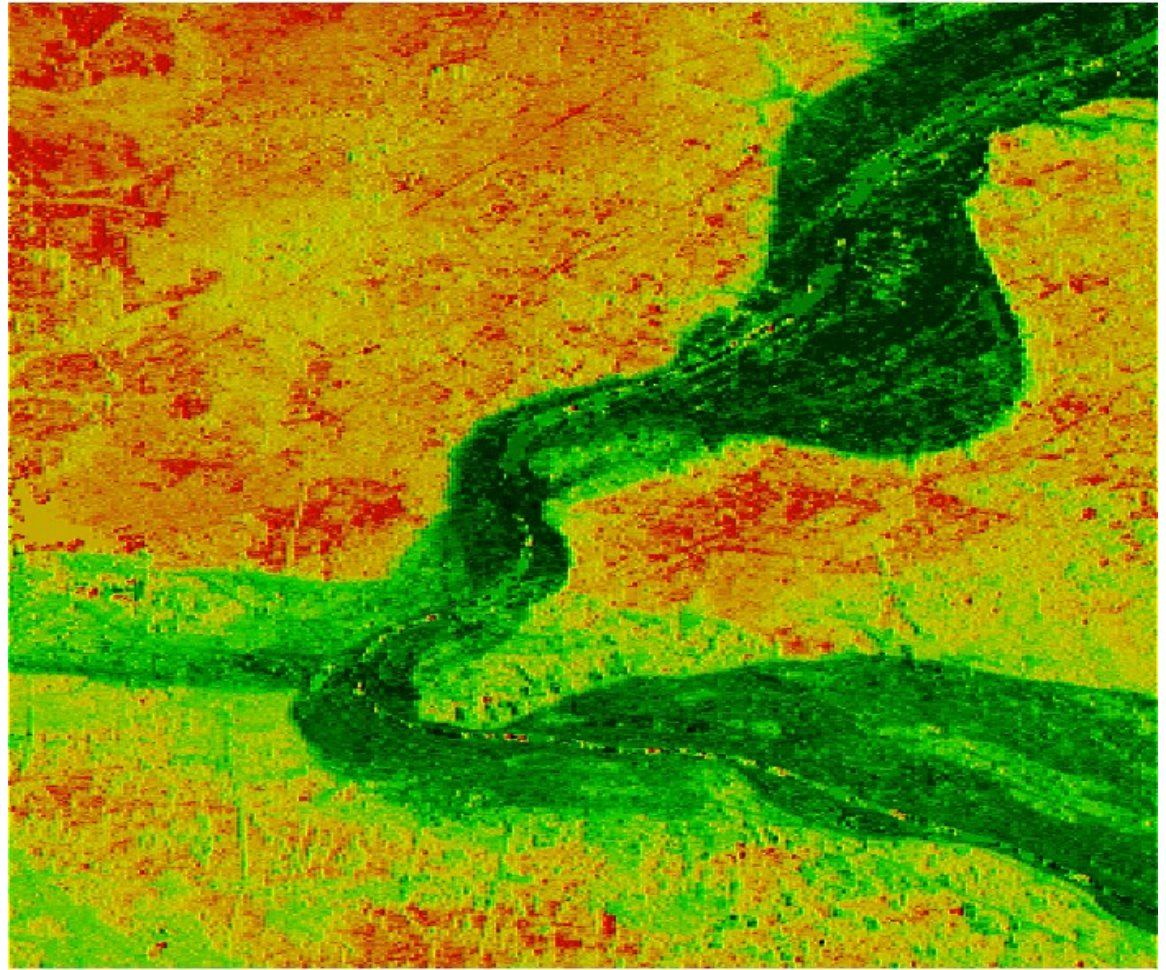
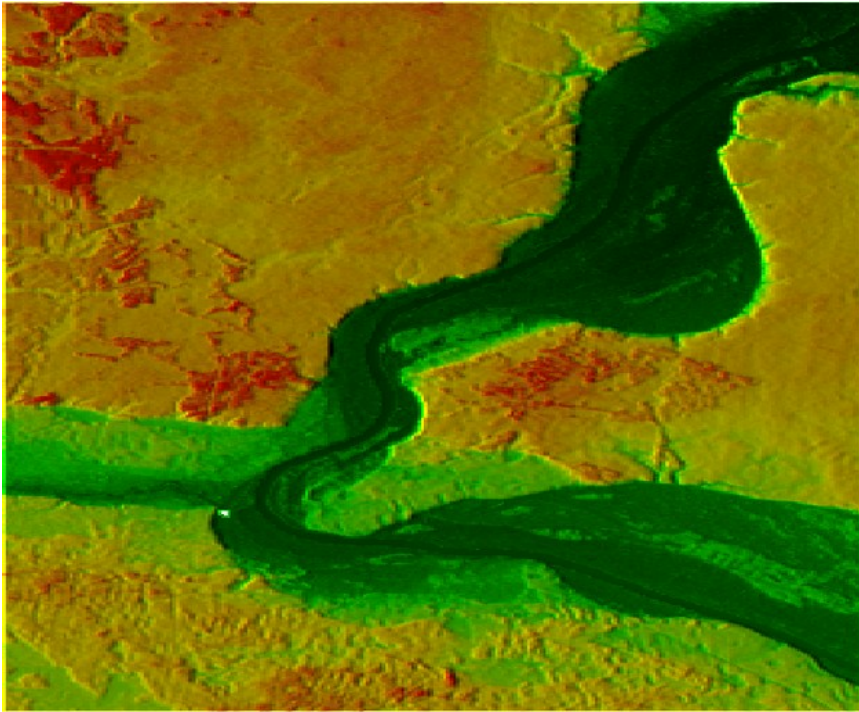
(c)



