

Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie

# Geostatystyka – modelowanie zawartości ozonu

Zastosowanie GIS w badaniach przyrodniczych, Ćwiczenie 13

Na podstawie materiałów szkoleniowych ESRI.  
Wyłącznie do użytku wewnętrznego AGH.

2021-10-26

## Wprowadzenie

Jeśli nie wykonałeś dotąd poprzednich etapów ćwiczenia z działu Geostatystyka, wróć teraz do nich.

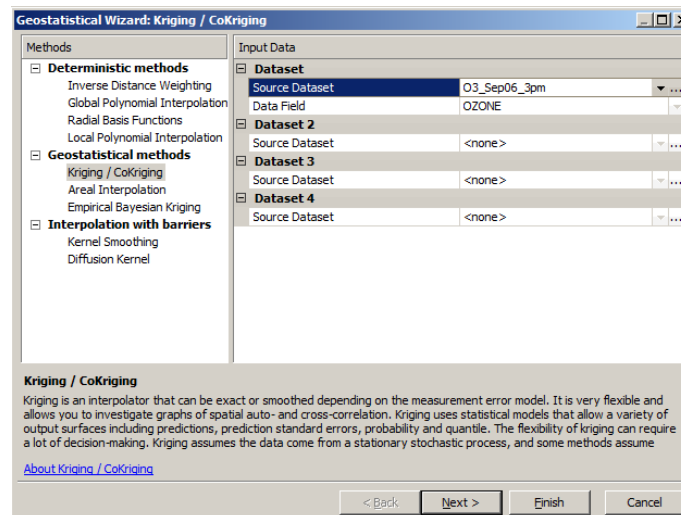
W ćwiczeniu 1-szym, do interpolacji stężenia ozonu użyto domyślnych parametrów. Nie badano statystycznych właściwości danych. W ćwiczeniu 2, w trakcie badań wartości ozonu w punktach opróbowania, okazało się, że dane wykazują istnienie trendu. Mamy też w nich do czynienia z wpływem kierunku obserwacji. Pozyskane informacje mogą zostać włączone do modelu interpolacyjnego. W tym ćwiczeniu:

- ✓ udoskonalimy mapę stężenia ozonu utworzoną w ćwiczeniu 1,
- ✓ zostaniemy wprowadzeni w kilka podstawowych koncepcji geostatystycznych.

Ponownie użyjemy metody interpolacyjnej kriging zwyczajny (ang. *ordinary kriging*), ale tym razem, w celu lepszej predykcji, uwzględnimy w modelu trend i anizotropię. Kriging zwyczajny jest najprostszym estymatorem geostatystycznym, ponieważ liczba jego założeń jest najmniejsza.

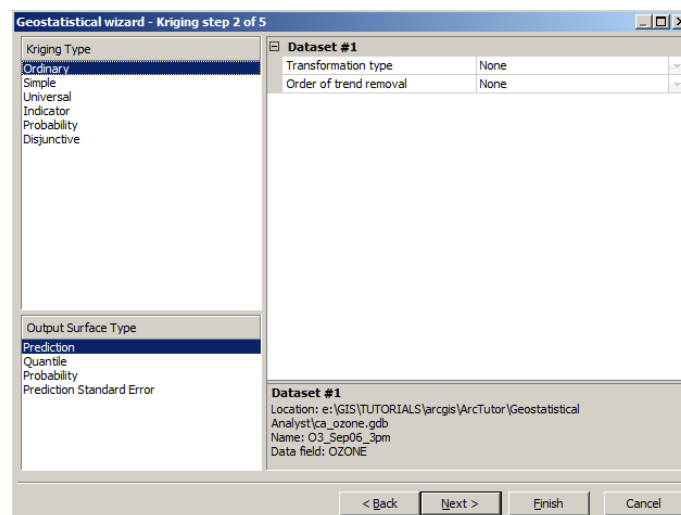
### 1. Początek analizy

- 1.1. Jeśli zamknąłeś poprzednią sesję ArcMap, uruchom program ponownie i otwórz plik projektowy `Ozone Prediction Map.mxd`.
- 1.2. Upewnij się, że żaden z punktów reprezentujących pomiary ozonu nie jest zaznaczony. Jeśli są, wyczyść zaznaczenia, klikając narzędzie *Wyczyść Wybrane Obiekty* (*Clear Selected Features*) znajdujące się na pasku narzędzi *Narzędzia* (*Tools*).
- 1.3. Na pasku narzędzi *Geostatistical Analyst* wybierz *Geostatistical Analyst > Geostatistical Wizard*.
- 1.4. W polu listy *Metody* (*Methods*), wybierz Kriging/Cokriging.
- 1.5. Z listy rozwijanej *Dane Wejściowe* (*Source Dataset*) wybierz klasę `O3_Sep06_3pm`.
- 1.6. Z listy rozwijanej *Pole Danych* (*Data Field*), wybierz atrybut `OZONE` (Fig. 1).



**Fig. 1. Okno dialogowe *Geostatistical Wizard* z wybranym zbiorem danych**

- 1.7. Kliknij *Dalej (Next)*.
- 1.8. Wybieramy *Kriging Zwyczajny (Ordinary Kriging)* i rodzaj wyjścia *Predykcja (Prediction)* (Fig. 2).

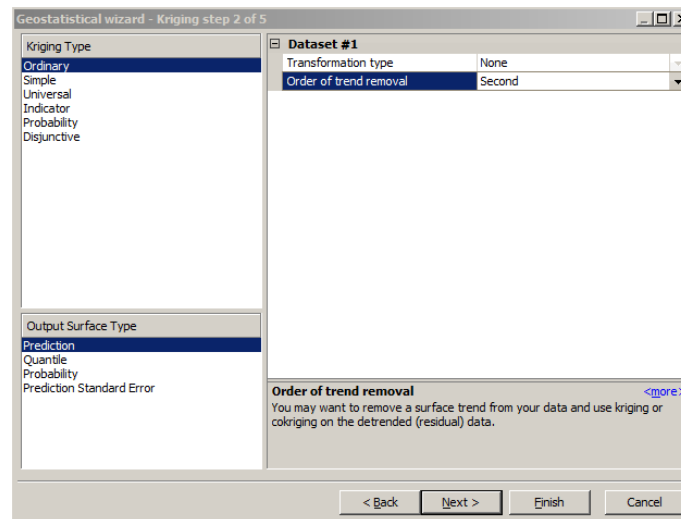


**Fig. 2. Okno dialogowe *Geostatistical Wizard* z wybranym rodzajem interpolacji i rodzajem danych wyjściowych**

W wyniku eksploracji danych dokonanej w ćwiczeniu 2 odkryliśmy istnienie regionalnego trendu. W wyniku analizy ustalono, że można go będzie skutecznie aproksymować za pomocą wielomianu 2-go rzędu. Trend zostanie przedstawiony za pomocą wzoru matematycznego i za jego pomocą usunięty z danych.

