

## ZASTOSOWANIE „KOREKTY EFEKTU WYGŁADZENIA” W BADANIACH FORM GEOMORFOLOGICZNYCH

### APPLICATION OF “CORRECTION OF THE SMOOTHING EFFECT” IN INVESTIGATION OF GEOMORPHOLOGICAL FORMS

Adrian Zarychta<sup>1</sup>, Roksana Zarychta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Katedra Geologii Stosowanej

<sup>2</sup> Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Katedra Geomorfologii

**SŁOWA KLUCZOWE:** geostatystyka, kriging zwyczajny, korekta efektu wygładzenia, województwo łódzkie, wydma

**STRESZCZENIE:** Intensywne, wręcz rabunkowe wydobycie kruszyw naturalnych – m.in. piasków stosowanych do celów przemysłowych przyczynia się do znaczących zmian w krajobrazie. Na uwagę zasługuje teren województwa łódzkiego – w tym gmina Kobbiele Wielkie, w granicach której odnotowano postępującą degradację wydmy parabolicznej na skutek intensywnej eksploatacji czwartorzędowych piasków do celów budowlanych. Rabunkowa działalność gospodarcza człowieka spowodowała, a także nadal powoduje zanik pierwotnego zasięgu i kształtu wspomnianej formy geomorfologicznej. Stąd autorzy niniejszego opracowania za główny cel przyjęli odtworzenie fizjonomii wydmy parabolicznej (sprzed okresu eksploatacji) z wykorzystaniem metod geostatystycznych (w tym krigingu zwyczajnego). Przeprowadzone liczne rekonesanse terenowe miały na celu analizę i ocenę aktualnego stanu formy eolicznej oraz oszacowanie jej dawnego kształtu i zasięgu z wykorzystaniem odbiornika GPS. Z uwagi na uzyskaną niewielką liczbę punktów próbkowania utworzony hipotetyczny trójwymiarowy model badanej wydmy metodą krigingu zwyczajnego – punktowego nie przyniósł zadowalających efektów. Niemniej jednak zastosowanie korekty efektu wygładzenia zaproponowanej w 2005 r. przez J.K. Yamamoto pozwoliło na spórą redukcję powstałego „efektu zafalszowania”. W konsekwencji odtworzony kształt i zasięg analizowanej formy wyraźnie różni się od wyjściowego modelu cyfrowego. Uzyskane wyniki, a w związku z tym idealnie dopasowane wariogramy świadczą o prawidłowo wykonanej analizie geostatystycznej, a tym samym o dużej wiarygodności zbudowanego Numerycznego Modelu Terenu.

## 1. WSTĘP

Gospodarka rabunkowa skutkuje zaburzeniem fizjocenozy, co w konsekwencji przyczynia się do spadku produktywności środowiska. Obok wycinki lasów na uwagę zasługuje również intensywna eksploatacja surowców mineralnych, w tym kruszyw naturalnych, takich jak np. żwirów czy piasków.

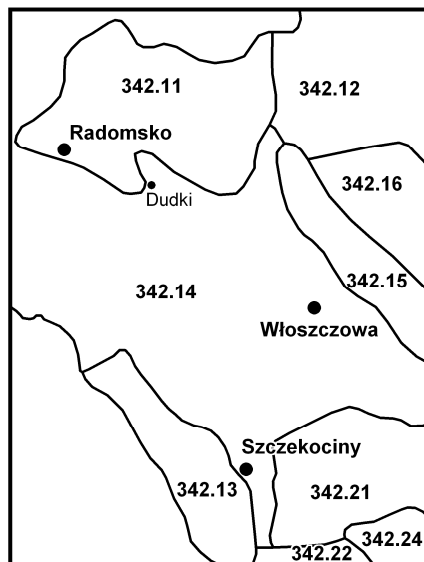
Na terenie Polski istnieje wiele powierzchni piaszczystych, z których eksploatowano niegdyś, a w wielu przypadkach nadal eksploatuje się piaski na różne cele, w tym m.in. podsadzkowe do kopalń węgla kamiennego, szklarskie czy też budowlane. Na uwagę zasługuje teren województwa łódzkiego, gdzie rejestruje się wiele powierzchni

piaszczystych z formami eolicznymi, zbudowanymi z plejstocenijskich piasków wodnolodowcowych. Stanowią one komponent środowiska przyrodniczego, w którym zapisały się zmiany zasze w przeszłości. Jednakże uwaga autorów niniejszego opracowania skupiona została na fizjonomii wydmy parabolicznej, położonej w gminie Kobiele Wielkie. Intensywna degradacja pod wpływem nadmiernego wydobycia piasku była powodem, (a także jest nadal) zaniku pierwotnego zasięgu i kształtu wspomnianej formy eolicznej. Jedynym z dotychczas powstałych opracowań przyrodniczych, które odnosi się do omawianej wydmy jest publikacja R. Zarychta i A. Zarychta (2011). Dotyczy ona przemian zaszych w jej krajobrazie wraz z analizą zmian warunków ekologicznych.

