

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

Zastosowanie GIS w badaniach przyrodniczych (ArcGIS Pro), Ćwiczenie 13

Stężenie ozonu w atmosferze stanu Kalifornia

Geostatystyka – analizy wstępne

Na podstawie materiałów szkoleniowych ESRI
Wyłącznie do użytku wewnętrznego AGH

<http://home.agh.edu.pl/bartus>
31.10.2024 10:35:00

Wprowadzenie

Na przełomie lat 50. i 60. ubiegłego wieku szwedzki geograf Törsten Hägerstrand wprowadził do geografii analizę ilościową. Analiza danych ilościowych jest jedną z najważniejszych metod pozwalających na zrozumienie i ocenę zjawisk zachodzących w środowisku geograficznym. Mówiąc o metodach ilościowych mamy na myśli głównie różnego rodzaju metody statystyczne z zakresu statystyki opisowej ale także wnioskowania statystycznego. Z metodami ilościowymi mamy do czynienia, gdy własności badanych komponentów i kryteriów analizy są wyrażone za pomocą liczb. Zmienne ilościowe stosowane w analizach geograficznych powinny się cechować następującymi właściwościami: mierzalnością, sumowalnością, niezależnością, zmiennością, relatywnością oraz znanym rozkładem statystycznym (Orłóci 1978; Parysek 1982).

1. Analiza semiwariancji

Podstawowym pojęciem geostatystycznego opisu zmienności parametrów przestrzennych jest **zmienna zregionalizowana**. Jest ona realizacją pewnej funkcji obrazującej zróżnicowanie analizowanych parametrów w przestrzeni trójwymiarowej. Podstawowym założeniem jest ciągłość tej funkcji w przestrzeni. Główną ideą geostatystyki jest traktowanie zmiennej zregionalizowanej jako zmiennej losowej. W praktyce geologiczno-górnictwej, z której analiza wywodzi się, geostatystyka zajmuje się poszukiwaniem charakterystyk funkcji losowej na podstawie jej pojedynczej realizacji w celu estymacji wartości zmiennej poza punktami opróbowania (Mucha 1994; Namysłowska-Wilczyńska 2006; Urbański 2011; Zawadzki 2011).

Geostatystyczny opis struktury zmienności parametrów realizuje się za pomocą **analizy semiwariancji**. Wyraża ona wkład średniej wariancji parametru w punktach oddalonych od siebie o odpowiednie przedziały odległości, do całkowitej zmienności populacji próby. Podstawowym estymatorem semiwariogramu jest funkcja Matherona (Wz. 1) (Isaaks & Srivastava 1988, 1989).

$$\gamma_h = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{n_h} (z_{i+h} - z_i)^2 \quad \text{Wz. 1.}$$

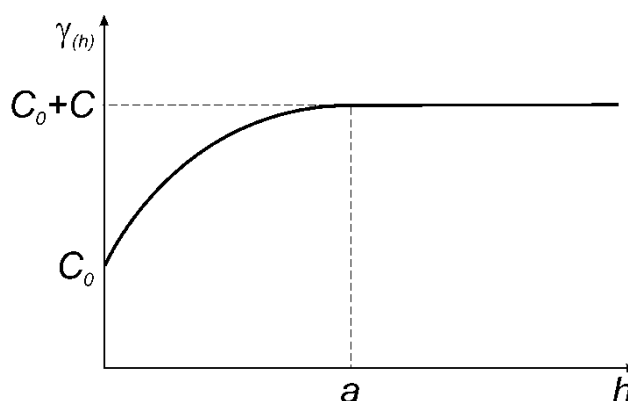
gdzie:

z_{i+h} , z_i – wartości analizowanych parametrów w punktach oddległych o h ,
 γ_h – semiwariancja obliczona dla odległości pomiędzy parami punktów równej h ,
 N_h – liczba par punktów oddległych o h ,
 h – odległość (średnia) między parami punktów.

Semiwariancja obliczana na podstawie surowych danych pochodzących z opróbowania lub innych charakterystyk komponentów środowiska, nosi nazwę **próbkowej** lub **empirycznej**. Wartości semiwariancji próbkowej są funkcją dwóch

zmiennych – średniej różnicy pomiędzy wartościami parametrów w punktach oddalonych od siebie o ten sam przedział odległości oraz kierunku obserwacji. W przypadku kiedy zaniedbujemy ten kierunek i obliczamy uśrednienie wartości semiwariancji pomiędzy punktami z całej badanej przestrzeni mówimy o **semiwariancji wielokierunkowej** lub **izotropowej** (*omnidirectional*). Innym sposobem obliczenia semiwariancji jest pomiar zmienności parametrów wzdłuż ściśle określonego kierunku obserwacji. Jego zdefiniowaniu towarzyszy określenie zakresu kąтового, odkładanego od zadanego kierunku obserwacji i wyznaczającego obszar obliczeniowy. Semiwariancje obliczane wzdłuż zadanych kierunków obserwacji noszą nazwę **kierunkowych** lub **anizotropowych**.

Wartości semiwariancji obliczone dla większej liczby przedziałów odległości są przedstawiane w sposób graficzny, w postaci wykresów nazywanych **semiwariogramami** (Ryc. 1). Na osi rzędnych semiwariogramów przedstawiana jest semiwariancja próbkowa, a na osi odciętych – odległości pomiędzy punktami opróbowania. W typowych sytuacjach, semiwariogramy biorą swój początek od pewnej pierwotnej, losowej wartości zmienności lokalnej nazywanej **efektem samorodków** – C_0 (*nugget effect*). Wraz ze wzrostem odległości pomiędzy analizowanymi punktami, wartości semiwariancji parametrów w pewnym zakresie rosną. Dzieje się tak z powodu tzw. autokorelacji wyrażającej większe prawdopodobieństwo wystąpienia podobnych wartości parametrów w domenach położonych blisko siebie niż położonych w większym oddaleniu od siebie (Tobler 1970). Opisywana zmienność ma charakter deterministyczny i wynika wyłącznie z charakteru zmiennej zregionalizowanej. Osiągany maksymalny poziom semiwariancji wyznacza wartość **amplitudy** semiwariogramu – C_0+C (*sill*). **Zasięg** – a (*range*), nazywany też **promieniem autokorelacji**, określa odległość, powyżej której wartości parametrów nie wykazują przestrzennej autokorelacji.



Ryc. 1. Typowy semiwariogram. C_0 – zmienność lokalna; C_0+C – amplituda; a – zasięg

Jednym z podstawowych założeń geostatystycznego opisu zmienności parametrów jest założenie słabej (bądź szerokiej) stacjonarności. Zakłada ono, że wartość oczekiwana zregionalizowanej zmiennej losowej jest stała na całym analizowanym obszarze oraz, że

przestrzenna kowariancja zregionalizowanej zmiennej losowej jest jedynie funkcją odległości pomiędzy punktami opróbowania (Mucha 1994; Zawadzki 2011). W praktyce analiz danych środowiskowych, opisywane założenia są niekiedy trudne do spełnienia. Ocenę struktury zmienności różnorodnych wskaźników krajobrazowych utrudniają anizotropia polegająca na występowaniu trendów zmienności analizowanych parametrów zależnych od kierunków obserwacji oraz koincydencje różnych czynników wpływających na zmienność badanych parametrów. Prezentowane ograniczenia nie wykluczają przydatności metody w jakościowej identyfikacji struktur komponentów krajobrazu (Meisel & Turner 1998).

Krzywe semiwariogramów empirycznych są opisywane za pomocą szeregu dozwolonych **modeli** – funkcji matematycznych (liniowych, sferycznych, potęgowych, kubicznych i innych) (Mucha 1994). Umożliwiają one identyfikację zasięgu poziomu zmienności lokalnej, amplitudy i zasięgu autokorelacji.

Zbiór semiwariogramów kierunkowych obliczony dla pełnego zakresu obserwacji i przedstawiony na płaszczyźnie w postaci wykresu z centralnym punktem oznaczającym zerową odległość pomiędzy miejscami opróbowania pozwala zbadać czy zmienność analizowanego parametru ma charakter izotropowy czy też anizotropowy. Iloraz zasięgów semiwariogramów jednego typu, obliczonych dla dwóch niezależnych kierunków daje informację na temat siły **anizotropii geometrycznej** i nosi nazwę **współczynnika anizotropii** (Wz. 2). Najczęściej definiuje się go jako stosunek zasięgu semiwariogramu dla kierunku minimalnej zmienności badanego parametru do zasięgu semiwariogramu dla kierunku jego maksymalnej zmienności. Przyjmuje się, że współczynnik anizotropii mniejszy od 2 jest uważany za łagodny, natomiast większy od 4 jest uważany za ostry (ciężki). Zwykle kiedy współczynnik anizotropii jest większy od 3 efekt jest wyraźnie zauważalny na mapach (Kokesz & Mucha 1984; Armstrong 1998; Surfer 8. User's Guide 2002).

$$A = \frac{R_1}{R_2} \quad \text{Wz. 2.}$$

A – współczynnik anizotropii,
 R_1, R_2 – zasięgi semiwariogramów wzdłuż dwóch badanych kierunków zmienności.