Gdy tendencja zostanie usunięta, analiza statystyczna zostanie przeprowadzona na resztkach (ang. *residuals*), cechujące się względnie niewielką zmiennością lokalną. Aby modelowanie przyniosło oczekiwane rezultaty, powierzchnia trendu zostanie ponownie automatycznie dodana do powierzchni geostatystycznej bezpośrednio przed utworzeniem ostatecznej mapy wynikowej.

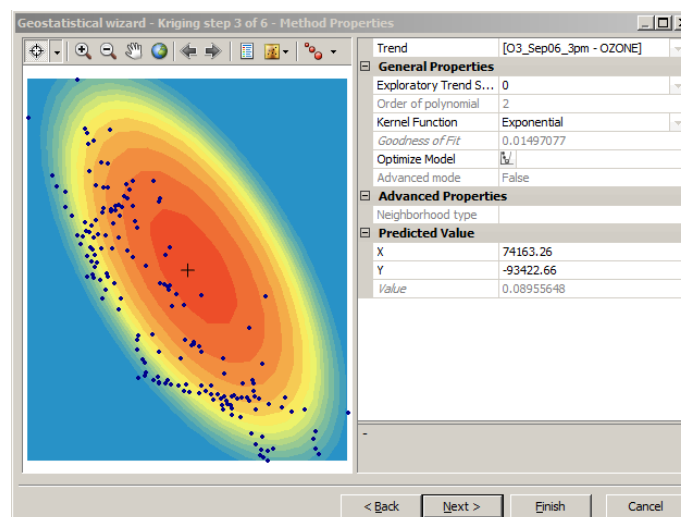
- 1.9. Z listy rozwijanej *Stopień usuwania trendów (Order of trend removal)* wybierz *Drugi (Second)* (Fig. 3).



**Fig. 3. Okno dialogowe *Geostatistical Wizard* z wybranym rodzajem wielomianu modelującego powierzchnię trendu**

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

Domyślnie *Geostatistical Analyst* przedstawia globalny trend w zbiorze danych. W nawiązaniu do kształtu elipsy przedstawionej w kreatorze geostatystycznym, najszybsza zmiana zawartości ozonu w powietrzu występuje na osi południowy-zachód – północny-wschód i znacznie wolniej w kierunku północny-zachód – południowy-wschód (Fig. 4).



**Fig. 4. Okno dialogowe *Geostatistical Wizard*, 3-ci krok deklaracji parametrów analizy ukazujący generalną powierzchnię trendu aproksymowaną wielomianem 2-go rzędu**

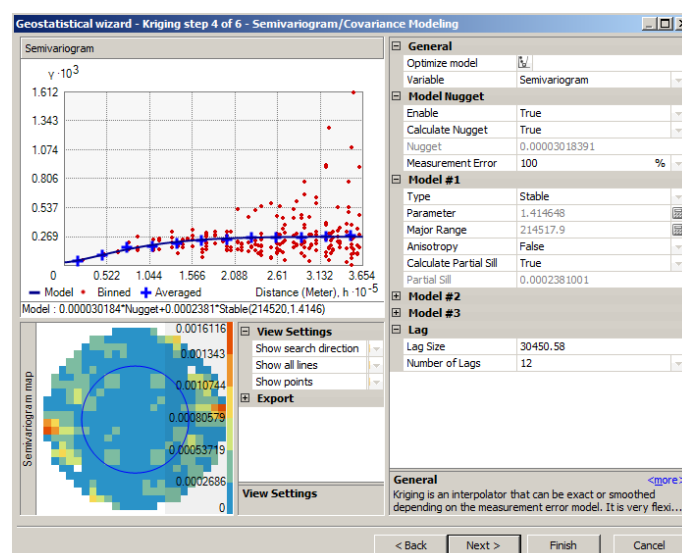
Trendy powinny być usunięte tylko wtedy, gdy jest to uzasadnione. Trend zmienności jakości powietrza południowy-zachód – północny-wschód można przypisać zmienności występującej pomiędzy górami, a wybrzeżem oceanu. Wzniesienia i dominujący kierunek wiatru są czynnikami wpływającymi na stosunkowo niskie

zawartości ozonu w górach i na wybrzeżu. Wysokie koncentracje ludzkich siedlisk powodują wzrost poziomu zanieczyszczeń pomiędzy górami a wybrzeżem. Usprawiedliwia to usunięcie trendu.

1.11. Kliknij przycisk *Dalej (Next)*.

## 2. Modelowanie semiwariogramu/kowariancji

Korzystając w ćwiczeniu 2 z narzędzia chmury semiwariogramu/kowariancji, staraliśmy się określić zakres autokorelacji przestrzennej danych próbkowych. W tym celu badano wartości semiwariogramu (na osi 0Y), odzwierciedlające zróżnicowanie kwadratów różnic zawartości ozonu w parach punktów oddalonych od siebie o różne odległości. Celem modelowania semiwariogramu jest dobranie najlepiej dopasowanego modelu matematycznego do wartości punktowych semiwariogramu próbkowego (niebieska krzywa na Fig. 5). Semiwarogram jest graficzną formą opisu korelacji przestrzennej danych.