Stąd autorzy opracowania za główny cel pracy przyjęli odtworzenie zasięgu i kształtu wydmy parabolicznej, zlokalizowanej w gminie Kobiele Wielkie, we wsi Dudki pod postacią modelu cyfrowego sprzed okresu wydobycia z wykorzystaniem metod geostatystycznych, w tym krigingu zwyczajnego, wzbogaconego o zastosowanie poprawki zaproponowanej w 2005 r. przez J.K. Yamamoto.

## 1. OBIEKT BADAŃ, MATERIAŁY I METODY

Badana wydma paraboliczna zlokalizowana jest w województwie łódzkim, w gminie Kobiele Wielkie, we wsi Dudki, która według regionalizacji fizycznogeograficznej Polski J. Kondrackiego (2000) położona jest na północy Niecki Włoszczowskiej (342.14). Wspomniana wyżej Niecka wchodzi w skład Wyżyny Przedborskiej (342.1), która rozciąga się w podprovincji Wyżyna Małopolska (342.), a tym samym należy do prowincji Wyżyny Polskie (34.) (rys. 1).



Rys. 1. Położenie wsi Dudki na tle podziału fizycznogeograficznego Polski J. Kondrackiego (2000)

Rozpatrywaną formę eoliczną budują czwartorzędowe piaski eoliczne, które najprawdopodobniej wywiewne były z pola deflacyjnego, leżącego na zachód od niej. Świadczy to o dominacji wiatrów NW w momencie jej formowania (dokładny wiek wydmy nie jest znany, ponieważ do tej pory nie były prowadzone badania z zakresu jej datowania). Obecnie znajduje się tam zagłębienie terenu wypełnione wodą nazywane przez lokalną społeczność „Górnym Łukiem” (Zarychta R., Zarychta A., 2011).

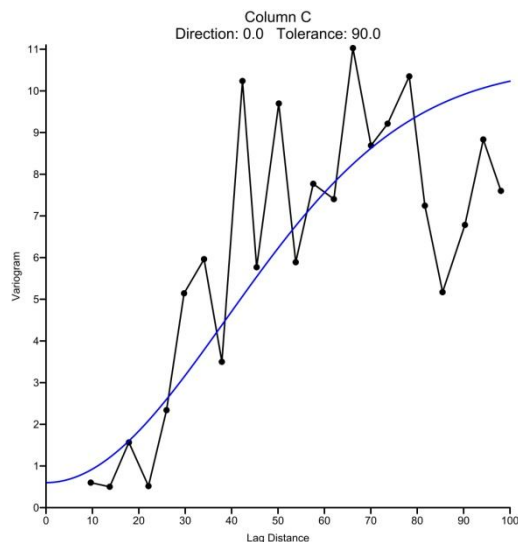
Przed przystąpieniem do odtwarzania pierwotnej rzeźby badanej wydmy parabolicznej przeprowadzono gruntowną kwerendę materiałów kartograficznych (w tym również archiwalnych). W efekcie skorzystano z Mapy Topograficznej Polski w skali 1:25 000, arkusz Strzałków oraz Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, arkusz Żytno (Hermańska, Smyka, 1990). Ponadto dokonano szczegółowej analizy literatury specjalistycznej, która dotyczyła zastosowania metod geostatystycznych w badaniach naukowych (w tym m.in.: Cichociński, 2011; Kokesz, 2010a, b; Kriege, 1951; Marmol, 2002; Matheron, 1962; Mucha *et al.*, 2011; Namysłowska-Wilczyńska, 2006; Rocha, Yamamoto, 2000; Szubert, 2003, 2007, 2008; Szulc, Narloch, 2011; Wasilewska, Mucha 2006; Yamamoto, 2000; 2005, 2007, 2008; Zawadzki, 2011).

W celu określenia hipotetycznego, pierwotnego kształtu i zasięgu wydmy przeprowadzono liczne rekonesanse terenowe, które polegały na lokalizacji tejże formy, obserwacjach, analizach oraz wykonaniu pomiarów jej parametrów z zastosowaniem odbiornika GPS (GARMIN 60 CX). Ostateczną mapę konturową wraz z Numerycznym Modelem Terenu (NMT) wygenerowano przy użyciu metod geostatystycznych – krigingu zwyczajnego – punktowego oraz poprawki zaproponowanej przez J.K. Yamamoto (2005) w celu redukcji efektu wygładzenia, powstałego w wyniku zastosowania wybranej wcześniej metody szacowania punktów. Cała procedura badań kameralnych została wykonana w programach: Surfer 8 oraz ArcGIS 10.1.