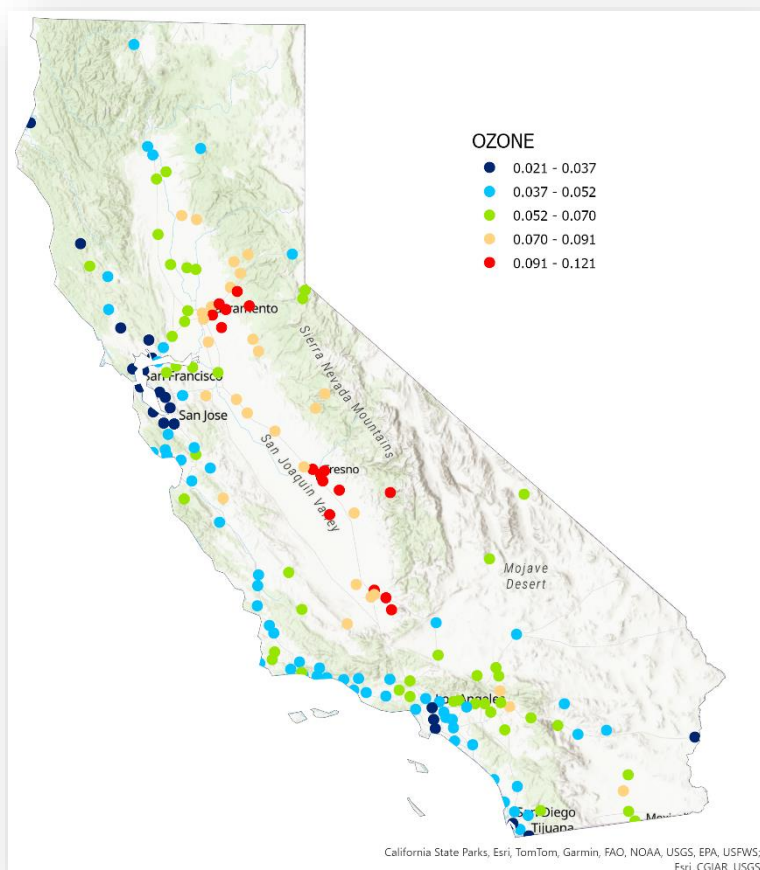
Klasyczne estymatory bezwzględne (wielokierunkowe lub kierunkowe) wyrażane są w jednostkach wariancji badanych parametrów i nie pozwalają na porównywanie poziomów zmienności parametrów mierzonych w różnych jednostkach.

Wymagane oprogramowanie: ArcGIS Pro.

Ćwiczenie 13

Dzięki modułowi geostatystycznemu ArcGIS Pro można na podstawie punktowych danych pochodzących np. z opróbowania utworzyć ciągłą mapę powierzchni analizowanej cechy. Punktowe dane mogą być przechowywane w klasie obiektów o geometrii punktowej lub warstwie rastrowej. Mogą być także z łatwością przypisane do klasy centroid utworzonej dla klasy obiektów powierzchniowych. Danymi próbkowymi mogą być takie cechy jak: elewacja; głębokość warstwy wodonośnej lub poziomu zanieczyszczenia gleb, ale mogą to być także inne cechy o typie zmiennych zregionalizowanych. W połączeniu z ArcGIS Pro, *Geostatistical Analyst* zapewnia kompleksowy zestaw narzędzi do tworzenia powierzchni, które można wykorzystać do wizualizacji, analizy i zrozumienia zjawisk przestrzennych.

Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (*U.S. Environmental Protection Agency*) jest w Kalifornii odpowiedzialna za monitorowanie stężenia ozonu w atmosferze. Stężenie ozonu mierzy się w stacjach monitoringu rozmieszczonych w całym stanie ([Ryc. 2](#)). Znamy punktowe poziomy stężenie ozonu w obrębie wszystkich stacji, ale chcielibyśmy poznać wartości ozonu także dla innych (nie obserwowanych) miejsc Kalifornii. Ze względu na koszty i kwestie praktyczne, stacje monitorujące nie mogą być umieszczane wszędzie. Geostatystyka jest działem statystyki przestrzennej dostarczającym narzędzi umożliwiających generowanie wiarygodnych prognoz. Generowanie wiarygodnych powierzchni odzwierciedlających zmienność analizowanego parametru (tutaj stężenia ozonu) w dowolnym miejscu badanej przestrzeni jest możliwe dzięki analizie zależności występujących pomiędzy wszystkimi punktami opróbowania. Geostatystyka umożliwia także wykonanie mapy błędów (niepewności) przewidywań i prawdopodobieństw, przekroczenia wartości krytycznych analizowanych parametrów.



Ryc. 2. Położenie stacji monitoringu atmosfery stanu Kalifornia, wartości ozonu wyrażone w ppm

2. Dane

- 2.1. Dane do ćwiczeń są dostępne [tutaj](#). Pobierz je, a następnie rozpakuj w swoim folderze domowym.
- 2.2. Plik archiwum przenieś do podfolderu ...\\SRC\\.

W folderze projektowym ...\\Geostatystyka\\ znajduje się geobaza projektowa `ca_ozone.gdb`. W niej znajdują się następujące zbiory danych:

- `ca_outline` – granice stanu Kalifornia,
- `O3_Sep06_3pm` – punktowe dane stężenia ozonu [ppm]¹ pochodzące ze stacji monitoringu atmosfery,
- `ca_cities` – główne miasta Kaliforni,
- `ca_hillshade` – cieniowany relief Kaliforni.

¹ ppm – liczba części na milion (*parts per million*) – 10^{-6} .

Zbiór danych pomiarów zawartości ozonu w atmosferze (O3_Sep06_3pm) został udostępniony dzięki uprzejmości *California Air Resources Board* i zawiera stężenie ozonu zmierzone w dniu 6 września 2007 r., w godzinach od 3:00–16:00, w częściach na milion (ppm).

Na podstawie pomiarów próbek zawartości ozonu w atmosferze otrzymamy dwie ciągłe powierzchnie (dwie mapy) przewidujące zawartości stężenia ozonu w każdej lokalizacji stanu Kalifornia. Pierwsza z utworzonych map zostanie wykonana z użyciem opcji domyślnych. Pozwoli nam to zapoznać się z procesem generowania powierzchni na podstawie punktowych danych próbkowych. Druga mapa, którą utworzymy, umożliwi włączenie do analizy większej liczby powiązań przestrzennych pomiędzy danymi próbkowymi. Podczas tworzenia tej mapy użyjemy narzędzi do analizy danych przestrzennych (ESDA). Wprowadzimy też niektóre dodatkowe opcje analizy geostatystycznej, takie jak usuwanie trendów i modelowanie autokorelacji przestrzennej, które można wykorzystać do tworzenia powierzchni. Wykorzystanie narzędzi ESDA i dodatkowych parametrów analizy geostatystycznej pozwolą na utworzenie bardziej dokładnych powierzchni. Często w analizach nie poszukujemy rzeczywistych wartości parametrów ale raczej informacji czy wartości są powyżej pewnego poziomu toksyczności, czy też nie. Jeśli wartości parametrów uległy przekroczeniu, należy podjąć natychmiastowe działania. Trzecia powierzchnia, którą utworzymy oceni prawdopodobieństwo zdarzenia, że krytyczna wartość progowa stężenia ozonu została przekroczona. Jako wartość krytyczną zdefiniujemy zawartość ozonu 0,09 ppm (norma jakości powietrza w Kalifornii dla pomiarów godzinowych). Miejsca przekroczenia norm powinny być poddane stałemu monitoringowi atmosfery. Użyjemy narzędzi analizy geostatystycznej do przewidywania prawdopodobieństwa, że wartości ozonu na obszarze Kalifornii przestały spełniać ten standard w dniu 6 września 2007 r., w godzinach od 3:00 do 16:00.

Ćwiczenie zostało podzielone na pięć etapów (kolejne dokumenty pdf):

- ✓ Zapoznanie się z etapami tworzenia modeli interpolacyjnych, wprowadzenie w problematykę analiz geostatystycznych i proces tworzenia map stężenia ozonu przy użyciu domyślnych wartości parametrów.
- ✓ Wprowadzenie do procesu eksploracji danych przed utworzeniem powierzchni interpolacyjnej, w celu wykrycia nietypowych danych (np. próby huraganowe) i proces rozpoznawania trendów.
- ✓ Utworzenie drugiej powierzchni obejmującej więcej powiązań przestrzennych, odkrytych w 2 etapie ćwiczenia i poprawa powierzchni utworzonej podczas etapu 1. Etap ten wprowadza także w niektóre podstawowe pojęcia geostatystyki.

- ✓ Porównanie wyników interpolacji dwóch powierzchni utworzonych w ćwiczeniach 1 i 3 oraz sposobu określania, która powierzchnia zapewnia lepszą ekstrapolację parametru.
- ✓ Proces odwzorowania prawdopodobieństwa zdarzenia polegającego na przekroczeniu krytycznej wartości progowej stężenia ozonu oraz utworzenie trzeciej powierzchni.