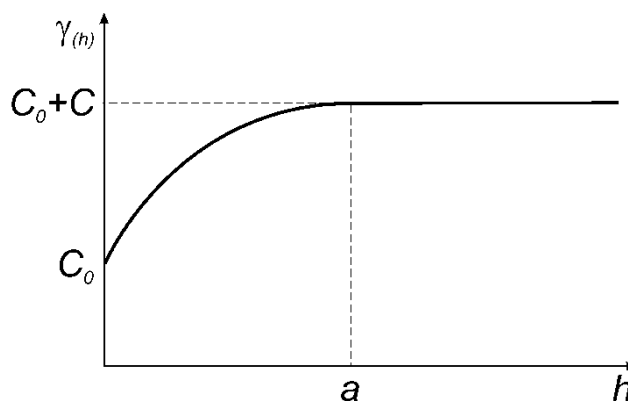


**Fig. 5. Okno dialogowe *Geostatistical Wizard*, modelowanie semiwariogramu empirycznego**

Okno dialogowe *Modelowanie Semiwariogramu/Kowariancji* umożliwia dopasowanie modelu relacji przestrzennych. Aplikacja określi najpierw odpowiednie wielkości **zakresów odległości** ( $\Delta h$ , in. zakres kroków, ang. *lag distance*) dla grupowania wartości semiwariogramu. Zakres odległości to szerokość klasy odległości, w której punkty (pary lokalizacji z chmury wartości semiwariogramu) są grupowane w celu zmniejszenia ich liczby. W ćwiczeniu 2, chmura semiwariogramu wyświetlała jeden czerwony punkt dla każdej pary punktów zbioru danych. Teraz, naszym celem jest dopasowanie matematycznego modelu do tych punktów. Aby uzyskać jaśniejszy obraz semiwariogramu, wartości semiwariogramów próbkowych (czerwone punkty) są

grupowane w zależności od odległości, z którą są związane. Punkty są dzielone na przedziały (kroki), a zakres odległości ( $\Delta h$ ) określa szerokość każdego przedziału.

W wyniku podziału punktów semiwariogramów na przedziały i w wyniku uśrednienia ich wartości (w przedziałach), w semiwariogramie próbkowym znajdzie się znacznie mniej punktów niż w chmurze semiwariogramu. Okno dialogowe *Modelowanie Semiwariogramu/Kowariancji* wyświetla wartości semiwariogramu jako powierzchnię (mapa u dołu, po lewej stronie okna dialogowego) oraz jako wykres rozrzutu pokazujący średnie wartości semiwariogramu dla kolejnych przedziałów odległości (Fig. 5). Domyślnie dopasowywane są tzw. semiwariogramy **wielokierunkowe** (ang. *omnidirectional*). Istnieje kilka rodzajów funkcji matematycznych, które są dozwolone w trakcie modelowania. Decyzja o wyborze jednej z nich jest uzależniona od jakości dopasowania do wartości semiwariogramu empirycznego. Modele semiwariogramów charakteryzują następujące cechy: **efekt samorodków** (ang. *nugget*), **zakres** (ang. *range*), **próg** (ang. *sill*) i jego **kształt** (Fig. 6). Zauważ, że przy mniejszych odległościach, model semiwariogramu wzrasta stromo, a następnie wyrównuje się. Zakres ( $a$ ) to dystans, w którym semiwariogram się wyrównuje osiągając poziom wariancji próbkowej. Spłaszczenie tego semiwariogramu wskazuje, że poza zakresem ( $a$ ) występuje już bardzo niewielka autokorelacja w wartościach atrybutu.



**Fig. 6. Przykładowy model semiwariogramu.  $C_0$  – efekt samorodków (zmiennosc lokalna);  $a$  – zakres (zasięg autokorelacji);  $C_0 + C$  – próg (amplituda)**

Algorytm dopasowania, w rzeczywistości używa zmiennych zakresów odległości ( $\Delta h$ ), co pozwala na precyzyjne odwzorowanie przestrzennej autokorelacji, zwłaszcza w przedziale krótkich odległości (które są najważniejsze dla interpolacji). Wartości semiwariogramów dla kolejnych kroków ( $\Delta h$ ) można wyeksportować, wybierając *Zapisz wartości geometryczne jako tabelę* (*Save geometrical values as table*) w polu *Eksportuj* (*Export*) > *Wariografia* (*Variography*) i następnie wizualizować je w innym programie np. MS Excel lub GS Grapher.

W wyniku usunięcia trendu, semiwariogram z Fig. 5 modeluje przestrzenną autokorelację pomiędzy punktami danych bez uwzględnienia tej tendencji. Odjęty trend

zostanie automatycznie dodany do obliczeń, bezpośrednio przed utworzeniem powierzchni końcowej.

Kolorowe pola na mapie semiwariogramów reprezentują wartości semiwariogramów empirycznych wyliczone dla odpowiednich przedziałów odległości pomiędzy parami punktów oraz dla odpowiednich kierunków obserwacji. Skala odległości zmienia się od 0 (w środku mapy semiwariogramu) do maksymalnej odległości pomiędzy parami punktów. Oś pionowa mapy pokrywa się z kierunkiem N-S, zaś pozioma z W-E. Wartości każdej komórki są oznaczona kolorem. Niższe wartości semiwariogramów wyświetlane są w kolorach niebieskim i zielonym, a wyższe na pomarańczowo i czerwono. Każda komórka mapy semiwariogramów reprezentuje wartości uśrednione oznaczone na wykresie semiwariogramu jako czerwone punkty. Wartości semiwariogramów obliczone dla różnych kierunków obserwacji zostają dla każdego kroku ( $\Delta h$ ) uśrednione i są przedstawione na wykresie semiwariogramu jako niebieskie krzyżyki (Fig. 5).

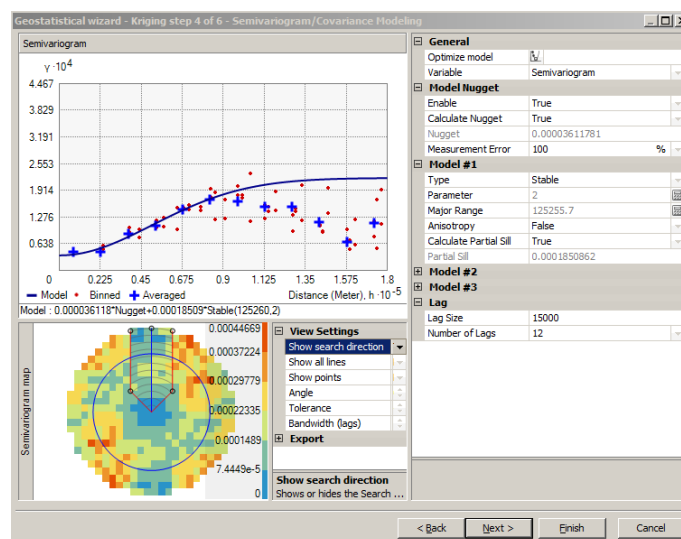
W przypadku danych zawartości ozonu, semiwariogram rozpoczyna się na niewielkich odległościach pomiędzy próbami (wartości ozonu pomierzone w punktach opróbowania położonych bliskich siebie są bardzo podobne) i wzrasta wraz ze wzrostem odległości (wartości ozonu różnią się znacznie od siebie). Patrząc na mapę semiwariogramów zauważmy, że różnica pomiędzy wartościami ozonu wzrasta szybciej w kierunku zachód-wschód niż w kierunku północ-południe. W poprzednim kroku kreatora geostatystycznego usunęliśmy regionalno-skalowy trend. Teraz ciągle wydaje się, że w autokorelacji nadal mamy element kierunkowy zmienności. Dodamy ją do modelu w następnym kroku.