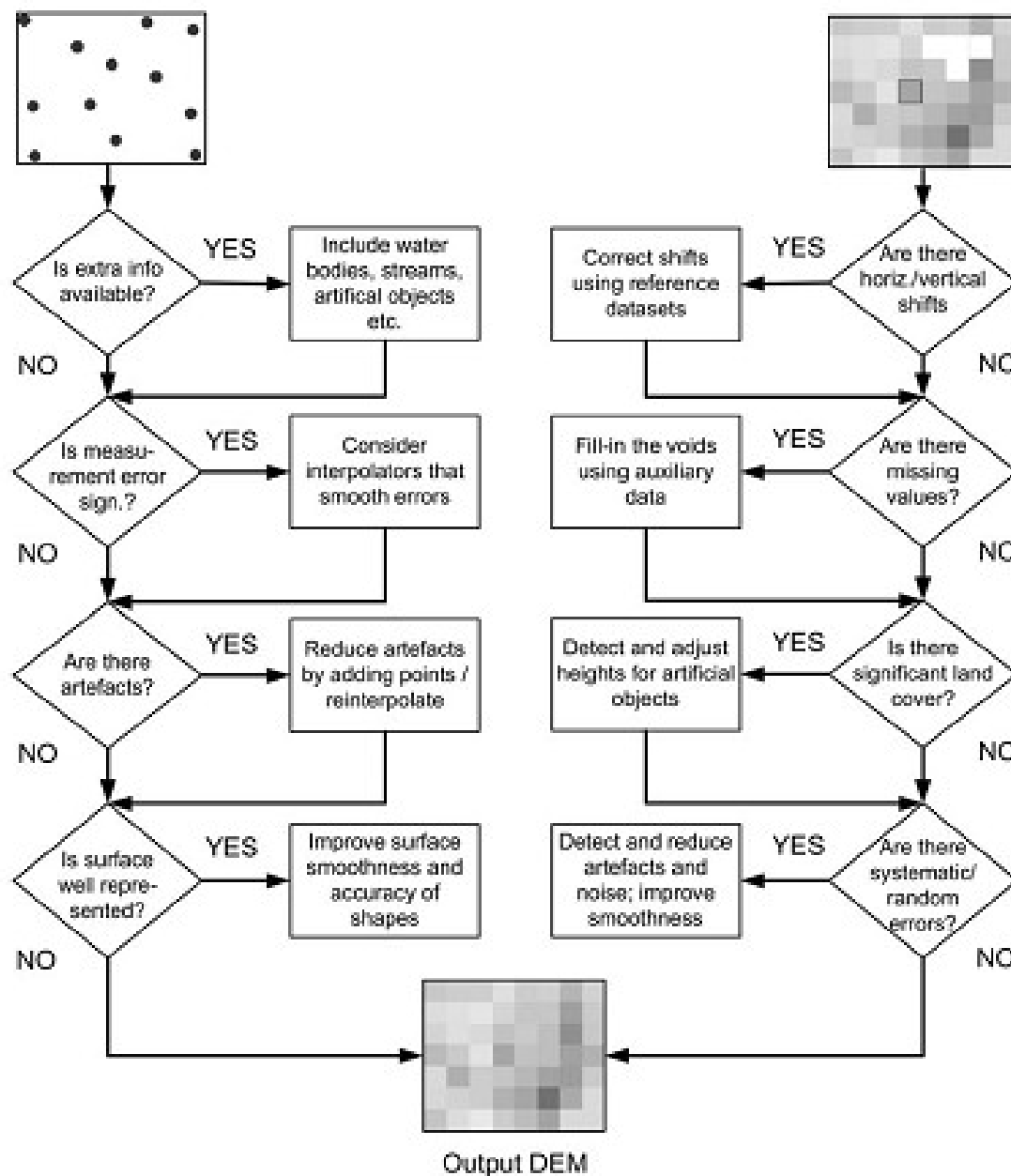
Błędy i artefakty



Szumy i pokrywa roślinna linie skanowania



Procedura eliminacji błędów



Średni błąd kwadratowy

- Root mean square error – pierwiastek ze średniej sumy kwadratu różnic pomiędzy wartością DEM a wartością referencyjną
- Źródła wartości referencyjnych: pomiary terenowe, inne DEM, sieć geodezyjna itp.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [z(s_i) - z_{\text{REF}}(s_i)]^2}{n}}$$