## **2. REDUKCJA „EFEKTU WYGŁADZENIA” W KRIGINGU ZWYCZAJNYM NA PRZYKŁADZIE ROZPATRYWANEJ FORMY EOLICZNEJ – WYNIKI I DYSKUSJA**

Pomiary terenowe, które polegały na określaniu dawnego zasięgu i kształtu badanej wydmy pozwoliły uzyskać zbiór 55 punktów, na podstawie których odtworzono pierwotną fizjonomię analizowanej formy eolicznej.

Pierwszym etapem całej procedury geostatystycznej było wyliczenie semiwariancji na podstawie zamarkowanych punktów w terenie. Do utworzonego wariogramu empirycznego dopasowano „ręcznie” dwa matematyczne modele teoretyczne, mianowicie model Gaussa (*Gaussian model*) oraz efekt samorodków (*nugget effect*) (rys. 2). Przy modelowaniu wariogramów uwzględniono następujące parametry modelu Gaussa: *Scale* = 10, *Lenght (A)* = 55, *Anisotropy ratio* = 1, *Anizotropy angle (degrees)* = 0 a także efektu samorodków: *Error variance* = 0,6 oraz *Micro variance* = 0.



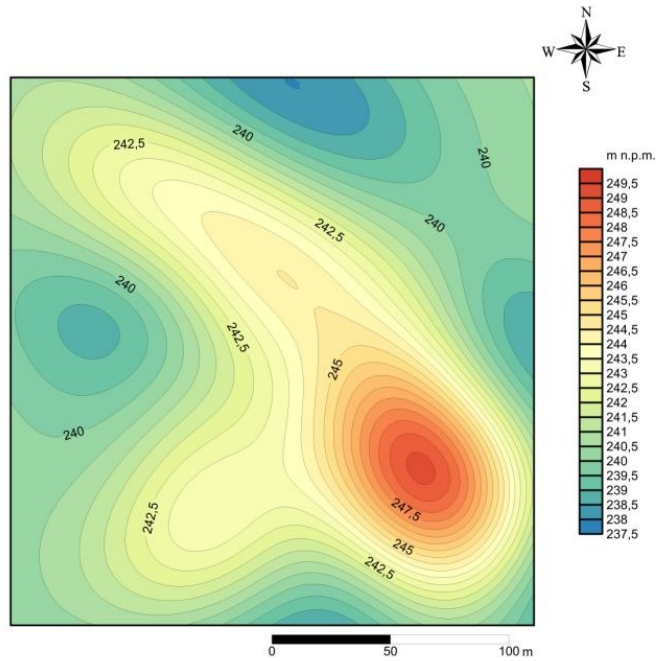
Rys. 2. Dopasowany „ręcznie” model Gaussa wraz z efektem samorodków do wariogramu empirycznego

W celu sprawdzenia poprawności dopasowania wariogramu teoretycznego do empirycznego zastosowano tzw. walidację krzyżową, sprawdzian krzyżowy (*cross-validation*) krigingu zwyczajnego – punktowego. Wyliczono wartości szacowane (estymowane) oraz rezyduum dla wszystkich 55 punktów (tabela 1).

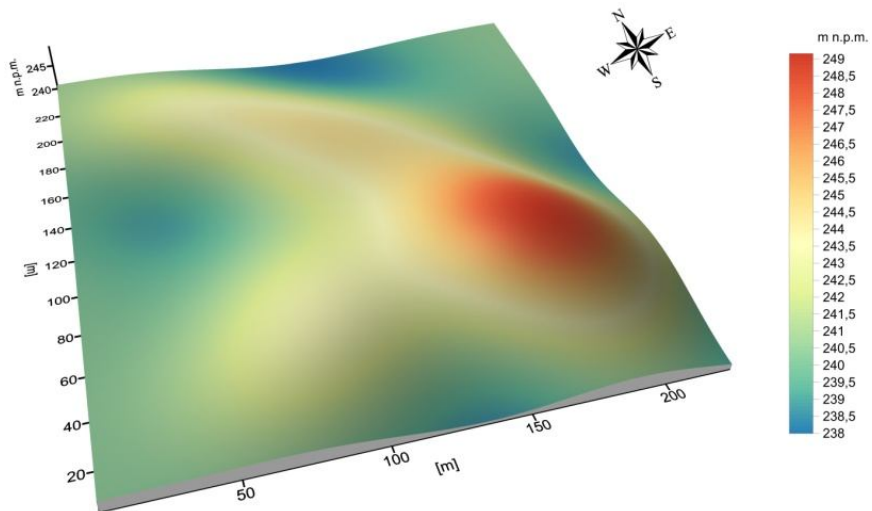
Tabela 1. Współrzędne punktów próbowań ( $x, y, z$ ) wraz z uzyskanymi w drodze *kross-walidacji* wartościami estymowanymi ( $z^*$ ) i rezyduum ( $R$ )

$x$	$y$	$z$	$z^*$	$R$
64,372	193,541	244	241,863	-2,137
196,846	97,924	243	243,935	0,935
179,744	108,896	245	244,645	-0,355
202,004	124,310	240	240,372	0,372
189,516	124,571	242	241,846	-0,154

W dalszej kolejności przeprowadzono interpolację w węzłach siatki z wykorzystaniem krigingu zwyczajnego – punktowego w celu utworzenia mapy konturowej oraz wygenerowania NMT, obrazującego dawną powierzchnię badanej wydmy parabolicznej (rys. 3, 4).