### 3. Semiwariogramy kierunkowe

Zmienność kierunkowa wpływa na punkty semiwariogramu próbkowego i dopasowany do niego model. W pewnych kierunkach elementy bliskie sobie nawzajem mogą być bardziej do siebie podobne niż w innych kierunkach. Geostatistical Analyst może uwzględniać anizotropię w modelu semiwariogramu. Anizotropia może być spowodowana przez wiatr, spływ powietrza, struktury geologiczne i wiele innych procesów. Wpływ kierunkowy można statystycznie określić ilościowo i uwzględnić podczas procesu tworzenia mapy.

Za pomocą narzędzia *Kierunek Wyszukiwania* (*Search Direction*) możemy zbadać zróżnicowanie zmiennej w określonych kierunkach. Pozwala to na zbadanie wpływu kierunków na wykres semiwariogramu. Nie ma wpływu na powierzchnię wyjściową.

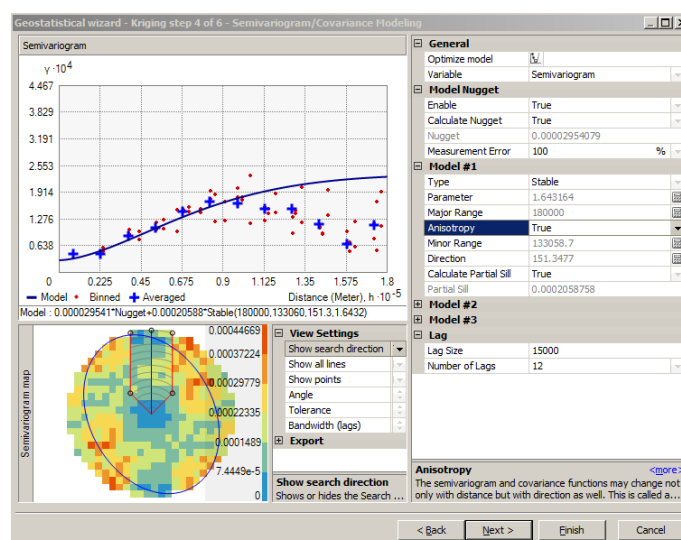
- 3.1. Wpisz nową wartość zasięgu semiwariogramu (*Lag size*) 15000 [m] (Fig. 7). Zmniejszenie go mniej więcej o połowę powoduje, że powiększamy model aby móc szczegółowo zbadać lokalną zmienności danych przestrzennych.
- 3.2. Zmień opcję *Pokaż kierunek wyszukiwania* (*Show search direction*) z „False” na „True”. Zwróć uwagę na zmniejszenie liczby wartości semiwariogramów (czerwone punkty). Na wykresie widoczne są teraz tylko te punkty, które są zgodne z kierunkiem wyszukiwania.



**Fig. 7. Okno dialogowe *Geostatistical Wizard*, modelowanie semiwariogramu kierunkowego**

- 3.3. Na mapie semiwariogramów kliknij i przytrzymaj wskaźnik myszy na środkowej niebieskiej linii narzędzia *Kierunek wyszukiwania*. Zmień kierunek wyszukiwania, przeciągając linię środkową. Zmieniając kierunek wyszukiwania, zauważ, jak zmienia się wykres semiwariogramu. Na wykresie semiwariogramu znajdującym się powyżej wykreślane są tylko wartości semiwariogramów w kierunku wyszukiwania. Aby uwzględnić w modelowaniu wpływ anizotropii, należy z odpowiedniej opcji wybrać obliczanie anizotropowego modelu semiwariogramu lub kowariancji.
- 3.4. Zmień opcję *Anizotropia* (*Anisotropy*) z „False” na „True”.

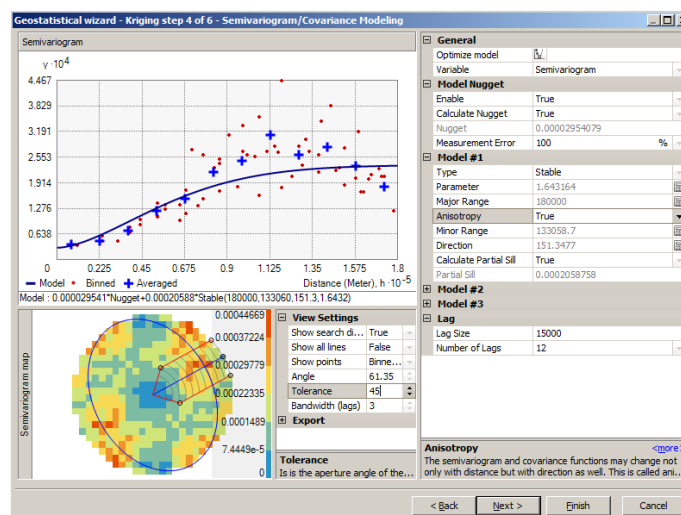




**Fig. 8. Okno dialogowe *Geostatistical Wizard*, z włączonym modelowaniem semiwariogramu kierunkowego**

Niebieska elipsa na powierzchni mapy semiwariogramu wskazuje zasięg semiwariogramu w różnych kierunkach. W tym przypadku główna oś leży w przybliżeniu w kierunku NNW-SSE. W celu dostosowania procedury modelowania do anizotropowego charakteru autokorelacji, włączono anizotropię.