Tworzenie powierzchni interpolacyjnych przy użyciu parametrów domyślnych

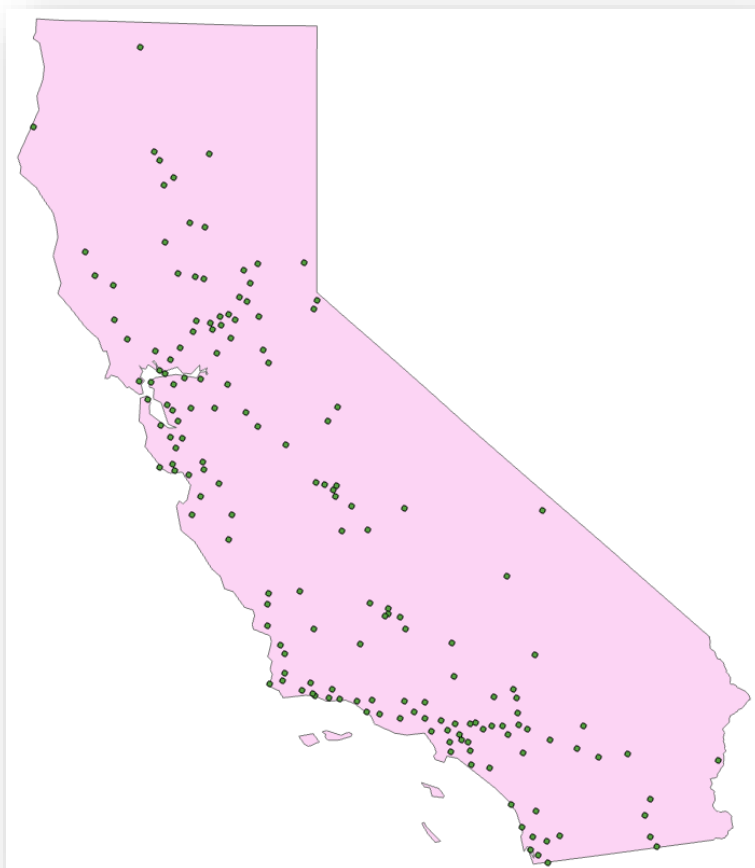
Ta część ćwiczenia wprowadza w zagadnienia analiz geostatystycznych. W celu wygenerowania powierzchni stężenia ozonu, przy użyciu domyślnych parametrów narzędzi geostatystycznych utworzymy prosty model interpolacyjny.

3. Otwarcie projektu i dodanie danych do mapy

- 3.1. Otwórz plik projektu `Geostatystyka.aprx`.
- 3.2. Jeśli to konieczne, w panelu *Contents* wyłącz widoczność warstw `World Topographic Map` i `World Hillshade`.

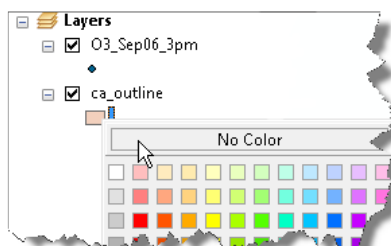
Dodamy teraz do aktywnej mapy dane i zmienimy ich symbolikę.

- 3.3. W panelu *Catalog* otwórz geobazę `ca_ozone.gdb`.
- 3.4. Przytrzymaj klawisz `CTRL` i wybierz dwa zbiory danych: `03_Sep06_3pm` i `ca_outline`.
- 3.5. Przeciągnij zbiory danych na scenę mapy ([Ryc. 3](#)).



Ryc. 3. Zbiory danych O3_Sep06_3pm i ca_outline dodane na scenę mapy

- 3.6. W panelu zawartości kliknij ppm symbol warstwy *ca_outline*.
- 3.7. W menu *ArcGIS Colors* wybierz przycisk *No color* (Brak koloru) (Ryc. 4).



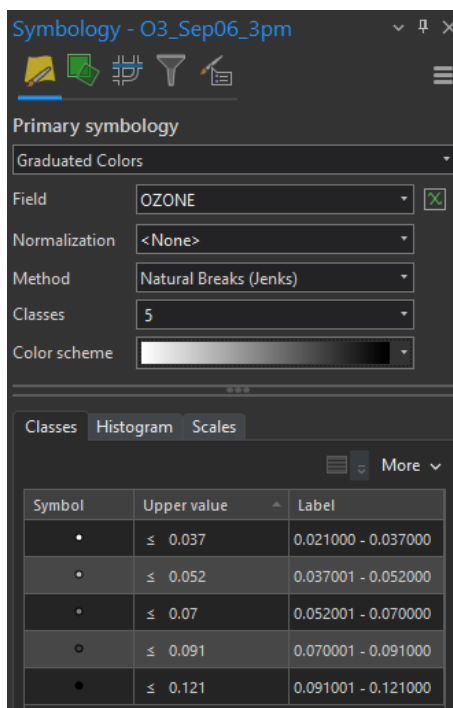
Ryc. 4. Wybór symboliki wypełnienia warstwy *ca_outline*

Zostanie wyświetlony tylko zarys stanu Kalifornia. W przyszłości pozwoli to śledzić warstwy, które zostaną dodane pod tą warstwę.

Zorientujemy się teraz w wynikach pomiarów ozonu dostarczonych przez stacje monitoringu.

- 3.8. W panelu zawartości zaznacz warstwę *O3_Sep06_3pm*.
- 3.9. Na wstążce aplikacji, na karcie *Feature Layer*, w grupie *Drawing* rozwiń listę *Symbolology* (Symbolika).

- 3.10. Wybierz z listy opcję symbolizacji poprzez stopniowanie kolorów (*Graduated Colors*).
- 3.11. W panelu *Symbology – O3_Sep06_3pm*, w polu *Field (Pole)* ustaw wartość atrybutu OZONE.
- 3.12. Wybierz schemat kolorów (*Color scheme*) od białej do czarnej ([Ryc. 5](#)).

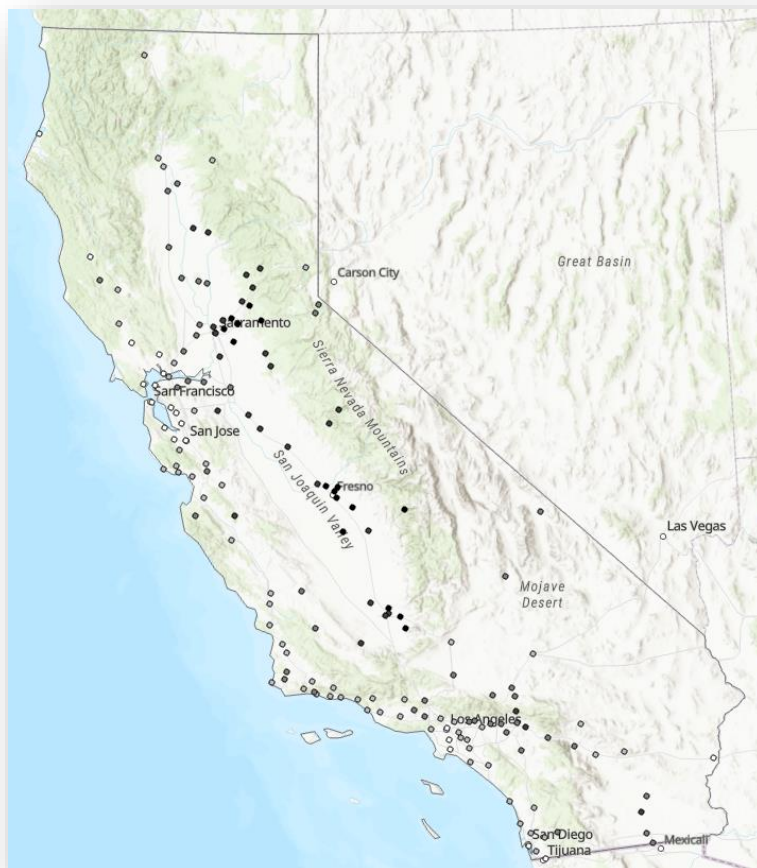


Ryc. 5. Panel *Symbology – O3_Sep06_3pm* z symbolizacją warstwy stacji monitoringu powietrza

- 3.13. Włącz widoczność warstw *World Topographic Map* i *World Hillshade*.

6 września 2007 r. najwyższe zawartości ozonu występowały w Dolinie Centralnej, a najniższe – wzdłuż wybrzeża ([Ryc. 6](#)).

Wizualizacja danych służy zrozumieniu zjawiska, które zamierzamy modelować i jest pierwszym krokiem etapu eksploracji danych.



Ryc. 6. Położenie Doliny Centralnej w Kalifornii (centralna, płaska część stanu)

Zaleca się możliwie częste zapisanie dokumentu projektu w trakcie ćwiczenia.

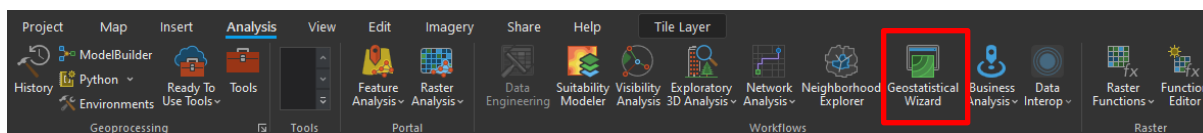
3.14. Na pasku *Szybki dostęp* kliknij przycisk *Save Project (Zapisz projekt)*.

4. Tworzenie powierzchni interpolacyjnej za pomocą domyślnych parametrów

Utworzymy (wyinterpolujemy) teraz powierzchnię stężenia ozonu. Będziemy używać ustawień domyślnych narzędzi *Geostatistical Analyst*. Jako zbioru danych wejściowych użyjemy zbioru punktowych pomiarów stężenia ozonu w stacjach kontroli powietrza 03_Sep06_3pm. Do utworzenia powierzchni wykorzystamy **metodę krigngu zyczajnego** (*ordinary kriging*).