Rys. 3. Mapa konturowa obrazująca kształt i zasięg rozpatrywanej wydmy parabolicznej przed okresem eksploatacji



Rys. 4. NMT obrazujące kształt i zasięg rozpatrywanej wydmy parabolicznej przed okresem eksploatacji

W efekcie uzyskano nieprecyzyjny – odznaczający się zbyt dużą płynnością trójwymiarowy model cyfrowy, przedstawiający wydmy przed okresem rozpoczęcia eksploatacji piasków na cele przemysłowe. Wynika to zapewne z niedoszacowania wysokich wartości oraz przeszacowania wartości niskich w węzłach siatki interpolacyjnej (Wasilewska, Mucha, 2006). W związku z powyższym przeprowadzono korektę uzyskanego efektu wygładzenia (Yamamoto, 2005), powstałego w wyniku zastosowania krigingu zwyczajnego – punktowego. Została ona wykonana w kilku etapach postępowania, bazując jednocześnie na dopasowanych wcześniej wariogramach.

W niniejszym rozdziale opisano kolejno poszczególne etapy tworzenia wspomnianej korekty w oparciu o sztandarowe anglojęzyczne opracowanie Yamamoto (2005) oraz polskojęzyczną publikację autorstwa Muchy i Wasilewskiej (2006). Z tychże prac zaczerpnięto również zastosowane wzory matematyczne.

W pierwszym etapie oszacowano wartości wysokości w punktach opróbowania w oparciu o procedurę *kross-walidacji*. Została ona przeprowadzona dla niewielkiej liczby najbliższych punktów, położonych w sąsiedztwie punktów próbkowania (tzw. „sąsiadów”) (za Wasilewską i Muchą, 2006 autorzy artykułu wybrali po 8 najbliższych sąsiadów, gdzie  $N = 8$ ).

W dalszej kolejności przystąpiono do wyliczenia ilości odchyleń standardowych krigingu  $N_{\sigma_k}$ , korzystając ze wzoru zaproponowanego przez Wasilewską i Muchę (2006)

$$N_{\sigma_k} = \frac{-(z^* - z)}{\sigma_k} \quad (1)$$

gdzie:

$z$  – rzeczywista wartość parametru w punkcie opróbowania

$\sigma_k$  – wariancja krigingu w punkcie opróbowania

$z^*$  – estymowana wartość parametru w punkcie opróbowania

Yamamoto (2005) proponuje zastosowanie poniższego wzoru (2)

$$N_{s_0} = \frac{-TrueError}{s_0} \quad s_0 \neq 0 \quad (2)$$

gdzie:

$N_{s_0}$  – ilość odchyleń standardowych interpolacji

$s_0$  – odchylenie standardowe interpolacji (3)

$$s_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^n \lambda_i [z(x_i) - z^*(x_0)]^2} \quad (3)$$

$\lambda_i$  – waga krigingu

$z(x_i)$  – wartość rzeczywista zmiennej losowej

$z^*(x_0)$  – wartość oszacowana w węźle sieci interpolacyjnej przy użyciu krigingu

$TrueError$  – różnica między wartością estymowaną w punkcie  $x_0$  a wartością rzeczywistą (4)

$$TrueError = [z^*(x_0) - z(x_0)] \quad (4)$$

$z(x_0)$  – wartość rzeczywista w punkcie sieci interpolacyjnej

Z uwagi na to, iż odchylenie standardowe interpolacji jest dość kłopotliwe do obliczenia – w niniejszym artykule do wzoru na  $N_{s_0}$  podstawiono odchylenie standardowe krigingu (błąd krigingu) (Wasilewska, Mucha, 2006).

W celu obliczenia  $N_{\sigma_k}$  wyliczono różnicę między wartościami estymowanymi a wartościami rzeczywistymi wysokości w punktach opróbowania – czyli tzw. rezyduum. W ostateczności otrzymano wymagany parametr (tabela 2).