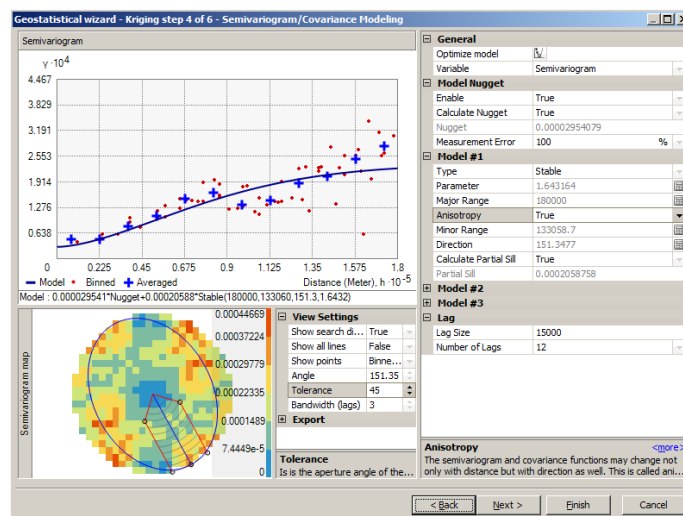
- 3.5. W polu *Ustawienia widoku* (*View Settings*), aby wskaźnik kierunku pokrywał się z krótszą osią elipsy anizotropii, zmień kąt kierunku wyszukiwania z 0 na 61,35 (Fig. 9).



**Fig. 9. Okno dialogowe *Geostatistical Wizard*, z ustawieniem kierunku obserwacji wzdłuż kierunku największej zmienności analizowanego parametru (kąt 61,35°)**

Zauważ, że krzywa semiwariogramu próbkowego (niebieskie krzyżyki) wzrasta teraz szybciej do jego wartości progowej. Współrzędne X i Y są wyrażone w metrach, więc zakres ( $a$ ) w tym kierunku wynosi około 110 km.

- 3.6. Aby wskaźnik kierunku pokrywał się z dużą osią elipsy anizotropii, zmień kąt kierunku wyszukiwania z 61.35 na 151.35 (Fig. 10).

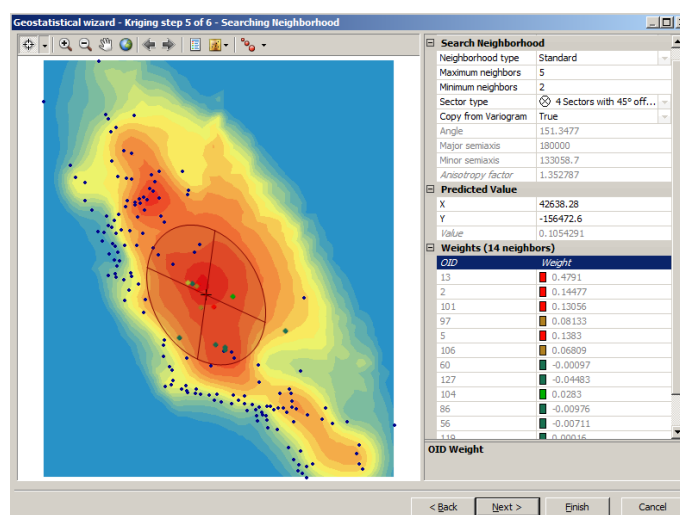


**Fig. 10. Okno dialogowe *Geostatistical Wizard*, z ustawieniem kierunku obserwacji wzdłuż kierunku najmniejszej zmienności analizowanego parametru (kąt 151,35°)**

Model semiwariogramu znowu rośnie stopniowo, a następnie się wypłaszcza. Zakres ( $a$ ) w tym kierunku wynosi około 180 km (Fig. 10). Wypłaszczoną wartość semiwariogramu, którą modele w obu przypadkach osiągają w krokach 13 i 14 nazywamy progiem ( $C_0 + C$ ; ang. *sill*; zob. Fig. 6). Zakres ( $a$ ; ang. *range*) jest odległością, w której model osiąga próg. Poza zakresem ( $a$ ), zmienność parametru pomiędzy punktami opróbowania staje się w przybliżeniu stała i równa wariancji próbkowej. Wartości analizowanego parametru w punktach położonych od siebie w odległości większej od zakresu są ze sobą nieskorelowane. Dlatego zakres ( $a$ ) nazywamy **progiem autokorelacji**.

Efekt samorodków (ang. *Nugget effect*) reprezentuje błąd pomiaru i/lub zmienność lokalną. Jeśli dysponujemy wieloma obserwacjami w danej lokalizacji, możliwe jest oszacowanie błędu pomiaru. Zmienność efektu samorodków możemy też rozłożyć na błąd pomiaru oraz zmienność lokalną.

- 3.7. Kliknij przycisk *Dalej* (*Next*) (Fig. 11).



**Fig. 11. Okno dialogowe *Geostatistical Wizard*, z ustawieniami okna wyszukiwania**

Posiadamy teraz model opisujący autokorelację przestrzenną i uwzględniający trend i anizotropię danych. Informacje te, wraz z konfiguracją i pomiarami posłużą do ekstrapolacji powierzchni zmienności parametru. Ale które z pomierzonych wartości mają bezpośrednio wpływać na estymowane fragmenty powierzchni interpolacyjnej?

#### 4. Wyszukiwanie sąsiedztwa

W celu ograniczenia liczby punktów biorących udział geostatystycznej estymacji wartości parametru w danej lokalizacji, definiowane są okręgi (lub elipsy). Wszystkie punkty o znanych wartościach parametru, które znajdują się wewnątrz tak zdefiniowanych obszarów wyszukiwania będą uwzględnione w estymacji. Dodatkowo, aby uniknąć stronniczości w określonym kierunku, okrąg (lub elipsa) można podzielić na sektory, do których trafi taka sama liczba punktów. Korzystając z okna dialogowego *Wyszukiwanie sąsiedztwa* (*Searching Neighborhood*), możesz określić liczbę punktów (maksymalnie 200), promień (dłuższej/krótszej osi) oraz liczbę sektorów okręgu (lub elipsy), które mają być użyte do estymacji.