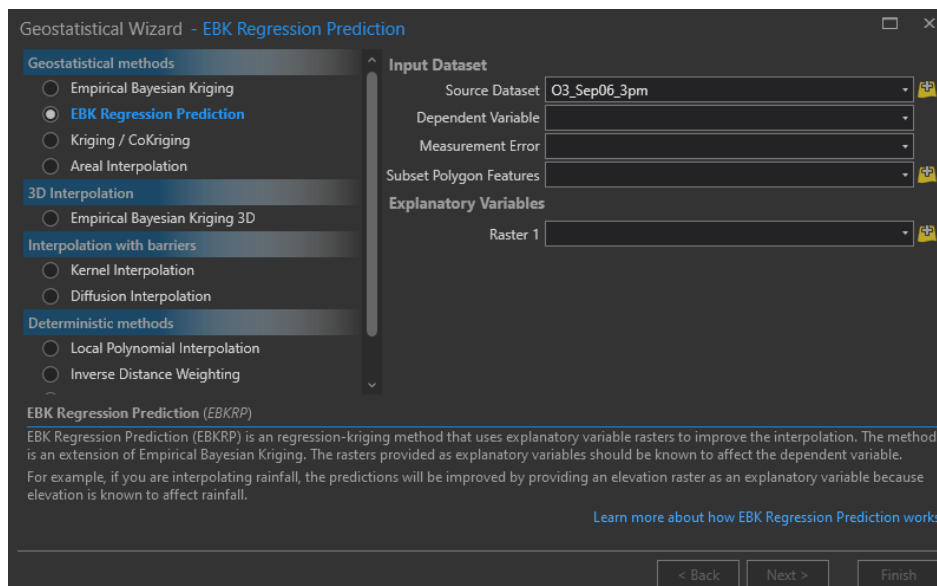
W tym etapie ćwiczenia nie musisz koncentrować się na szczegółach okien dialogowych. Szerzej zapoznamy się z nimi w późniejszych etapach ćwiczenia.

4.1. Na wstążce *Analysis (Analiza)* uruchom przycisk *Geostatistical Wizard (Kreator Geostatystyczny)* ([Ryc. 7](#)).



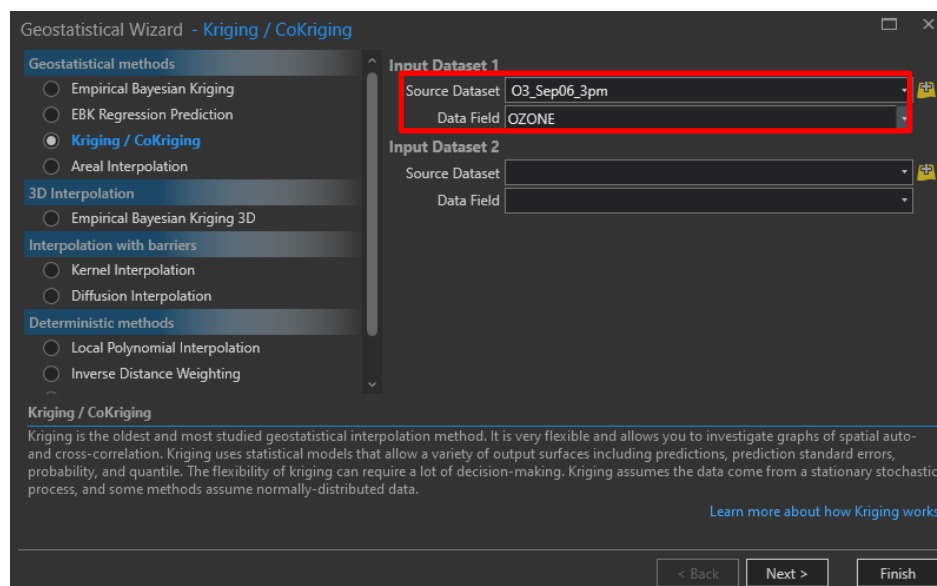
Ryc. 7. Zestaw narzędzi Geostatistical Wizard

Zostanie wyświetlone okno dialogowe *Geostatistical Wizard* (Kreator geostatystyczny) (Ryc. 8).



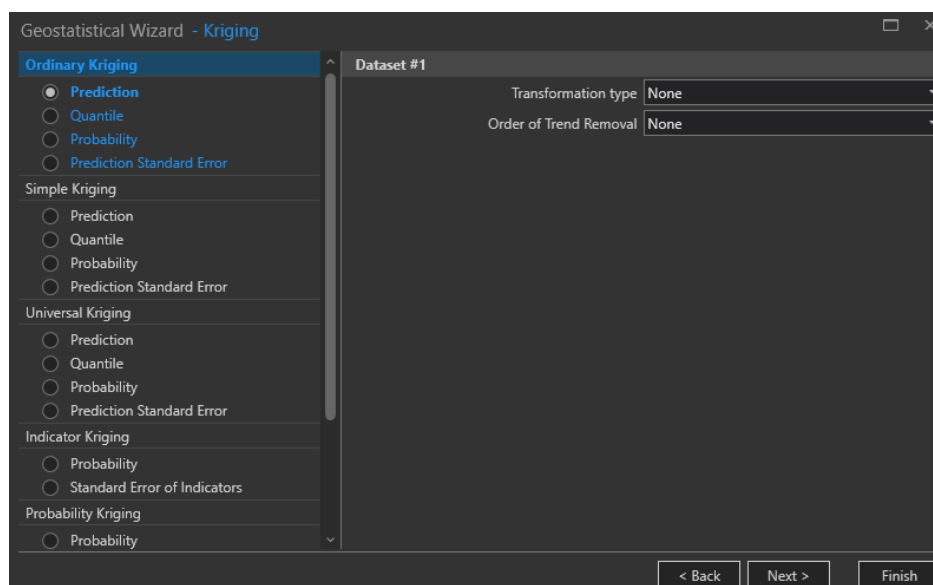
Ryc. 8. Okno dialogowe Geostatistical Wizard

- 4.2. Z listy *Geostatistical Methods* (Metody geostatystyczne) wybierz *Kriging/CoKriging*.
- 4.3. Z listy rozwijanej *Source Dataset* (Źródła danych) wybierz zbiór O3_Sep06_3pm.
- 4.4. Z listy rozwijanej *Data Field* (Pole danych) wybierz atrybut OZONE (Ryc. 9).



Ryc. 9. Okno dialogowe Geostatistical Wizard z wybranym zbiorem danych i atrybutem zawierającym wartości analizowanej zmiennej

- 4.5. Kliknij przycisk *Next (Dalej)*.
- 4.6. Jako rodzaj krigingu wybieramy *Ordinary Kriging (Kriging zwyczajny)*, zaś jako rodzaj powierzchni wynikowej *Prediction (Mapa predykcji)* (Ryc. 10).



Ryc. 10. Okno dialogowe *Geostatistical Wizard* z określonymi: metodą interpolacji oraz rodzajem powierzchni wynikowej

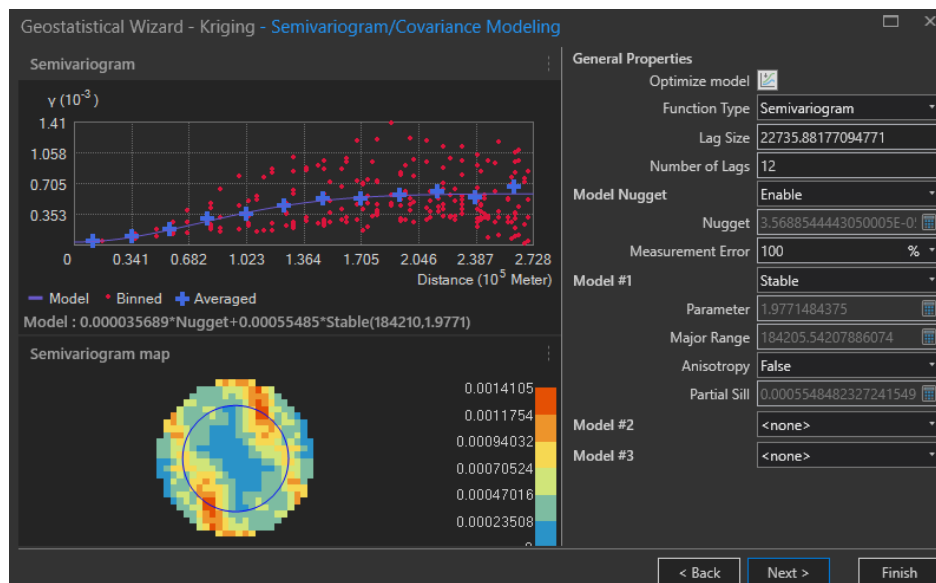
Ponieważ wszystkie parametry, które są niezbędne do wykonania analizy geostatystycznej zostały już zdefiniowane, aby utworzyć powierzchnię stężenia ozonu w powietrzu przy użyciu domyślnych parametrów, wystarczyłoby kliknąć przycisk *Finish (Zakończ)*. My jednak, po krótko, zapoznamy się jeszcze z kolejnymi krokami kreatora geostatystycznego.

- 4.1. Kliknij przycisk *Next (Dalej)*.

Zostanie wyświetlony semiwariogram empiryczny² umożliwiający zbadanie relacji przestrzennych zachodzących pomiędzy danymi sieci opróbowania (w tym przypadku wartościami ozonu pomierzonymi przez stacje monitoringu atmosfery). Pierwsze prawo geografii Toblera ([Tobler 1970](#)), które definiuje relacje podobieństwa pomiędzy obiektami (ich cechami) w przestrzeni mówi, że w geografii wszystko jest związane ze wszystkim innym, przy czym rzeczy bliższe są bardziej ze sobą związane niż rzeczy bardziej odległe. Nazywane jest to **autokorelacją przestrzenną**. Semiwarogram pozwala na zbadanie tego założenia ([Ryc. 11](#)). Proces dopasowania modelu teoretycznego do semiwariogramu

² Semiwariogram – podstawowe narzędzie geostatystyczne służące do badania struktury zmienności analizowanych zjawisk przestrzennych oraz do estymacji zmiennych zregionalizowanych. Jest on miarą definiowaną jako połowa średniej kwadratowej różnicy między dwiema wartościami cechy, pomiędzy którymi odległość równa jest w przybliżeniu wektorowi h . (zob. [Wz. 1](#)).