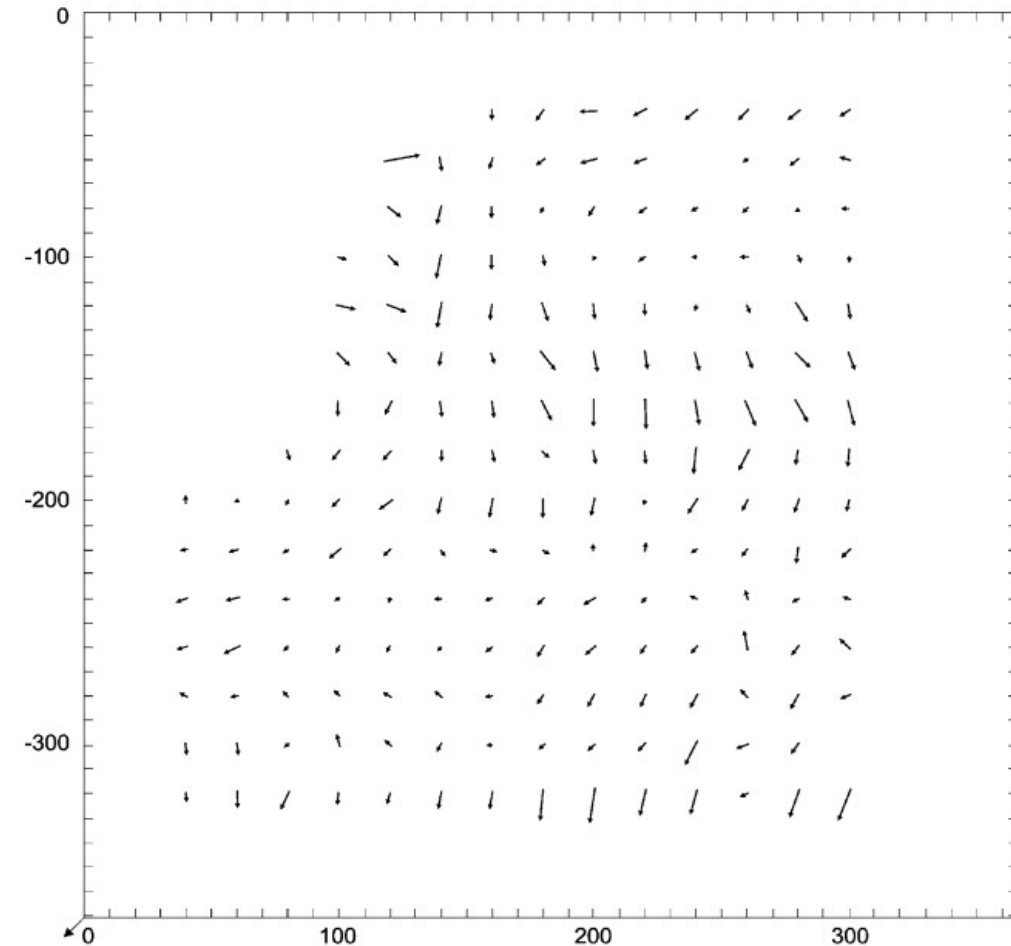
Średni błąd i odchylenie standardowe

- Średni błąd – średnia różnica pomiędzy wartością zmierzoną a referencyjną
- Odchylenie kwadratowe: pierwiastek z kwadratu różnic pomiędzy błędem a średnim błędem

$$\text{ME} = \frac{\sum_{i=1}^n [z(s_i) - z_{\text{REF}}(s_i)]}{n}$$

$$\text{SD} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [z(s_i) - z_{\text{REF}}(s_i) - \text{ME}]^2}{n - 1}}$$

Przesunięcie



- Średnie przesunięcie, różnica położenia pomiędzy istniejącym a referencyjnym DEM
- Może być efektem innych datums, błędów namierzenia punktów referencyjnych pomiarów

$$\text{BIAS} = \text{avg}[\text{DEM} - \text{DEM}_{\text{REF}}]$$

Redukcja błędów

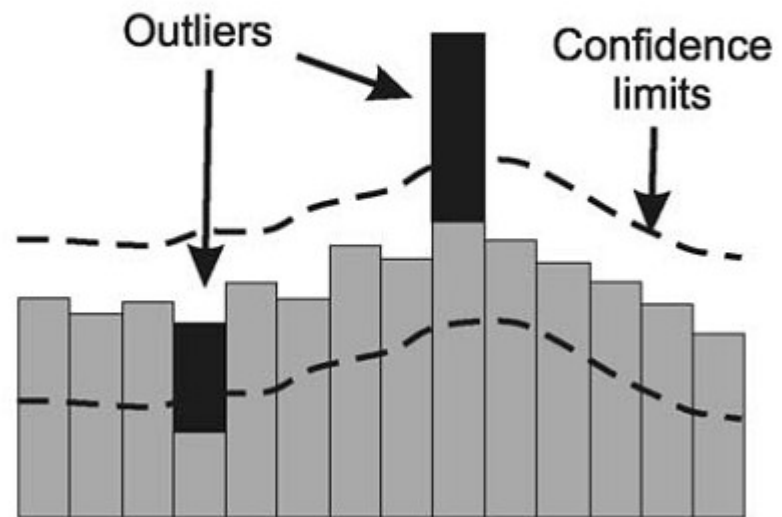
- Wykrywanie i usuwanie elementów odstających (outliers)

(a)

Possible outlier

10	16	23	16	9	6
14	11	18	11	18	19
19	15	125	21	23	25
22	20	19	14	38	45
24	20	20	28	18	49
23	24	34	38	45	51

(b)



Usuwanie szumów

- Szum jest nieskorelowany
- Do usuwania szumu służą filtry fazowe. Wygładzają obraz ale zachowują drobne istniejące formy.