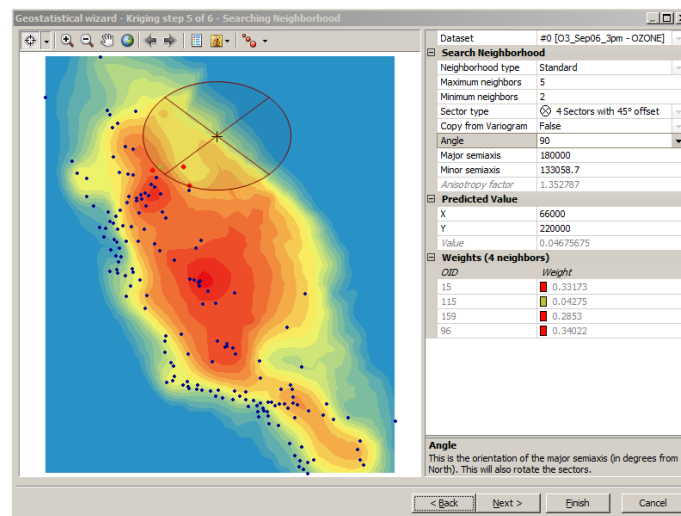
W oknie widoku danych widzimy elipsę podzieloną na cztery ćwiartki z krzyżem w środku. Krzyż oznacza miejsce estymacji. Punkty wybrane elipsą posiadają przypisane wagi, które będą powiązane z każdą pomierzoną wartością próbkową. W sytuacji zobrazowanej na Fig. 11, łączna waga czterech punktów pomiarowych oznaczonych na czerwono wynosi nieco ponad 8,9%. Im większa waga, tym większy wpływ próby na estymowaną wartość wskazywaną krzyżem.

- 4.1. Wewnątrz okna dialogowego *Geostatistical Wizard*, kliknij w dowolnym miejscu na mapie, aby wybrać lokalizację estymacji (położenie krzyżyka).

Zauważ, że zmiana lokalizacji powoduje zmianę zestawu punktów na podstawie których dokonywana będzie estymacja oraz zmianę wag, z którymi powiązane będą odpowiednie dane próbkowe.

- 4.2. W polu *Wartość estymowana (Predicted Value)*, wpisz dla X 66000 i dla Y 220000.
- 4.3. Zmień opcję *Kopiuj z Wariogramu (Copy from Variogram)* na „False” i w polu tekstowym *Kąt (Angle)* wpisz 90.

Zauważ, jak zmienił się kształt elipsy wyszukiwania (Fig. 12).



**Fig. 12.** Okno dialogowe *Geostatistical Wizard*, ze zmienioną geometrią okna wyszukiwania

Jak widać możemy dowolnie zmieniać geometrię okna wyszukiwania.

- 4.4. Aby jednak uwzględnić wpływy kierunkowe, należy przywrócić opcję *Kopiuj z Wariogramu* na „True”.
- 4.5. Kliknij przycisk *Dalej (Next)*.

Zostanie wyświetlone okno dialogowe Walidacja krzyżowa (ang. *Cross Validation*; Fig. 13).

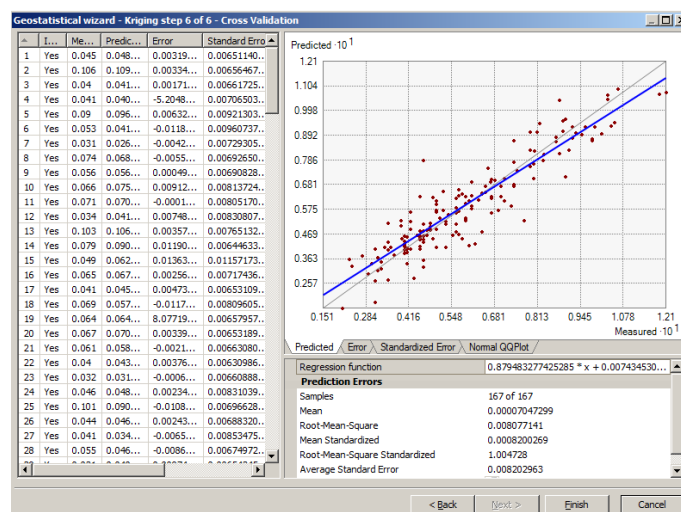


Fig. 13. Okno dialogowe **Geostatistical Wizard**, etap cross-walidacji

Przed ostatecznym utworzeniem powierzchni geostatystycznej, w celu przeprowadzenia diagnostyki jakości użytego modelu, należy użyć procedury sprawdzającej nazywanej Walidacją krzyżową.

## 5. Walidacja krzyżowa

Celem **walidacji krzyżowej** (ang. *Cross Validation*) jest pomoc w podjęciu świadomej decyzji dotyczącej wyboru najlepszego modelu geostatystycznego, czyli takiego, który dostarcza najbardziej wiarygodnych prognoz. Przeprowadzenie testu daje odpowiedź na pytanie: jak dobrze model przewiduje nieznane wartości parametru. Walidacja krzyżowa sekwencyjnie pomija punkt w zbiorze danych i następnie, za pomocą pozostałych danych, przewiduje jego wartość za pomocą przyjętego modelu zmienności geostatystycznej. W następnym kroku analizy porównywane są wartości rzeczywiste parametru i wartości estymowane (różnica pomiędzy wartościami zmierzoną i przewidywaną nazywana jest **błędem predykcji**). Statystyki obliczone na podstawie błędów predykcji służą jako diagnostyki wskazującej czy przyjęty model jest wystarczająco dokładny aby za jego pośrednictwem generować powierzchnię interpolacyjną.