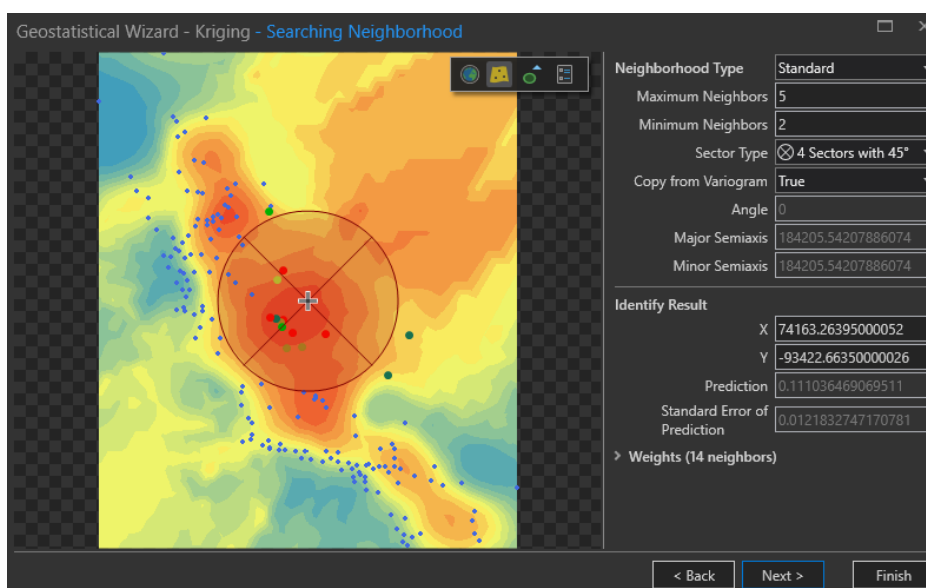
empirycznego, w celu uchwycenia relacji przestrzennych zawartych w danych jest nazywany **wariografią** lub **modelowaniem geostatystycznym**.



Ryc. 11. Okno dialogowe z wyświetlonym semiwariogramem empirycznym (jako obrazem relacji przestrzennych zachodzących pomiędzy danymi) oraz mapą semiwariogramów kierunkowych

4.1. Kliknij przycisk *Next (Dalej)*.

Krzyż wskazuje lokalizację, która nie ma pomierzonej wartości próbkowej zmiennej zregionalizowanej (Ryc. 12). Aby przewidzieć wartość analizowanego parametru (stężenia ozonu) w miejscu krzyża, musimy użyć znanych wartości w punktach pomiaru (stacje monitoringu). Zgodnie z zasadą autokorelacji Toblera, wartość analizowanego parametru w lokalizacji pozbawionej punktu pomiarowego jest najbardziej zbliżona do znanych wartości parametru z punktów pomiaru położonych od niego najbliżej. Czerwone punkty na Ryc. 12 będą miały w trakcie obliczeń wartości piksela zaznaczonego krzyżem większą wagę (większy wpływ) niż zielone punkty, ponieważ znajdują się bliżej rozpatrywanej lokalizacji. Używając punktów otaczających i modelu semiwariogramu można przewidzieć wartości zmiennej dla każdej niezmierzonej lokalizacji.

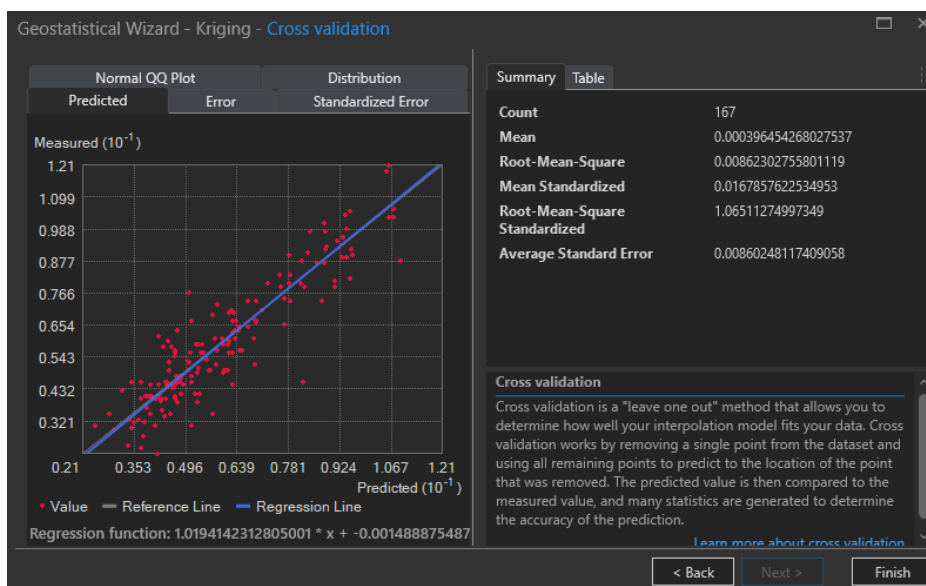


Ryc. 12. Okno dialogowe poszukiwania punktów sąsiednich

4.1. Kliknij przycisk *Next (Dalej)*.

Diagram weryfikacji krzyżowej (tzw. **cross-walidacja** – *cross-validation*) pozwala zweryfikować poprawność doboru modelu estymującego wartości badanego parametru w nieznanych lokalizacjach (Ryc. 13).

Jak z niego korzystać i jak rozumieć wyświetlone statystyki dowiemy się w 4-tym etapie ćwiczenia.



Ryc. 13. Okno dialogowe cross-walidacji

4.2. Kliknij przycisk *Finish (Zakończ)*.

W oknie dialogowym *Method Report (Raport metody)* podsumowano informacje dotyczące metody (i powiązanych z nią parametrów), która będzie wykorzystana do utworzenia interpolowanej powierzchni zmienności ozonu w powietrzu (Ryc. 14).

Method Report

Input datasets

Dataset
D:\GIS\PROJECTS\ArcGIS_Pro\Geostatystyka\ca_ozone.gdb\03_Sep06_3pm
Type: Feature Class
Data field 1: OZONE
Records: 167

Method
Type: Ordinary
Output type: Prediction

Dataset #
Dataset #: 1
Trend type: None

Searching neighborhood
Type: Standard
Neighbors to include: 5
Include at least: 2
Sector type: Four and 45 degree
Major semiaxis: 184 205.542078861
Minor semiaxis: 184 205.542078861
Angle: 0

Variogram
Type: Semivariogram
Number of lags: 12
Lag size: 22 735.8817709477
Nugget: 3.5688544443050005e-05
Measurement error %: 100

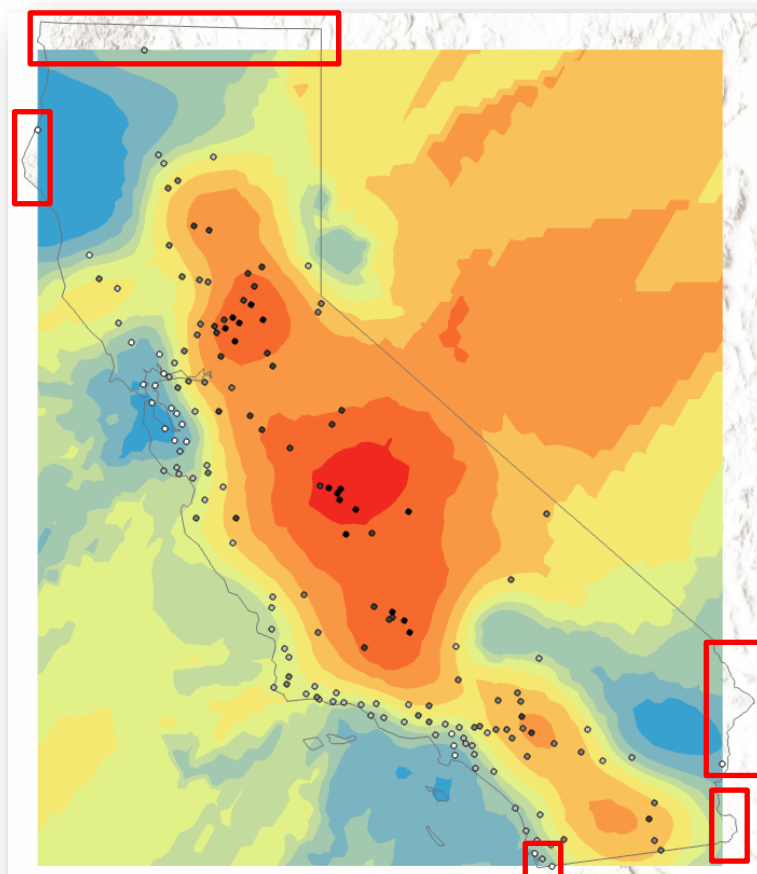
Model type
Type: Stable
Parameter: 1.9771484375
Range: 184 205.542078861
Anisotropy: No
Partial sill: 0.000554848233

OK Cancel

Ryc. 14. Raport modelowania geostatystycznego

4.3. Kliknij przycisk **OK**.

Mapa zawartości ozonu zostaje dodana do panelu *Contents* (Ryc. 15).