$$f(z_{d1}^+, \dots, z_{d16}^+) = \beta \cdot z + (1 - \beta) \cdot \bar{z}$$

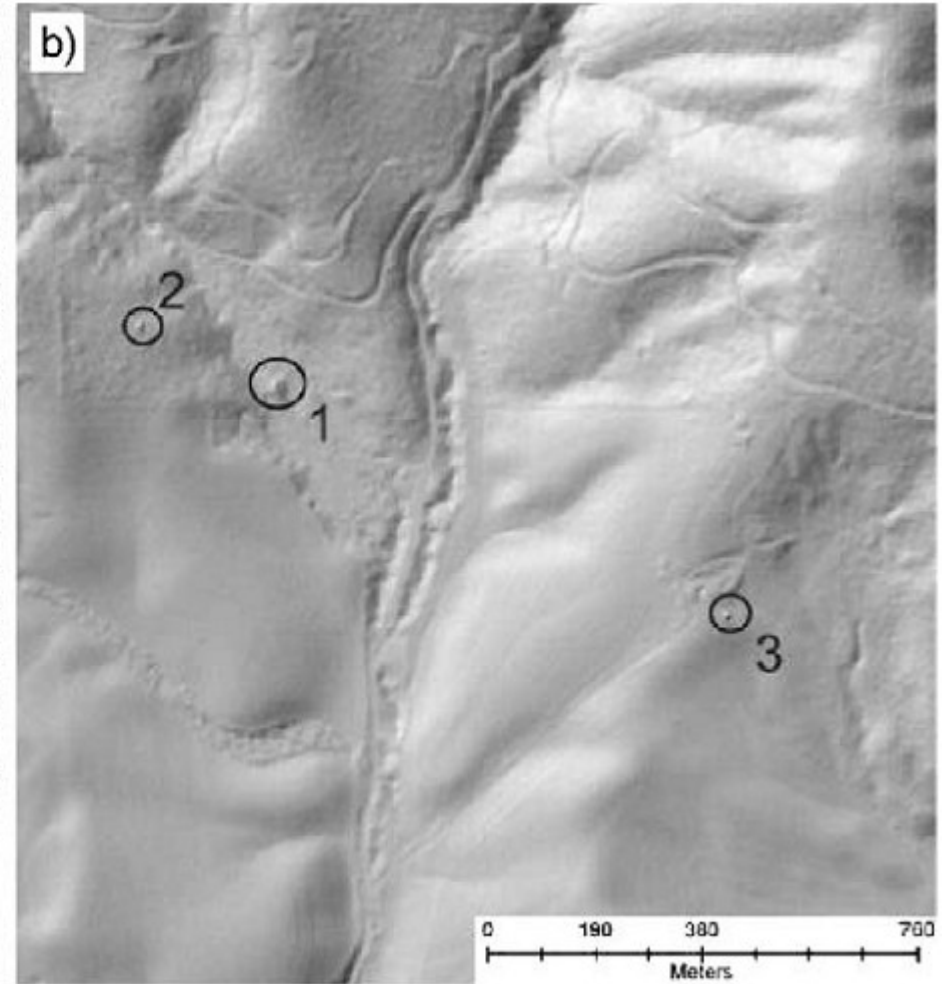
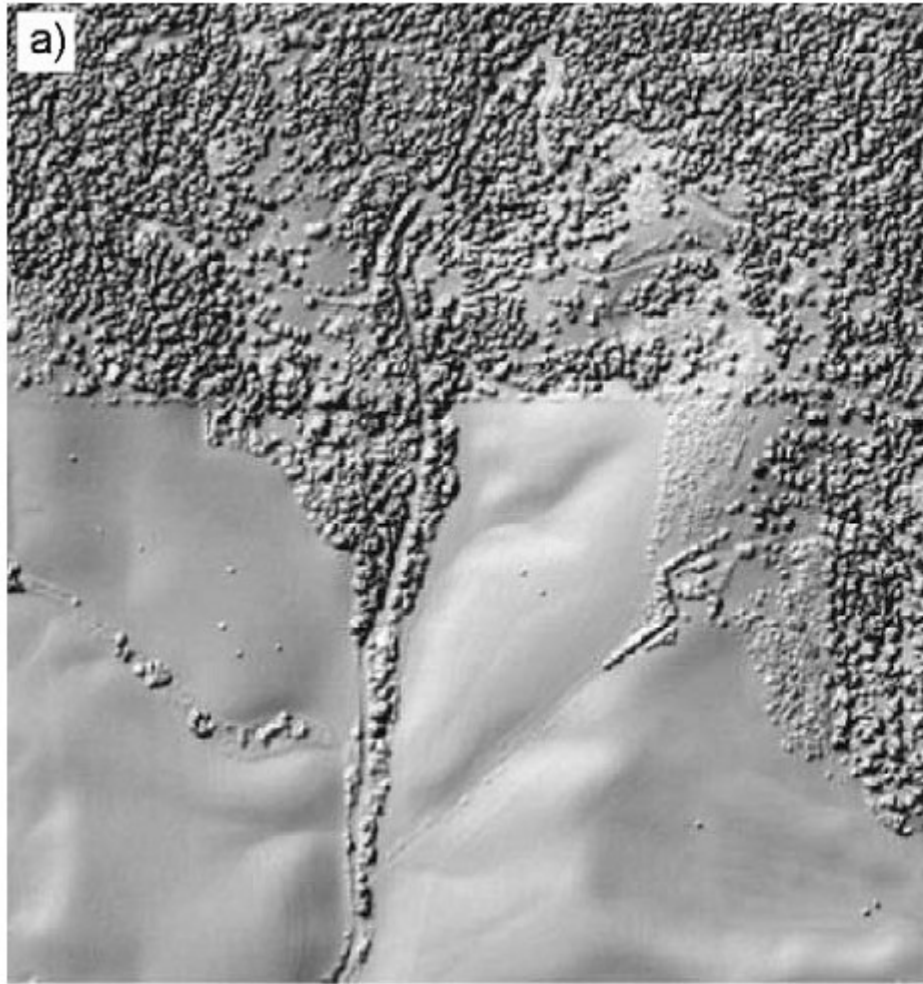
$$\beta = \frac{\sigma_z^2 - \varepsilon^2}{\sigma_z^2}$$