Tabela 2. Parametry wybranych punktów z etapu 1

$z$	$z^*$	$R$	$\sigma_k$	$N_{\sigma_k}$
244	241,863	-2,137	1,015	2,105
243	243,935	0,935	0,931	-1,005
245	244,645	-0,355	0,920	0,386
240	240,372	0,372	0,903	-0,412
242	241,846	-0,154	0,926	0,167

W kolejnym etapie oszacowano  $N_{\sigma_k}$  dla każdego punktu sieci interpolacyjnej  $x_0$ , stosując liniowy model wariogramu  $\gamma(h) = h$  oraz mając na względzie jak najmniejszą liczbę sąsiadów,  $N = 4$ ). Efektem było uzyskanie  $N_{\sigma_k}^*(x_0)$  (Wasilewska, Mucha, 2006) (tabela 3).

Tabela 3. Parametry wybranych punktów z etapu 2

$z$	$z$	$R$	$\sigma_k$	$N_{\sigma_k}$	$N_{\sigma_k}^*(x_0)$
244	241,863	-2,137	1,015	2,105	0,052
243	243,935	0,935	0,931	-1,005	0,058
245	244,645	-0,355	0,920	0,386	0,064
240	240,372	0,372	0,903	-0,412	0,073
242	241,846	-0,154	0,926	0,167	0,083

Etap trzeci polegał na oszacowaniu za pomocą metody kriginu zwyczajnego – punktowego wartości wysokości w każdym punkcie interpolacji ( $z^*(x_0)$ ) oraz wartości odchylenia standardowego kriginu w punkcie  $x_0$  ( $\sigma_k(x_0)$ ), biorąc pod uwagę 8 najbliższych sąsiadów ( $N = 8$ ) (Wasilewska, Mucha 2006) (tabela 4).

Tabela 4. Parametry wybranych punktów z etapu 3

$z^*(x_0)$	$\sigma_k(x_0)$
240,363	2,809
240,348	2,700
240,024	2,582
240,036	2,470
240,051	2,355

W etapie czwartym uzyskano wartość korekty wysokości w każdym węźle sieci interpolacyjnej (tabela 5). Została ona wyliczona z niżej przedstawionego wzoru (5)

$$z^{**}(x_0) = z^*(x_0) + N_{\sigma_k}^*(x_0) \cdot \sigma_k(x_0) \quad (5)$$

$z^{**}(x_0)$  – korekta oszacowania parametru w węzłach sieci interpolacyjnej

$N_{\sigma_k}^*(x_0)$  – ilość szacowanych odchyłeń standardowych kriginu

Tabela 5. Parametry wybranych punktów z etapu 4

$N_{\sigma_k}^*(x_0)$	$z^*(x_0)$	$\sigma_k(x_0)$	$z^{**}(x_0)$
0,052	240,363	2,809	240,508
0,058	240,348	2,700	240,503
0,064	240,024	2,582	240,190
0,073	240,036	2,470	240,216
0,083	240,051	2,355	240,247



Z uwagi na to, iż wartości korekty  $z^{**}(x_0)$  były mniejsze lub większe niż wartości skrajne w punktach opróbowań – na tym etapie nie ukończono korekty efektu wygładzenia. Przyrównano do siebie wspomniane wartości (5)

$$z^{**}(x_0) > z_{max} \Rightarrow z_a^{**}(x_0) = z_{max}$$

$$z^{**}(x_0) < z_{min} \Rightarrow z_a^{**}(x_0) = z_{min} \quad (5)$$

W etapie 5 porównano wartość średnią parametru szacowania w punktach próbkowania z wartością średnią po uzyskanej korekcie w węzłach sieci interpolacyjnej, ponieważ  $\bar{z} \neq \bar{z}_a^{**}(x_0)$ . Obliczono stałą  $K$ , która wyniosła 0,641 (6)

$$K = \bar{z} - \bar{z}_a^{**}(x_0) \quad (6)$$

gdzie:

$\bar{z}$  – średnia z rzeczywistych wartości parametrów w punkcie opróbowania

$\bar{z}_a^{**}(x_0)$  – średnia z korekty oszacowania parametrów w punktach węzłowych sieci interpolacyjnej.

Obliczono wartość  $K$ , którą dodano do korekty efektu wygładzenia w węzłach sieci interpolacyjnej (7) (tabela 6)

$$z_b^{**}(x_0) = z_a^{**}(x_0) + K \quad (7)$$

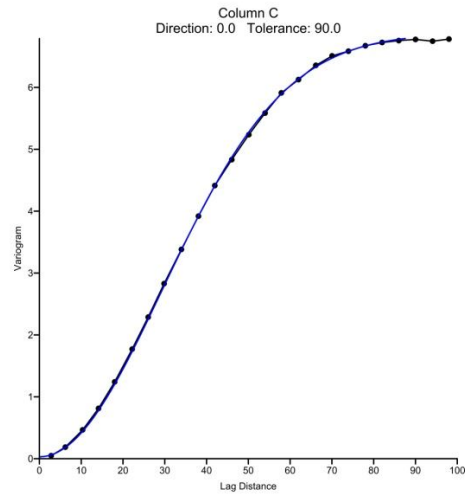
gdzie:

$z_b^{**}(x_0)$  – ostateczna korekta oszacowania parametru w węzłach sieci interpolacyjnej

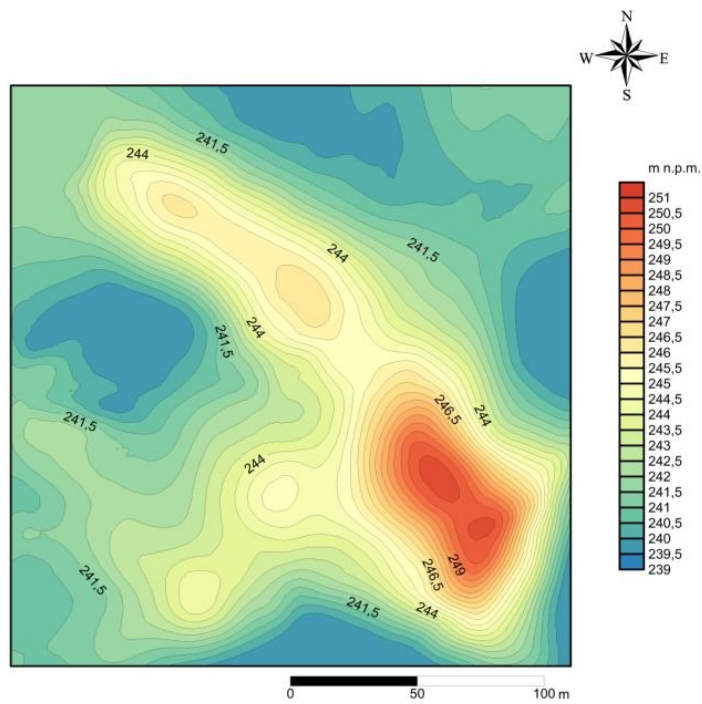
Tabela 6. Parametry wybranych punktów z etapu 5

$z_a^{**}(x_0)$	$z_b^{**}(x_0)$
240,508	241,149
240,503	241,144
240,190	240,831
240,216	240,856
240,247	240,888

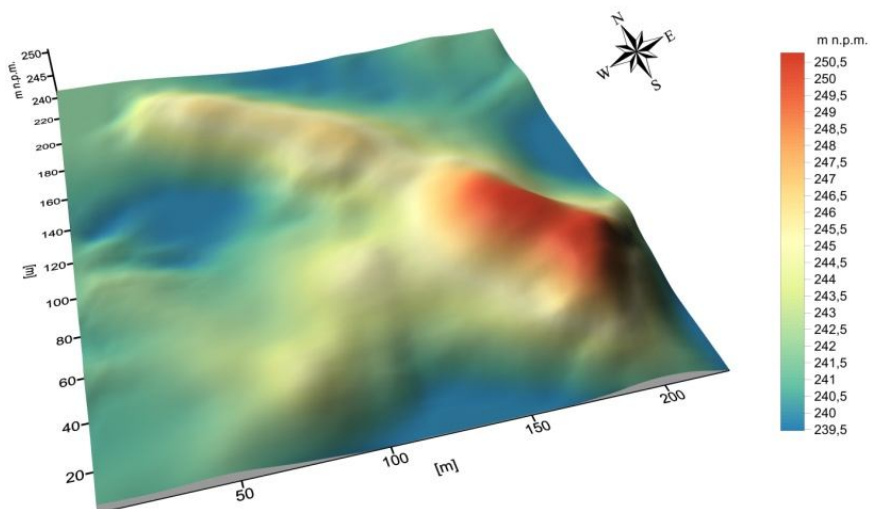
W rezultacie, opierając się na uzyskanych wartościach  $z_b^{**}(x_0)$  wykonano wariogram empiryczny, który w porównaniu do wcześniej wygenerowanego wariogramu prezentuje się zupełnie inaczej. Model Gaussa z efektem samorodków został do niego wręcz idealnie dopasowany (rys. 5). W celu sprawdzenia dostosowania badanych modeli – ponownie przeprowadzono *kross-walidację*. Następstwem było wykonanie krigingu zwyczajnego – punktowego w oparciu o nowo wygenerowany wariogram i utworzenie mapy izoliniowej wraz z NMT (rys. 6, 7).



Rys. 5. Dopasowany model Gaussa wraz z efektem samorodków do wariogramu empirycznego po przeprowadzonej korekcie efektu wygładzenia



Rys. 6. Mapa konturowa badanej wydmy uzyskana po korekcie efektu wygładzenia



Rys. 7. NMT badanej wydmy uzyskany po korekcie efektu wygładzenia

Na koniec określono współzależności między wartościami rzeczywistymi a wartościami estymowanymi, jakie uzyskano w wyniku zastosowania opisywanej korekty (odnotowano bardzo wyraźną korelację  $r = 0,98$  między nimi).