Ryc. 15. Mapa zmienności zawartości ozonu w powietrzu; ramkami zaznaczono fragmenty stanu Kalifornia nie objęte prognozą

4.1. W panelu *Contents* zmień nazwę utworzonej warstwy na `Default Kriging`.

W przyszłości zmiana nazwy warstwy pomoże nam odróżnić ją od tej, którą utworzymy w 4-tym etapie ćwiczenia.

4.1. Zachowaj projekt.

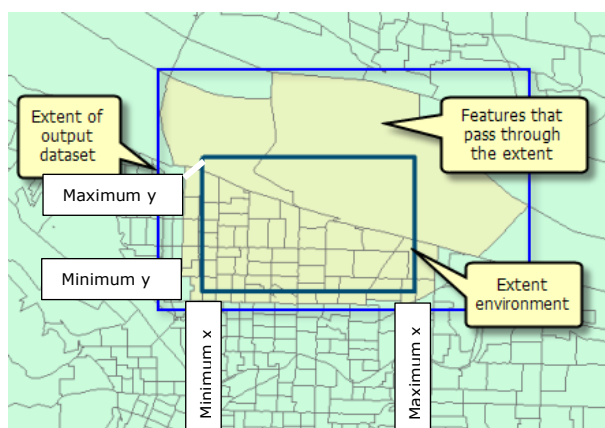
5. Definiowanie zakresu geoprzetwarzania

Zauważ, że zakres powierzchni `Default Kriging` kontynuuje się także w obszarze oceanu (poza obszarem opróbowania). Dzieje się tak dlatego, że zasięg utworzonej warstwy nawiązuje do przestrzeni punktów warstwy `O3_Sep06_3pm`, z której wyinterpolowano raster (Ryc. 15). Jest to niekorzystne z uwagi na niewielkie fragmenty stanu Kalifornia, które nie zostały objęte wynikami interpolacji. Aby to zmienić, poprawimy zakres przestrzeni objętej analizą i utworzymy warstwę geostatystyczną w nowych granicach.

Wiele narzędzi geoprzetwarzania umożliwia określenie zakresu przetwarzania (*processing extent*), wewnątrz którego będą przetwarzane obiekty lub piksele rastrów.

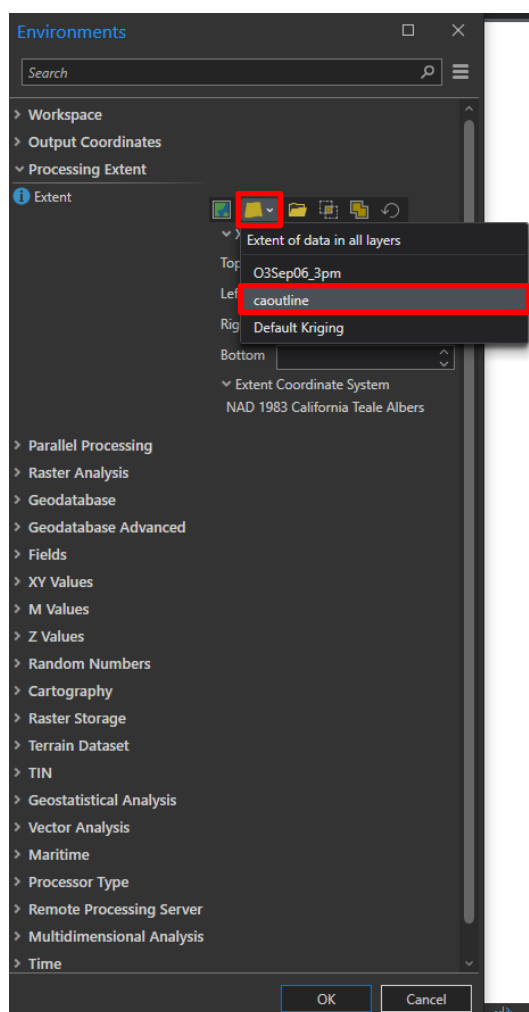
Ustawienie zakresu przetwarzania definiuje obszar geograficzny zainteresowania dla każdego uruchomionego narzędzia ArcGIS Pro.

Zakres jest prostokątem o minimalnych i maksymalnych współrzędnych x (długość geograficzna) i y (szerokość geograficzna). Współrzędne tworzące ten prostokąt to: lewy (minimum x), prawy (maksimum x), górny (maksimum y) i dolny (minimum y) (Ryc. 16).



Ryc. 16. Stosunek przestrzeni środowiska geoprzetwarzania (*Extent environment*) do przestrzeni zbioru danych (*Extent of output dataset*) (ESRI)

- 5.1. Aby zmienić zakres powierzchni predykcji do obszaru stanu Kalifornii, przejdź na wstążce aplikacji do karty *Analysis (Analiza)*. W grupie *Geoprocessing* wybierz narzędzie *Environments (Środowisko)*.
- 5.2. W oknie dialogowym *Environments* przejdź do zakładki *Processing Extent (Przetwarzany zakres)*.
- 5.3. Z listy dostępnych opcji wybierz ikonę *Extent of a Layer (Zakres warstwy)* i wskaż warstwę granic stanu Kalifornia – *ca_outline* (Ryc. 17), a następnie naciśnij przycisk *OK*.

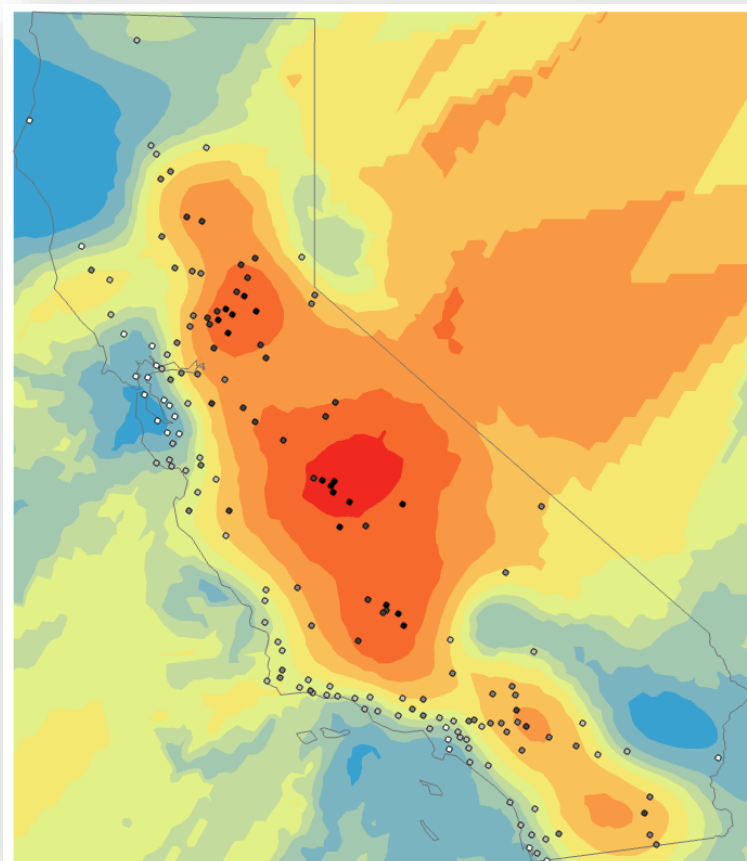


Ryc. 17. Definiowanie zakresu geoprzetwarzania do granic warstwy ca_outline

Zdefiniowaliśmy tym samym nowy zakres geoprzetwarzania. Na podstawie warstwy Default Kriging utworzymy teraz nową warstwę geostatystyczną, z nowym zakresem danych.

- 5.4. W oknie *Command Search* wpisz nazwę narzędzia „Create Geostatistical Layer”.
- 5.5. Z listy wyników wyszukiwania uruchom narzędzie *Create Geostatistical Layer (Geostatistical Analysis)*.
- 5.6. W otwartym panelu *Geoprocessing – Create Geostatistical Layer*, jako *Input geostatistical model source* (Źródło modelu geostatystycznego) wybierz warstwę Default Kriging.
- 5.7. Jako *Output geostatistical layer* (Wyjściowa warstwa geostatystyczna) wprowadź nazwę Default Kriging state.
- 5.8. Naciśnij przycisk *Run*.

Utworzona nowa warstwa geostatystyczna ma teraz zakres całego stanu Kalifornia (Ryc. 18).

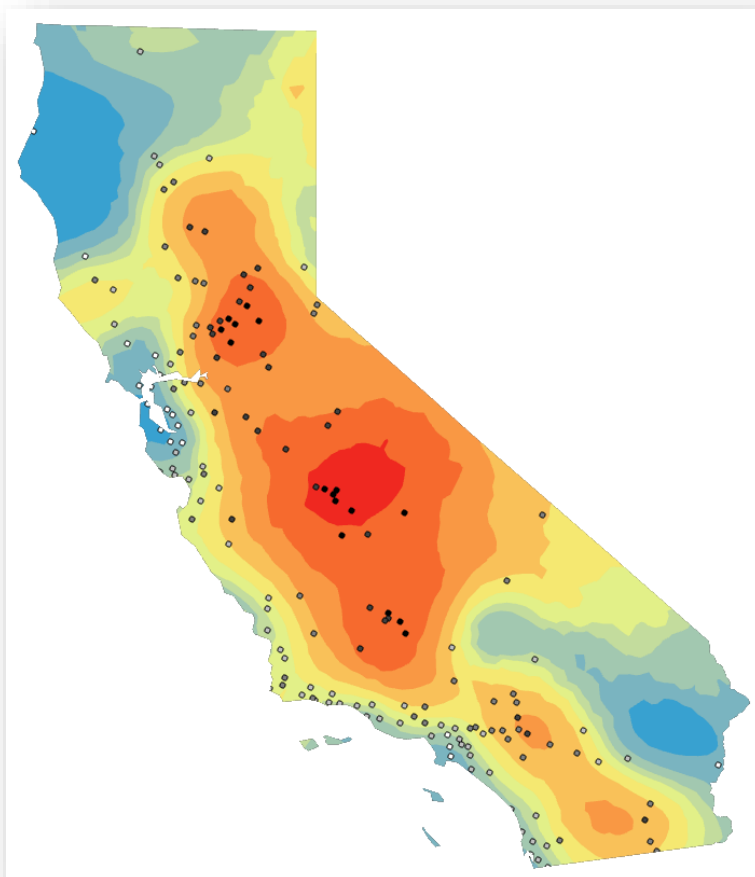


Ryc. 18. Mapa zmienności zawartości ozonu w powietrzu w zakresie całego stanu Kalifornia

Nie będziemy potrzebowali dość wątpliwych (bo pozbawionych punktów monitoringu) predykcji w obszarach poza stanem Kalifornia. Wytnijmy zatem mapę `Map` w granicy stanu Kalifornia.