Redukcja wpływu pokrywy roślinnej

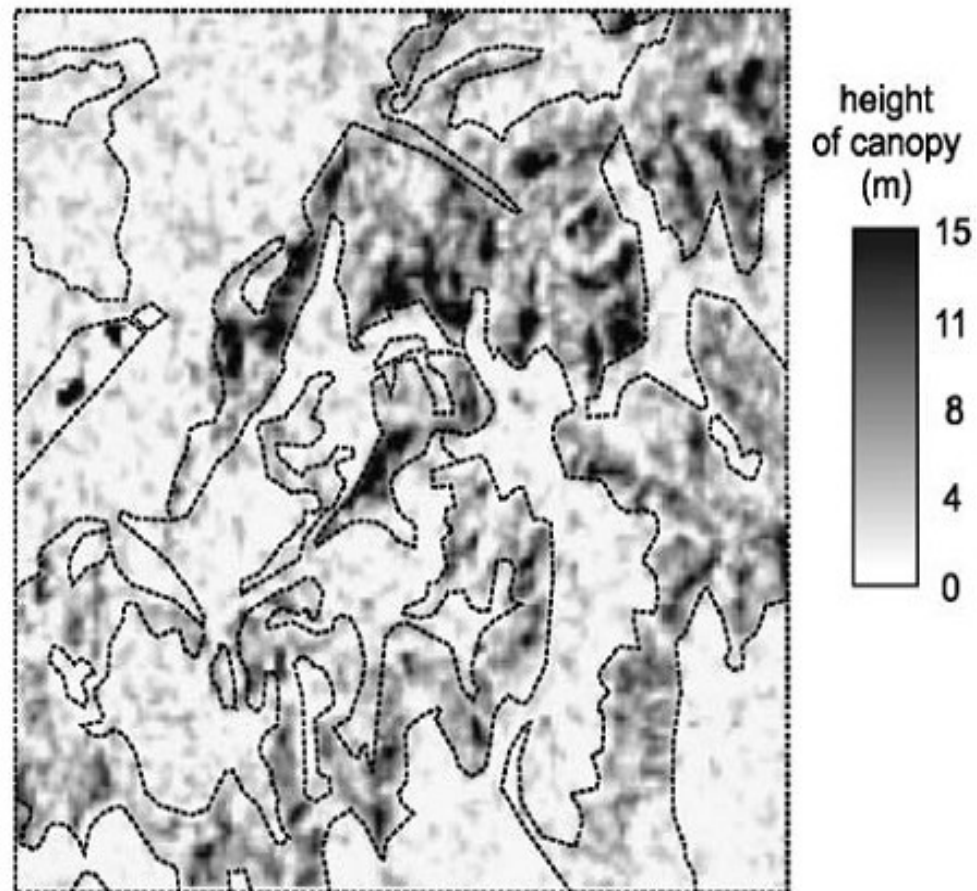
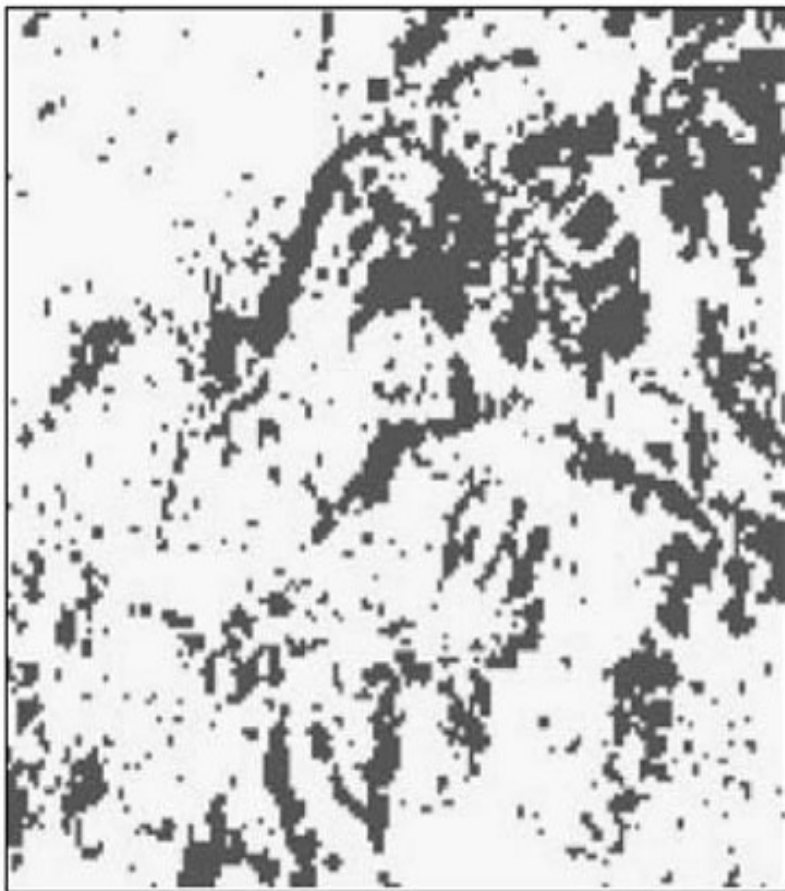
-
- Stosuje się informację o landcover
- Stosuje się określone pasma danych SRTM, dla których roślinność jest przeźroczysta
- Uśrednianie modeli, gdzie:
- z – rzędne, w – niepewność, $p(t)$ prawdopodobieństwo różnicy, v - próg

$$z_i^+ = \begin{cases} z_i^{\text{TOPO}} & \text{if } p(t) \leq v \\ \frac{w_i^{\text{TOPO}} \cdot z_i^{\text{TOPO}} + w_i^{\text{SRTM}} \cdot z_i^{\text{SRTM}}}{w_i^{\text{TOPO}} + w_i^{\text{SRTM}}} & \text{if } p(t) > v \end{cases}$$