Uzyskany Numeryczny Model Terenu wyraźnie różni się od wyjściowego modelu cyfrowego (ryc. 3, 4, 6, 7), który cechował się zbyt dużym wygładzeniem, co potęgowała niewielka liczba poziomicy, a w związku z tym mała dokładność. Otrzymane z przeprowadzonej korekty wyniki analiz (w tym m.in. obniżone wartości błędów interpolacji), a w związku z tym wręcz idealne dopasowanie wariogramów – świadczą o poprawnie przeprowadzonej procedurze geostatystycznej. Z tego względu (mimo braku archiwalnych materiałów kartograficznych – sprzed prowadzonej eksploatacji piasku na cele budowlane, które mogłyby stanowić materiał porównawczy) uznano, iż wygenerowany trójwymiarowy model cyfrowy, obrazujący kształt i zasięg rozpatrywanej wydmy parabolicznej przed okresem eksploatacji piasku jest jak najbardziej poprawny.

### 3. UWAGI KOŃCOWE

Przeprowadzona procedura geostatystyczna pozwala na stwierdzenie, iż zaletą stosowania korekty Yamamoto (2005) jest zredukowanie efektu wygładzenia, a w związku z tym możliwość uzyskania wizualnie lepszego zobrazowania, a co za tym idzie większej dokładności (zbliżonej do rzeczywistości) NMT i wiarygodności uwzględnianych parametrów. Natomiast wadą stosowania wspomnianej poprawki jest konieczność „ręcznego” wykonywania poszczególnych skomplikowanych i pracochłonnych kalkulacji (które wymagają bardzo dobrego praktycznego rozumienia statystyki stosowanej) w związku z realizowanymi etapami prac kameralnych. W tym miejscu można potwierdzić

spostreżenia Wasilewskiej i Muchy (2006), iż rejestruje się brak specjalistycznego oprogramowania komputerowego, które umożliwiłoby w pełni zautomatyzować przeprowadzenie całego postępowania badawczego. Wybrane parametry geostatystyczne niezbędne do wykonania korekty wygładzenia są możliwe do wyliczenia po wpisaniu odpowiedniej funkcji matematycznej np. w arkuszu kalkulacyjnym.

Według autorów niniejszego artykułu korekta zaproponowana przez Yamamoto (2005) może być stosowana m.in. przy tworzeniu map konturowych oraz cyfrowych modeli terenu, jeśli dysponujemy niewielką liczbą punktów próbkowania (tak jak np. w analizowanym przykładzie: 55 punktów), ponieważ daje lepsze efekty, aniżeli w przypadku posłużenia się bardzo dużą ich liczbą, uzyskaną np. w drodze bezpośrednich pomiarów terenowych lub w wyniku szczegółowej digitalizacji materiałów kartograficznych. W takiej sytuacji przeprowadzenie korekty nie jest konieczne (uzyskany wynik jest z góry dokładny, a poprawka niezauważalna).

## LITERATURA

Cichociński P., 2011. Porównanie metod interpolacji przestrzennej w odniesieniu do wartości nieruchomości. *Studia i materiały Towarzystwa Naukowego Nieruchomości*, 19(3), s. 120-125.

Hermańska A., Smyka R., 1990 (stan na 1987 r.). *Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Żytno*. Wydawnictwa Geologiczne.

Kokesz Z., 2010a. Sporządzanie map izoliniowych procedurą krigingu zwyczajnego – korzyści i ograniczenia. *Zeszyty Naukowe instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk*, 79, s. 363-382.

Kokesz Z. 2010b. Uwarunkowania stosowania krigingu zwyczajnego do sporządzania map izoliniowych. *Biuletyn Państwowego instytutu Geologicznego*, 439, s. 403-408.

Kondracki J., 2000. *Geografia regionalna Polski*. PWN, Warszawa, s. 257-263.

Kriege D.G., 1951. *A statistical approach to some mine valuation and allied problems at the Witwatersrand*. Master's thesis. University of Witwatersrand. Witwatersrand, South Africa.

*Mapa Topograficzna Polski w skali 1:25 000, arkusz Strzałków*, 1980 (stan na 1974). PPGK.

Marmol U., 2002. Modelowanie reprezentacji powierzchni topograficznej z wykorzystaniem metody geostatystycznej. *Geodezja*, 8(2), s. 259-270.

Matheron G., 1962. *Traité de Géostatistique Appliquée*. Editions Techniq, Paris.

Mucha J., Kotliński R., Wasilewska-Błaszczuk M., 2011. Metodyka szacowania parametrów zasobowych złóż koncentracji polimetalicznych w obszarze Interoceanmetal na Pacyfiku. *Zeszyty Naukowe instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk*, 81, s. 137-145.