- 5.9. W panelu zawartości kliknij ppm nagłówek mapy `Map` i z menu kontekstowego wybierz polecenie *Properties (Właściwości)*, a następnie wybierz zakładkę *Clip Layers (Wytnij warstwy)*.
- 5.10. W dostępnym polu zmień opcję *No clipping (Bez przycinania)* na opcję *Clip to an outline (Przytnij do krawędzi)*, a następnie określ granice przycinania wewnątrz warstwy `ca_outline`.
- 5.11. Kliknij przycisk *Apply*, a następnie kliknij *OK*.

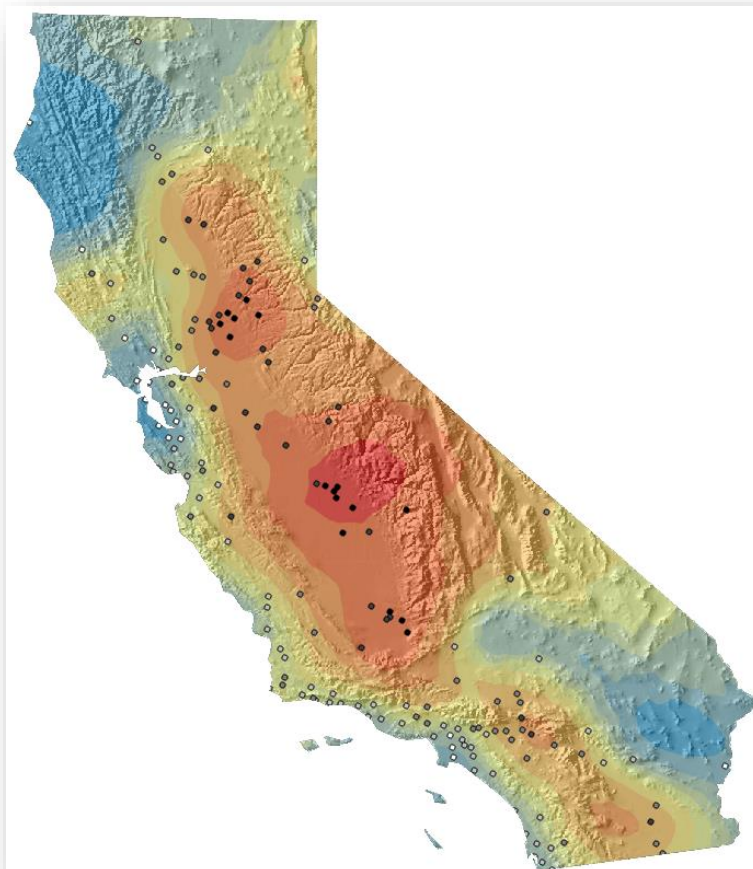
Wyinterpolowana powierzchnia jest teraz przycięta i nie wyświetla danych spoza granic stanu ([Ryc. 19](#)).



Ryc. 19. Wyinterpolowana powierzchnia przycięta do granic stanu Kalifornia

- 5.12. Z domyślnej geobazy dodaj na scenę cieniowany relief terenu `ca_hillshade`.
- 5.13. W panelu *Contents* umieść cieniowany relief terenu poniżej warstw `Default Kriging` i `Default Kriging state`.
- 5.14. Nadaj 40% przezroczystość warstwie `Default Kriging state`.

Możemy teraz prześledzić zależność stężenia ozonu w powietrzu od rzeźby terenu (Ryc. 20).



Ryc. 20. Wyinterpolowana powierzchnia na tle cieniowanego reliefu terenu

- 5.15. Jeśli to konieczne, przeciągnij warstwę `O3_Sep06_3pm` na górę listy warstw panelu zawartości.

Wizualnie oceń jak dobrze warstwa `Default Kriging state` oddaje zmienność mierzonych wartości ozonu. Czy wysokie przewidywania dotyczące ozonu występują w tych samych obszarach, w których w stacjach kontroli powietrza zmierzono wysokie stężenia ozonu? W etapach 3 i 4 ćwiczenia nauczmy się w jaki sposób ilościowo oceniać, jak dobrze wykonuje się model i jak porównać dwa modele ze sobą.

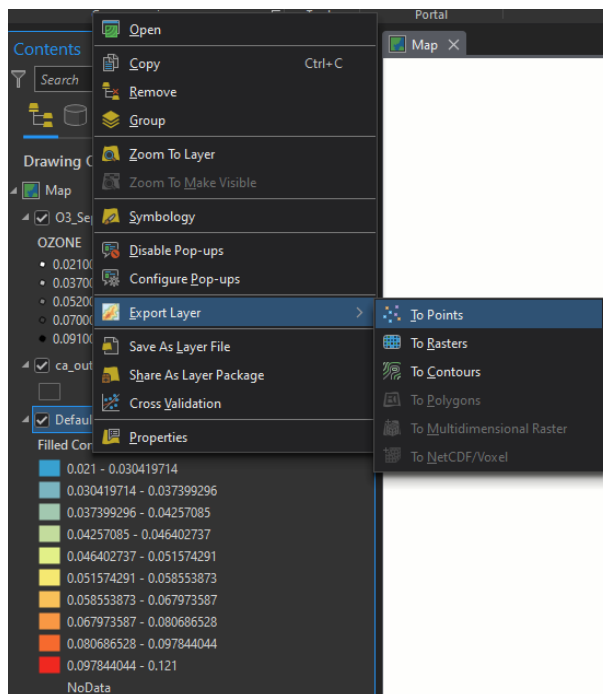
- 5.16. Zachowaj projekt.

6. Predykcja zawartości ozonu w powietrzu głównych miast stanu Kalifornia

Wykonamy jeszcze predykcję zawartości ozonu w powietrzu dla głównych miast stanu Kalifornia.

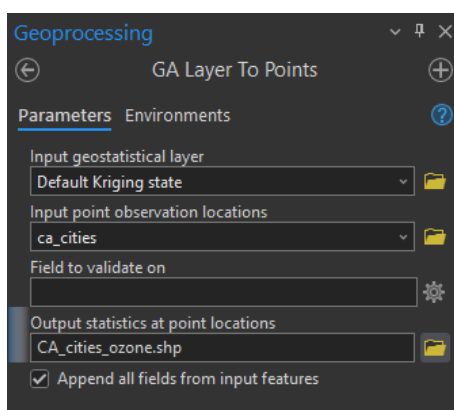
- 6.1. W folderze projektowym `...\\Geostatystyka\\` utwórz podfolder `\\SHP\\`.

- 6.2. W panelu *Contents* kliknij ppm warstwę *Default Kriging state* i z menu kontekstowego wybierz *Export Layer > To Points* (Ryc. 21). Spowoduje to otwarcie narzędzia geoprzetwarzania *GA Layer To Points* z wybranym źródłem geostatystycznych danych wejściowych *Default Kriging state*.