Usuwanie pokrywy roślinnej ze zdjęć LIDAR

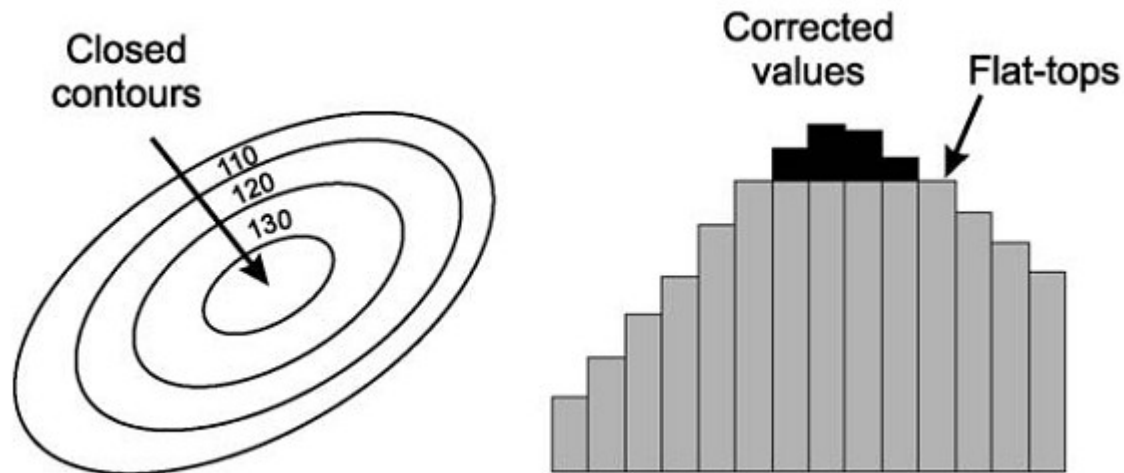


Filtrowanie pokrywy roślinnej



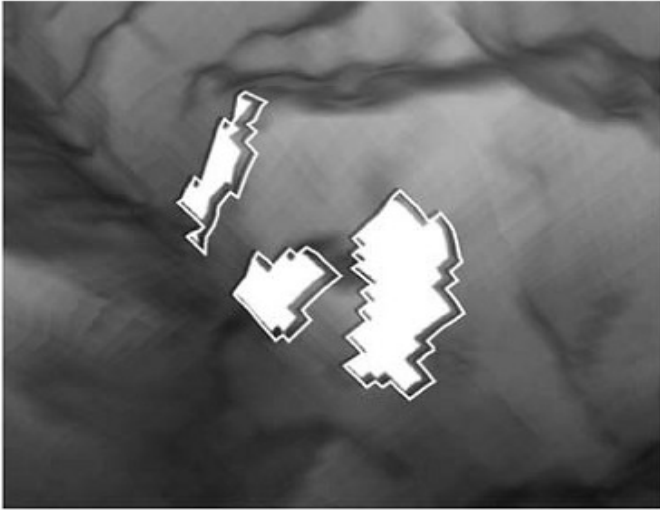
Usuwanie/odnawianie teras

- Nie ujęte w algorytmach interpolacji
- Również niekorzystne w przypadku rozległych, płaskodennych dolin

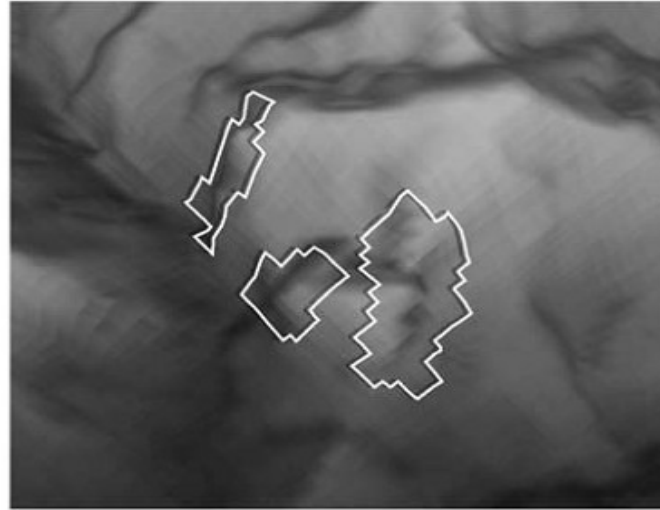


Wypełnianie pustek

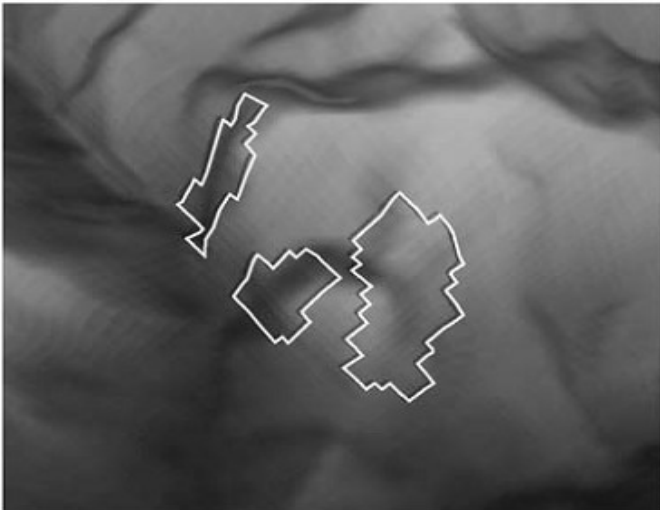
(a)