Aby ocenić, czy model dostarcza odpowiednio dokładnych prognoz, weryfikujemy:

**błąd średni ME** (ang. *mean error*) – wskazuje na średnią różnicę między wartością przewidywaną i zmierzoną (jego wartość powinna być bliska 0)

$$\frac{\sum_{i=1}^n R(x_i)}{n}$$

$R(x_i)$  – wartość rezyduum w punktach opróbowań

$n$  – liczba prób

**błąd średni kwadratowy MSE** (ang. *mean squared error*) – informuje, w jakim stopniu wartości szacowane są zbliżone do rzeczywistych (powinien być równy wariancji).

$$\frac{\sum_{i=1}^n [R(x_i)]^2}{n}$$

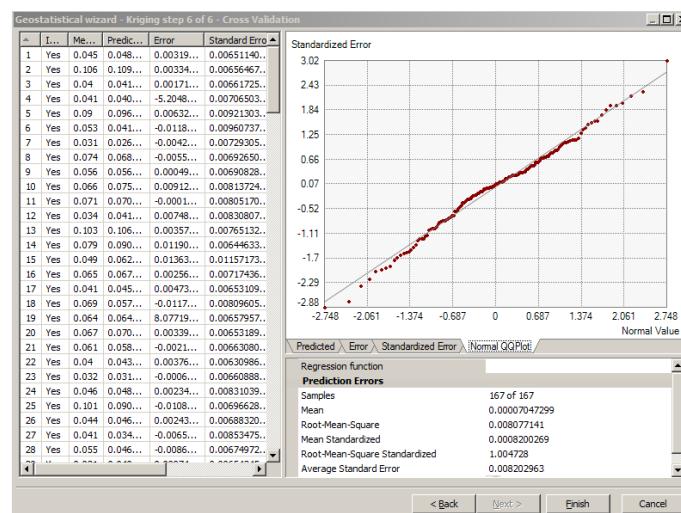
**błąd średni kwadratowy standaryzowany MSDR** (ang. *mean squared standardized error*) – sygnalizuje przeszacowanie lub niedoszacowanie wartości estymowanych w stosunku do rzeczywistych (powinien być zbliżony do 1; jeśli jest mniejszy niż 1 wówczas mamy do czynienia z przeszacowaniem w przewidywaniu, natomiast jeśli jest większy niż 1 – zmienna jest niedoszacowana)

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[R(x_i)]^2}{\sigma_i^2}$$

$\sigma_i^2$  – wariancja krigingu

Okno dialogowe *Walidacja Krzyżowa (Cross Validation)* umożliwia również wyświetlanie wykresów rozproszenia wskazujących błąd, znormalizowany błąd oraz wykres QQ dla każdego punktu danych.

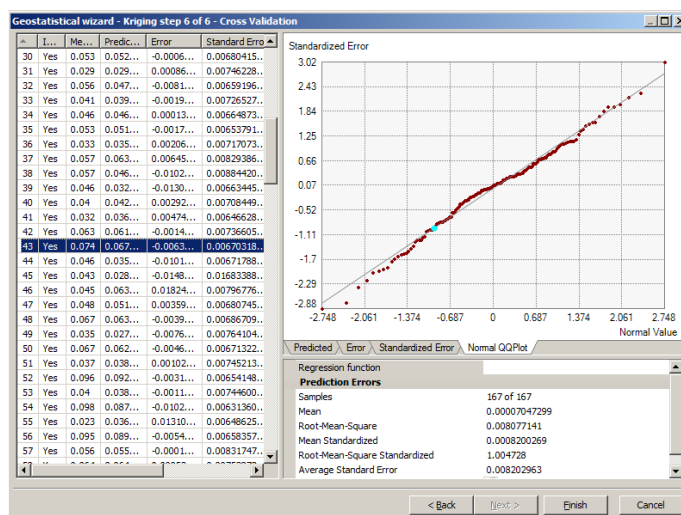
5.1. Aby wyświetlić wykres QQ, wybierz zakładkę *Normal QQPlot* (Fig. 14).



**Fig. 14. Okno dialogowe cross-walidacji, wykres QQ**

Z wykresu QQ widać, że niektóre wartości występują nieco ponad linią, a niektóre nieco poniżej linii, ale większość punktów leży bardzo blisko linii. Wskazuje to, że rozkład błędów predykcji jest zbliżony do rozkładu normalnego.

5.2. Aby zbadać lokalizację dla określonego punktu, kliknij odpowiedni wiersz w tabeli. Wybrany punkt zostaje zaznaczony na zielono na wykresie QQ (Fig. 15).



**Fig. 15.** Okno dialogowe cross-walidacji, na wykresie QQ zaznaczono błąd estymacji punktu nr 43

- 5.3. Opcjonalnie, aby zapisać tabelę wynikową cross-walidacji w celu dalszej analizy wyników, w polu *Błędy Prognozy (Prediction Errors)*, kliknij ikonę *Eksportuj Tabelę Wyników (Export Result Table)*.

- 5.4. Kliknij przycisk *Zakończ*.

W oknie dialogowym *Report Metody (Method Report)* przedstawiono podsumowanie modelu, który wykorzystamy do utworzenia powierzchni geostatystycznej (Fig. 16).

**Input datasets**

Dataset: e:\GIS\TUTORIALS\arcgis\ArcTutor\Geostatistical Analyst\ca\_ozone.gdb\O3\_Sep06\_3pm  
 Type: Feature Class  
 Data field 1: OZONE  
 Records: 167

**Method: Kriging**

Type: Ordinary  
 Output type: Prediction

**Dataset #**: 1

Trend type: Second

**Trend removal**: Local Polynomial Interpolation

Power: 2  
 Output type: Prediction  
 Exploratory trend surface analysis: 0

**Searching neighborhood**: Standard

Neighbors to include: 5  
 Include at least: 2  
 Sector type: Four and 45 degree  
 Major semiaxis: 180,000  
 Minor semiaxis: 133,058.68675976514  
 Angle: 151.34765625

**Variogram**: Semivariogram

Number of lags: 12  
 Lag size: 15,000  
 Nugget: 2.954079187324657e-005  
 Measurement error %: 100

**Model type**: Stable

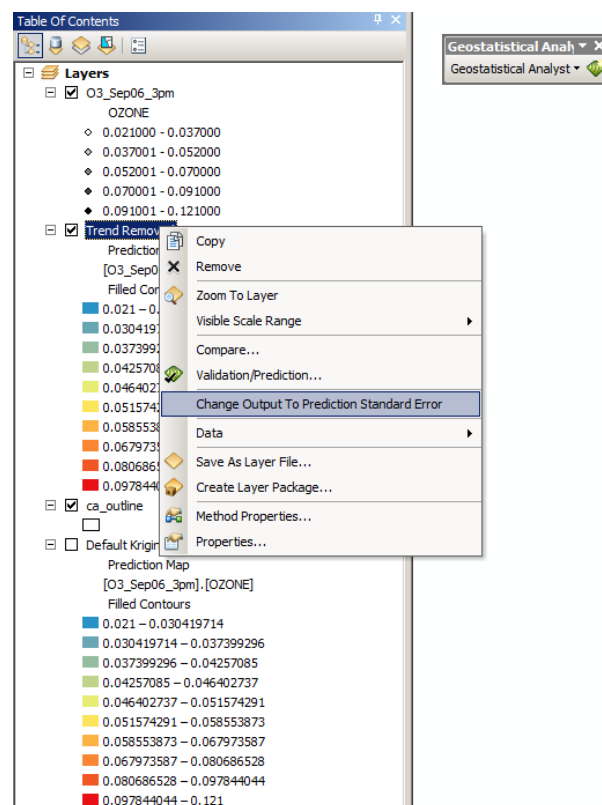
Parameter: 1.6431640625  
 Range: 180,000  
 Anisotropy: Yes  
 Minor range: 133,058.68675976514  
 Direction: 151.34765625  
 Partial sill: 0.000205875829