Ryc. 21. Panel zawartości z menu kontekstowym dla interpolowanej powierzchni

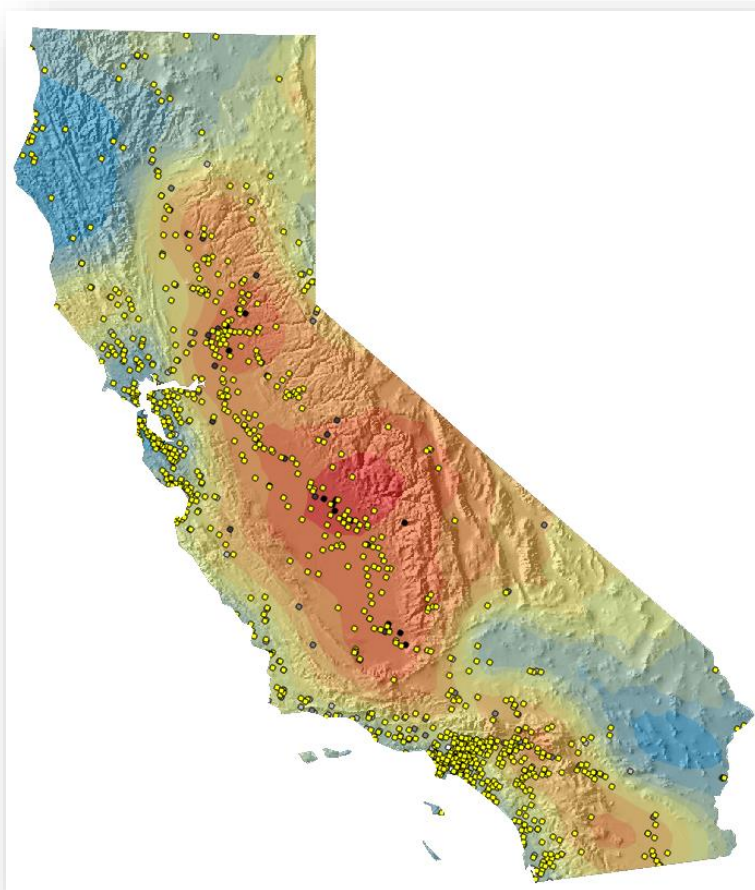
- 6.3. W oknie dialogowym *GA Layer To Points*, *Input geostatistical layer* (Wejściowa warstwa geostatystyczna) powinna być automatycznie ustawiona na *Default Kriging state* (Ryc. 22). W polu *Input point observation locations* (Wejściowe lokalizacje punktów obserwacji) wybierz geobazę zawierającą dane dla tego ćwiczenia i następnie wskaż zbiór danych *ca_cities*, definiujący położenie głównych miast stanu Kalifornia. Opcjonalne pole formularza *Field to validate on* (Pole do sprawdzenia poprawności) pozostaw puste, ponieważ chcemy generować prognozy zawartości ozonu w głównych miastach, a nie chcemy sprawdzać przewidywanych wartości względem wartości zmierzonych. W polu *Output statistics at point locations* (Statystyki wyjściowe w punktach) przejdź do folderu *...\Geostatystyka\SHp* i zbiorowi wynikowemu analizie nadaj nazwę *CA_cities_ozone.shp*.



Ryc. 22. Panel narzędzia geoptrzetwarzania *GA Layer To Points*

6.4. Aby uruchomić narzędzie kliknij przycisk *Run*.

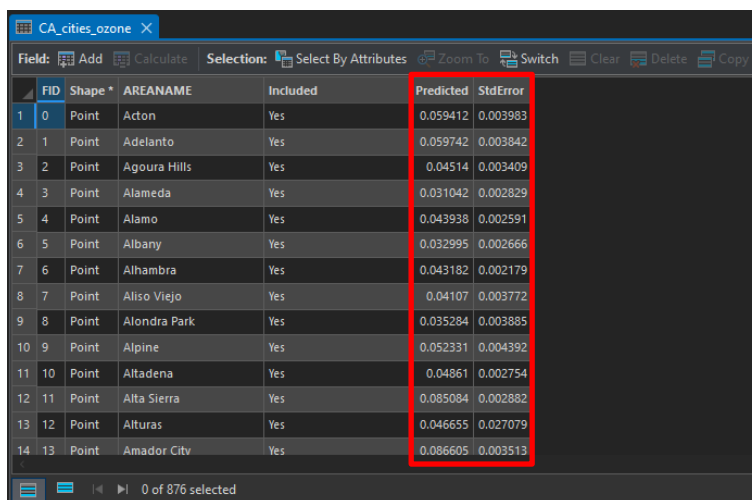
Warstwa punktów obserwacji została dodana do mapy (Ryc. 23).



Ryc. 23. Mapa stanu Kalifornia z dodanymi lokalizacjami głównych miast

6.5. W panelu *Contents* wybierz ppm warstwę *CA_cities_ozone* i z menu kontekstowego wybierz polecenie *Attribute Table* (Tabela atrybutowa).

Zauważ, że każde miasto ma przewidywaną zawartość ozonu (atrybut `Prediction`), a także wartość błędu standardowego (atrybut `StdError`), która wskazuje na poziom niepewności związany z estymowaną zawartością ozonu dla każdego miasta) (Ryc. 24).



| | FID | Shape * | AREANAME | Included | Prediction | StdError |
|----|-----|---------|--------------|----------|------------|----------|
| 1 | 0 | Point | Acton | Yes | 0.059412 | 0.003983 |
| 2 | 1 | Point | Adelanto | Yes | 0.059742 | 0.003842 |
| 3 | 2 | Point | Agoura Hills | Yes | 0.04514 | 0.003409 |
| 4 | 3 | Point | Alameda | Yes | 0.031042 | 0.002829 |
| 5 | 4 | Point | Alamo | Yes | 0.043938 | 0.002591 |
| 6 | 5 | Point | Albany | Yes | 0.032995 | 0.002666 |
| 7 | 6 | Point | Alhambra | Yes | 0.043182 | 0.002179 |
| 8 | 7 | Point | Aliso Viejo | Yes | 0.04107 | 0.003772 |
| 9 | 8 | Point | Alondra Park | Yes | 0.035284 | 0.003885 |
| 10 | 9 | Point | Alpine | Yes | 0.052331 | 0.004392 |
| 11 | 10 | Point | Altadena | Yes | 0.04861 | 0.002754 |
| 12 | 11 | Point | Alta Sierra | Yes | 0.085084 | 0.002882 |
| 13 | 12 | Point | Alturas | Yes | 0.046655 | 0.027079 |
| 14 | 13 | Point | Amador City | Yes | 0.086605 | 0.003513 |

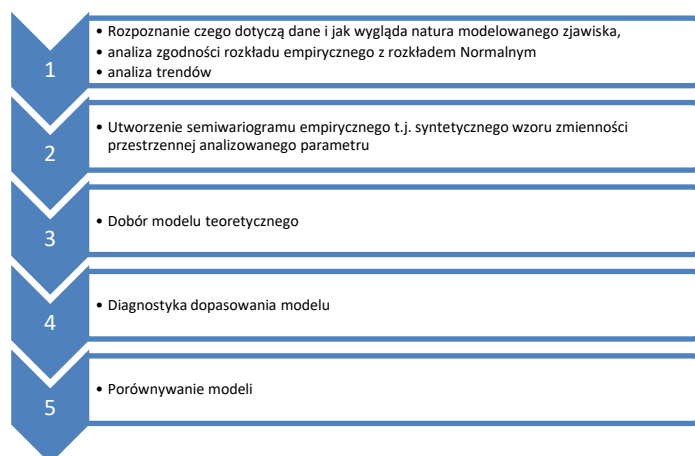
Ryc. 24. Fragment tabeli atrybutowej warstwy CA_cities_ozone z widocznymi predykcjami zawartości ozonu w powietrzu oraz wartościami błędu standardowego

- 6.6. Zamknij okno tabeli atrybutowej.
- 6.7. Aby usunąć warstwę CA_cities_ozone z mapy, w panelu *Contents* kliknij na niej ppm i z menu kontekstowego wybierz polecenie *Remove (Usuń)*.
- 6.8. Zapisz projekt ArcGIS Pro.

7. Metodyka dopasowania powierzchni

Utworzyliśmy mapę koncentracji ozonu i tym samym ukończyliśmy 1-szy etap ćwiczeń z zakresu modelowania geostatystycznego.

Pomimo tego, że zadanie utworzenia mapy zmienności analizowanego parametru z wykorzystaniem kreatora geostatystycznego wydaje się być proste, ważne jest aby wykonując analizy geostatystyczne przebiegały one w ściśle przestrzeganej kolejności (Ryc. 25).



Ryc. 25. Główne etapy procedury modelowania geostatystycznego

Podczas następnych etapów tego ćwiczenia będziemy ćwiczyli procedurę modelowania geostatystycznego. Ponadto, w etapie 5-tym utworzymy powierzchnię pokazującą prawdopodobieństwo, że stężenia ozonu przekraczają określony próg. Zauważ, że właściwie to wykonaliśmy dopiero pierwszy krok w tym procesie – wyeksplorowaliśmy nasze dane. Wiemy teraz o nich całkiem sporo. Możemy więc przystąpić do kolejnych, bardziej szczegółowych etapów analizy.

Bibliografia

- Armstrong, M., 1998. *Basic linear geostatistics*. Springer – Verlag, Berlin, 156.
- Isaaks, E.H., Srivastava, R.M., 1988. Spartial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. *Mathematical Geology*, 20(4), 313–341.
- Isaaks, E.H., Srivastava, R.M., 1989. *An introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York, Oxford.
- Kokesz, Z., Mucha, J., 1984. Anizotropia parametrów złożowych – cele i metody badania. *Techn. Poszuk. Geol.*, 2, 40–49.
- Meisel, J.E. & Turner, M.G., 1998. Scale detection in real and artificial landscapes using semivariance analysis. *Landscape Ecology*, 13, 347–362.
- Mucha, J., 1994. *Metody geostatystyczne w dokumentowaniu złóż*. Skrypt, Katedra Geologii Kopalnianej, Wyd. AGH, Kraków, 155.
- Namysłowska-Wilczyńska, B., 2006. *Geostatystyka. Teoria i zastosowania*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 356.
- Orlóci, L., 1978. *Multivariate analysis in vegetation research*. Springer. 468.

Parysek, J.J., 1982. *Modele klasyfikacji w geografii*. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Adama Mickiewicza, Seria Geografia, 31, Poznań, 223.

Surfer 8. User's Guide, 2002, Golden Software, Inc. Colorado, 640.

Tobler, W.R., 1970. A Continuous Transformation Useful for Districting. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 215–220.

Urbański, J., 2011. *GIS w badaniach przyrodniczych*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk, 252.

Zawadzki, J., 2011. *Metody geostatystyczne dla kierunków przyrodniczych i technicznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 132.

<https://support.esri.com/en-us/bug/unable-to-extrapolate-the-values-on-a-geostatistical-an-bug-000109393>