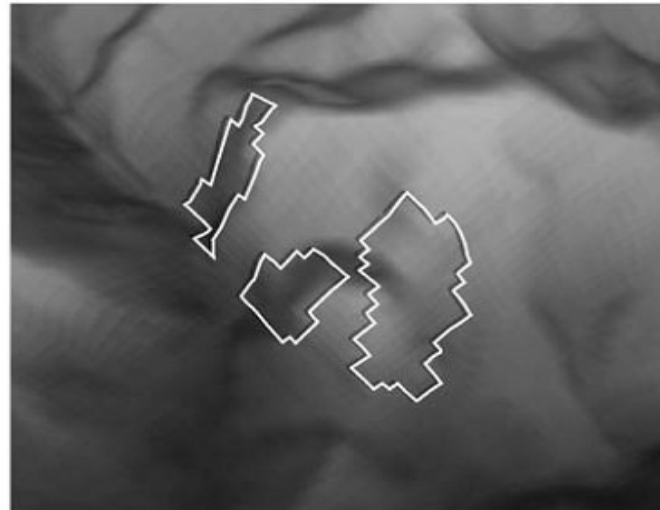
(b)



(c)



(d)



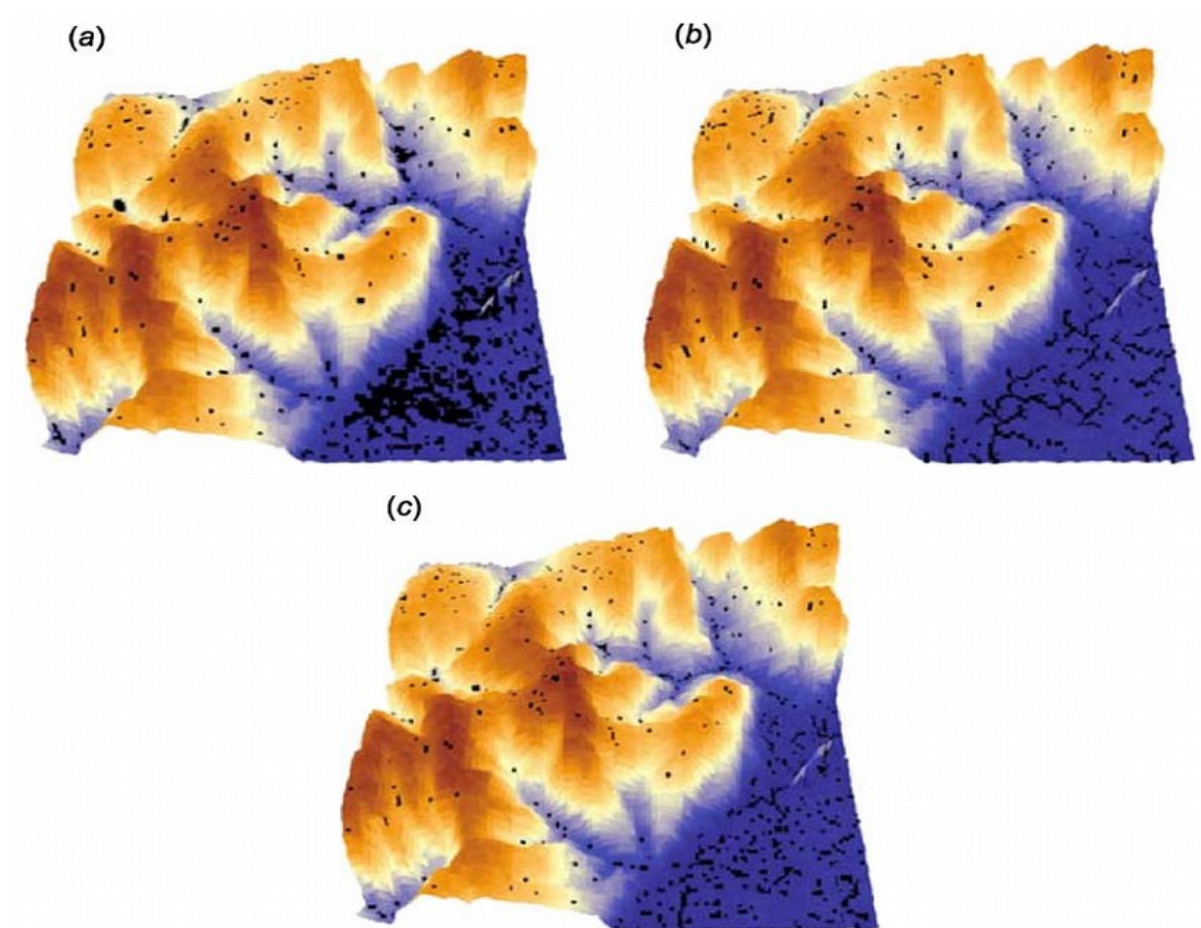
Procedury

- Metody geostatystyczne, interpolacja, TIN
- Metody hydrologiczne
- Dane pomocnicze (inne modele) lub pomiary