**Fig. 16.** Raport estymacji

- 5.5. Kliknij przycisk *OK*.

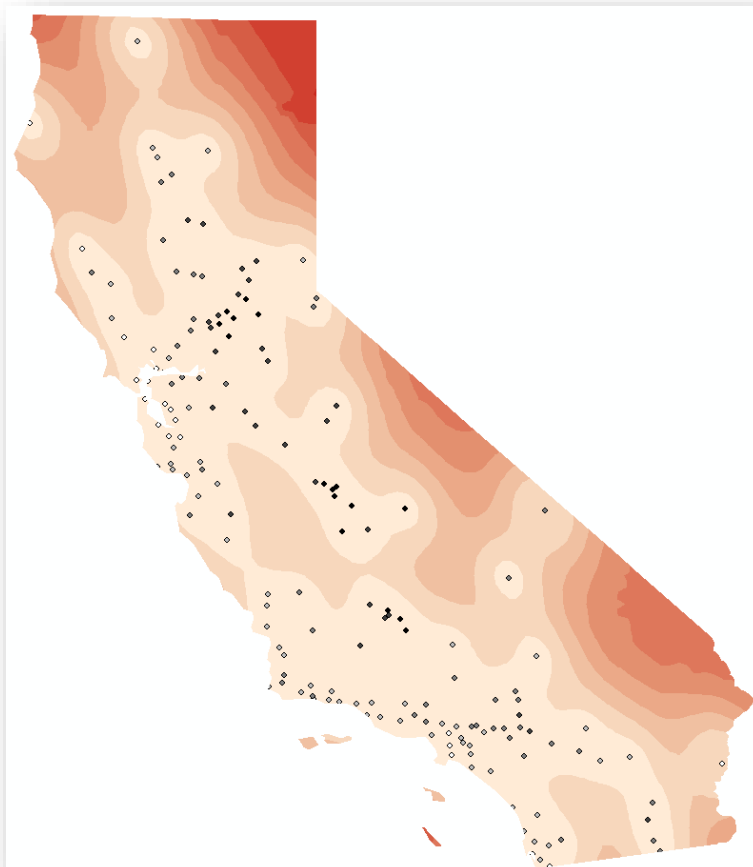
Mapa Prognoz zawartości ozonu w atmosferze pojawi się jako najwyższa warstwa w tabeli zawartości. Domyślna nazwa warstwy nawiązuje do wykorzystywanej metody interpolacji (np. Kriging).

- 5.6. Kliknij nazwę warstwy i zmień ją na *Trend Removed*.
- 5.7. Aby rozszerzyć powierzchnię prognozy tak, aby obejmowała cały obszar stanu Kalifornia, kliknij ppm warstwę *Trend Removed*, z menu kontekstowego wybierz *Właściwości*, a następnie wybierz zakładkę *Zakres (Extent)*. W sekcji *Ustaw zakres na (Set the extent to)*, określ rozmiar prostokątny *ca\_outline (rectangular extent of ca\_outline)* i kliknij przycisk *OK*.
- 5.8. Aby zobaczyć punkty opróbowania na interpolowanej powierzchni, przeciągnij warstwę *O3\_Sep06\_3pm* na samą górę tabeli zawartości.
- 5.9. Kliknij ppm utworzoną warstwę *Trend Removed*, a następnie kliknij polecenie *Zmień dane wyjściowe na standardowy błąd prognozy (Change output to Prediction Standard Error)* (Fig. 17).



**Fig. 17. Zmiana mapy powierzchni geostatystycznej na mapę standardowych błędów prognozy**





**Fig. 18. Mapa standardowych błędów prognozy**

- 5.10. Kliknij ppm utworzoną warstwę *Trend Removed* i aby powrócić do mapy predykcji zawartości ozonu, z menu kontekstowego wybierz polecenie *Zmień dane wyjściowe na prognozę (Change output to Prediction)*.
- 5.11. Kliknij polecenie *Zapisz* znajdujące się na standardowym pasku narzędzi.

Mapa rozkładu błędów standardowych prognozy (Fig. 18) ilościowo określa niepewność predykcji dla każdej lokalizacji. W warunkach rozkładu normalnego danych, w 95% estymowanych lokalizacji, prawdziwa wartość zawartość ozonu w atmosferze będzie się znajdowała wewnątrz przedziału utworzonego przez tą wartość  $\pm 2$  razy przewidywaną wartość błędu standardowego prognozy. Zauważ, że na powierzchni rozkładu błędów standardowych prognozy, w pobliżu punktów opróbowania, wartość błędu jest najniższa.

Powierzchnia utworzona w ćwiczeniu 1 wykorzystywała ustawienia domyślne *Kreatora Geostatystyki* i nie uwzględniała istnienia trendu, przy modelowaniu nie wykorzystywała mniejszych przedziałów odległości i nie korzystała z anizotropowego modelu semiwariogramu. Powierzchnia predykcji utworzona w tym ćwiczeniu wzięła pod uwagę trend i skorygowała model o anizotropię.

W ćwiczeniu 4 porównamy dwa modele, aby sprawdzić, który z nich zapewnia lepszą predykcję nieznanymi wartościami ozonu.

## 6. Bibliografia

Johnston K., Ver Hoef J.M., Krivoruchko K., Lucas N., 2001. *Using ArcGIS™ Geostatistical Analyst*. ESRI, New York, 300.

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

Geostatistical Analyst Tutorial, Esri.