- Namysłowska-Wilczyńska B. 2006. *Geostatystyka. Teoria i zastosowania*. OWPW, Wrocław, 356 s.
- Rocha M.M., Yamamoto J.K., 2000: Comparison Between Kriging Variance and Interpolation Variance as Uncertainty Measurements in the Capanema Iron Mine, State of Minas Gerais – Brazil. *Natural Resources Research*, 9, s. 223-235.
- Szubert M., 2003. Cyfrowy model wysokości powierzchni podczwartorzędowej na Wyżynie Woźnicko-Wieluńskiej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Materiały Ogólnopolskiego Sympozjum Geoinformacji „Geoinformacja zintegrowanym narzędziem badań przestrzennych” Wrocław – Polanica Zdrój, 15-17 września 2003 r.* Vol. 13 A, s. 233-242.
- Szubert M., 2007. Geoinformatyka w geomorfologii na przykładzie badań geomorfologicznych na Wyżynie Wieluńskiej i Częstochowskiej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17b, s. 759-768.
- Szubert M., 2008. Geomatyka w badaniach geomorfologicznych. *Dokumentacja Geograficzna*, 47, s. 7-13.
- Szulc D., Narloch A., 2011. Wpływ wariogramu na wiarygodność modelu 3D terenu w metodzie kriging. *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej*, Rok LII Nr 4(187), s. 113-123.
- Wasilewska M., Mucha J., 2006. Korekta efektu wygładzenia izolinii w procedurze interpolacyjnej krigingu zwyczajnego. *Przegląd Górniczy*, 62(1), s. 31-36.
- Yamamoto J.K., 2000. Correcting the Smoothing Effect of Ordinary Kriging Estimates. *Mathematical Geology*, 37(1), s. 69-94.
- Yamamoto J.K., 2005. An Alternative Measure of the Reliability of Ordinary Kriging Estimates. *Mathematical Geology*, 32(4), s. 489-509.
- Yamamoto J.K., 2007. On unbiased backtransform of longnormal kriging estimates. *Computers & Geosciences*, 11, s. 219-234.
- Yamamoto J.K., 2008. Estimation or simulation? That is the question. *Computers & Geosciences*, 12, s. 573-291.
- Zarychta R., Zarychta A., 2011. Przemiany w krajobrazie wyrobiska plejstocenijskich piasków wodnolodowcowych w granicach gminy Kobbiele Wielkie. *Z badań nad wpływem antropopresji na środowisko*, 12, s. 117-129.
- Zawadzki J., 2011. *Metody geostatystyczne dla kierunków przyrodniczych i technicznych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 132 s.

## APPLICATION OF “CORRECTION OF THE SMOOTHING EFFECT” IN INVESTIGATION OF GEOMORPHOLOGICAL FORMS

KEY WORDS: geostatistics, ordinary kriging, correction of the smoothing effect, Łódź voivodeship, dune

### Summary

Intensive exploitation of natural environment resources, including natural aggregates – among them sand used for industrial purposes e.g. building industry, production of glass or backfilling contributes to significant physiocenotic changes. Concerning the problem, the area of Łódź voivodeship merits attention, especially Kobile Wielkie commune (Dudki village) where progressive degradation of a parabolic dune occurs. It is caused by excessive extraction of Pleistocene fluvioglacial sand for building purposes. Overexploitation of natural resources has already caused and it is still causing decrease of the primary range and form of the discussed geomorphological form. Therefore, the authors of the paper decided to aim at reconstruction of the physiognomy (of the period prior to extraction) of the dune which had been formed in Dudki village. Geostatistical methods, including ordinary kriging, have been applied for the purpose. The lack of archival cartographic materials of the investigated area made the authors go on numerous field trips which goal was to analyse and estimate the current state of the aeolian form and to determine its shape and range by means of a GPS receiver. A hypothetical three-dimensional model of the investigated dune made by application of an ordinary kriging method has not brought satisfying effects. Too many overestimated and underestimated values of altitude values caused significant generalisations resulting in smoothing of the whole model. Application of the correction of the smoothing effect proposed by J. K. Yamamoto in 2000 enabled considerable reduction of the “falsification effect”. Therefore, the reconstructed shape and range of the dune is considerably different from the one obtained at the initial stage of the investigation by means of the digital model. The obtained results of the correction of the smoothing effect giving in result perfectly matching variograms prove properly performed geostatistical analysis. Hence, despite the lack of cartographic materials showing the state of the dune prior to the extraction (which could have been compared with the obtained results of desktop studies) it has been assumed that the reconstructed model of the dune matches its previous physiognomy and therefore it is the most suitable.

Dane autorów:

mgr Adrian Zarychta  
e-mail: [adrian.zarychta@o2.pl](mailto:adrian.zarychta@o2.pl)  
telefon: 603-152-211

mgr Roksana Zarychta  
e-mail: [roxana\\_z@vp.pl](mailto:roxana_z@vp.pl)  
telefon: 0-793-933-255<sup>2</sup>