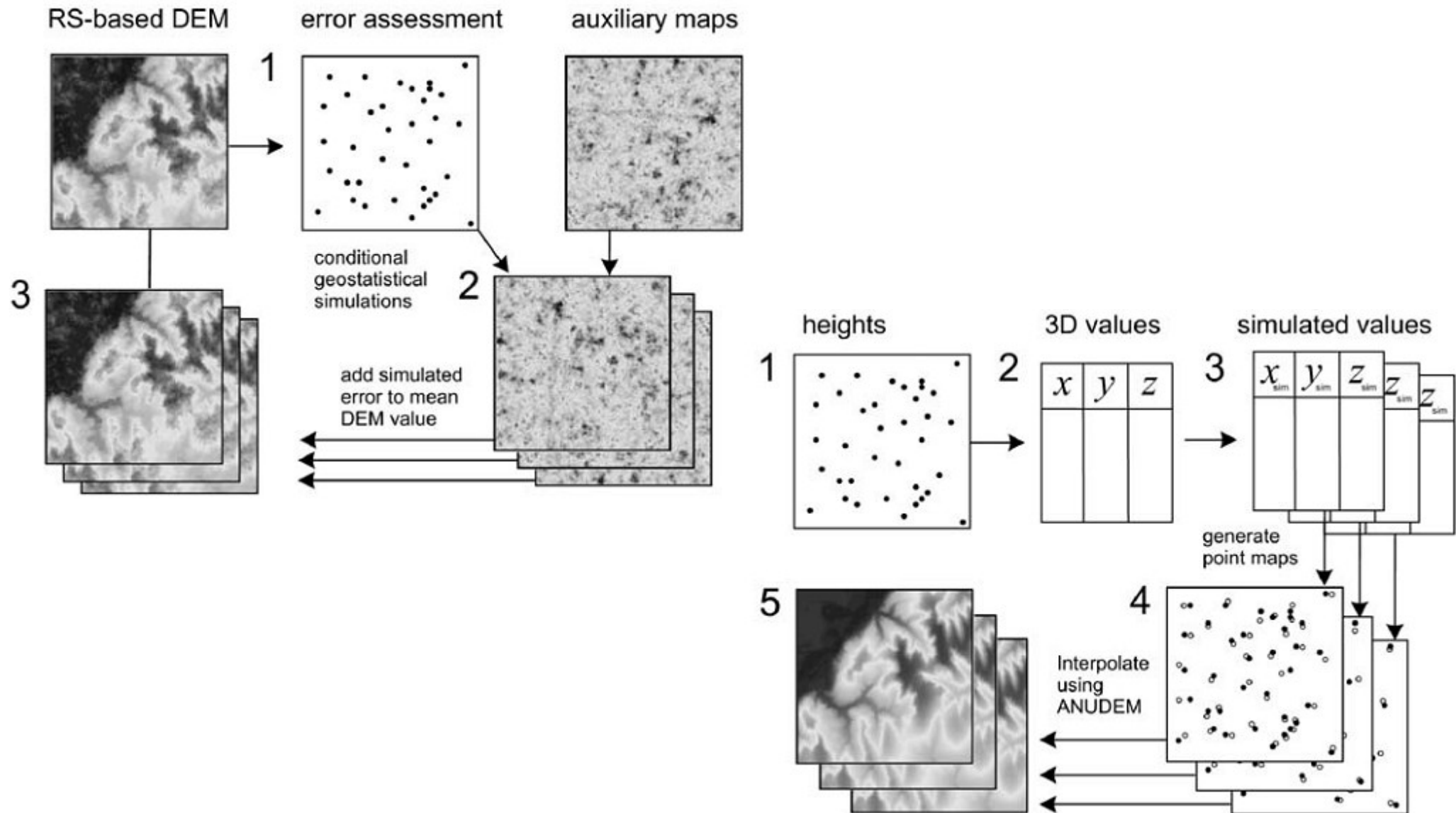
$$z^+(s_i) = \begin{cases} z(s_i) + \Delta z & \text{if } \tau = \text{convex} \\ z(s_i) - \Delta z & \text{if } \tau = \text{concave} \\ z(s_i) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Wypełnianie obniżeń

- Rozróżnienie obniżeń naturalnych i sztucznych
- Wypełnianie obniżeń
- Przełamywanie (łączenie) depresji
- Metody kombinowane

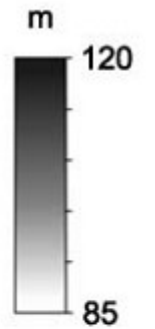
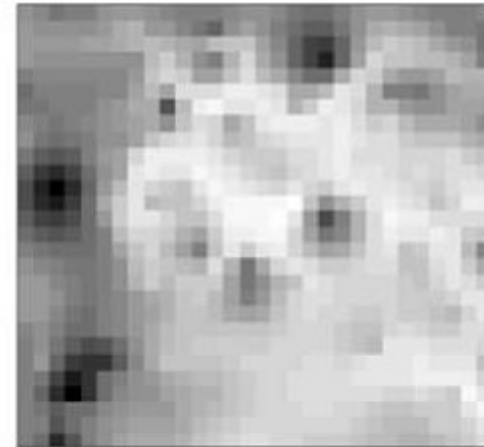
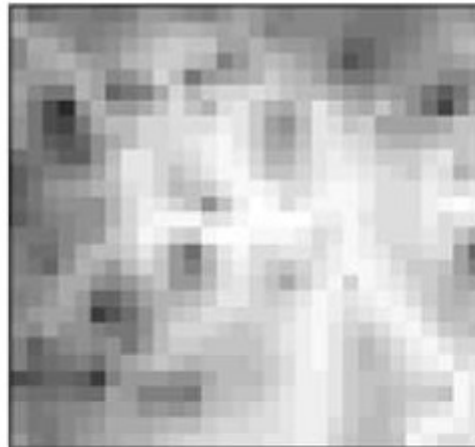
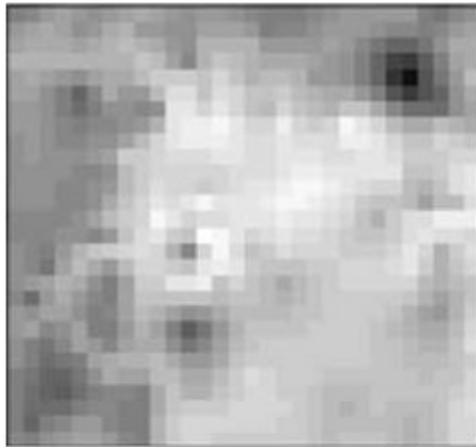


Symulacje



Symulacje a rodzaj rzeźby

Low relief



Height relief

