

WYZNACZANIE PÓL ANOMALII GEOCHEMICZNYCH Zn W DOLOMITACH KRUSZCONO NYCH METOD KRIGINGU INDYKATOROWEGO

DELIMITATION OF Zn GEOCHEMICAL ANOMALIES IN THE ORE-BEARING DOLOMITES WITH INDICATOR KRIGING

JACEK MUCHA¹, MONIKA WASILEWSKA¹, BOENA STRZELSKA-SMAKOWSKA¹, MARIUSZ KRZAK¹

Abstrakt. Przedstawiono uwarunkowania poprawnego konstruowania map izoliniowych dla potrzeb wyznaczenia pól anomalii geochemicznych. Opisano sposób zastosowania nieparametrycznej procedury geostatystycznej krigingu indyktorowego do krelenia map prawdopodobieństwa przekroczenia założonej (minimalnej) zawartości składnika. Mapy prawdopodobieństwa zastosowano do wyznaczenia pól anomalnych zawartości Zn w dolomitach kruszconych NE obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Wągliwego. Stwierdzono, że ze względu na znaczny rozpiętość pionowych interwałów z zawartościami Zn, przekraczającymi przyjętą wartość progową 0,5%, okonturowanie pól anomalii geochemicznej w płaszczyźnie poziomej jest niewystarczające. Zarekomendowano zastosowanie trójwymiarowego wariantu krigingu indyktorowego do wyznaczenia brył anomalii geochemicznych w przestrzeni obiektów geologicznych.

Słowa kluczowe: zawartość Zn, dolomit kruszcony, pola anomalii geochemicznych, kriging indyktorowy.

Abstract. The authors present the principles of proper construction of geochemical anomaly (aureoles) contour maps. A non-parametrical geostatistical procedure of indicator kriging has been applied to drawing probability maps that show the areas where a threshold (i.e. minimum) value of the element has been exceeded. Such maps have been prepared to delimit zinc anomalies in ore-bearing dolomites in the NE margin of the Upper Silesian Coal Basin. As the vertical range of intervals with the zinc content exceeding the accepted value of 0.5% has been found to be considerable, horizontal maps of zinc distribution are not sufficient to present correctly its aureoles. The recommended procedure includes a three-dimensional variant of indicator kriging in delimiting 3D blocks of geochemical anomalies in the study area.

Key words: zinc content, ore-bearing dolomite, geochemical aureoles, indicator kriging.

WSTĘP

Wyznaczanie pól anomalii geochemicznych dokonuje się na ogół przy wykorzystaniu map izoliniowych zawartości interesującego składnika, opartych na deterministycznych algorytmach interpolacyjnych, takich jak: metoda wagowania na odwrót odległości, zmodyfikowana metoda Sheparda, metoda minimalnej krzywizny i innych. Zasięgi pól anomalnych określa izolinia ustalonej wcześniej (minimalnej)

(minimalnej) zawartości składnika. Poprawność uzyskanych wyników uwarunkowana jest jednak spełnieniem pewnych założeń, na ogół ignorowanych w praktyce. Teoretycznie wartość rozpatrywanego parametru powinna się zmieniać w przestrzeni w sposób ciągły oraz cechować się znacznym zasięgiem autokorelacji, wiążącym odredniej odległości między otworami. Wymaga to poznania struktury zmienno-

¹ Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; mucha@geol.agh.edu.pl; mwasilewska@geol.agh.edu.pl

ci składnika w obr bie badanego obiektu geologicznego. Ten element opisu zmienno ci uwzgl dniaj geostatystyczne procedury krigingu, oparte na modelowaniu semiwariogramów wyra aj cych sił zró nicowania parametru w zale no ci od redniej odległo ci mi dzy punktami pomiaru ich warto ci. Podstawowy i najmniej pracochłonny wariant krigingu – kriging zwyczajny – nie mo e jednak by efektywnie zastosowany w przypadku skrajnie du ej zmienno ci składnika (szczególnie przy współczynniku zmienno ci wi kszym od 200%) i silnej dodatniej asymetrii rozkładu jego prawdopodobie stwa, a przede wszystkim wyst powania warto ci anomalnych, wielokrotnie przewy szaj cych rednie zawarto ci. Ta ostatnia wła ciwo cz sto maskuje prawidłowo ci zmian, co utrudnia skonstruowanie wiarygodnego modelu struktury zró nicowania parametru niezbd nego do wykonania procedury interpolacyjnej, le cej u podstaw wyznaczania pól o podwy szonych zawarto ciach składni- ków.

W geologicznych realiach słabo i nieregularnie rozpoznanych obszarów w obr bie l sko-krakowskiej prowincji Zn–Pb (poza udokumentowanymi zło ami), wykorzystanie procedury krigingu zwyczajnego do konturowania pól o pod-

wy szonych zawarto ciach metali jest nieoptymalne z uwagi na skrajnie wysok zmienno metali. Wi ksze nadzieje na poprawne rozwi zanie tego zadania wi e si z metodami geostatystyki nieparametrycznej, do których nale m.in.: kriging indykatorowy, probabilistyczny i rozł czny (Vann, Guibal, 1998; Mucha, Wasilewska, 2006). Najstarszym z nich i jednocze nie najprostszy jest kriging indykatorowy (Journel, 1983). Specyficzna nieliniowa transformacja zbioru danych podstawowych do zbioru zero-jedynkowego sprawia, e niekorzystny wpływ nielicznych, skrajnie wysokich oznacze zawarto ci składnika na wyniki geostatystycznego modelowania jego zmienno ci zostaje skutecznie ograniczony lub praktycznie wyeliminowany. Umo liwia to uzyskanie przy zastosowaniu krigingu indykatorowego map prawdopodobie stwa przekroczenia ustalonej z góry minimalnej zawarto ci pierwiastka w rozpatrywanym obszarze. Podj cie decyzji odno nie do akceptowalnego, odpowiednio wysokiego poziomu prawdopodobie stwa (np. $P = 0,9$) oraz racjonalnej brze nej (minimalnej) zawarto ci składnika definiuje zasi g pól anomalnych, na podstawie których mo na wyznacza obszary prognostyczne zło .

METODYKA BADA

Metodyk bada przedstawiono na przykładzie wyznaczenia pól anomalnych zawarto ci Zn w dolomitach kruszconych w obszarach perspektywicznych dla skupie rud Zn–Pb, poza obszarami zło udokumentowanych, w NE cz ci obrze enia Górno l skiego Zagł bia W glowego (GZW). Materiał podstawowy bada stanowiły wyniki analiz chemicznych prób pobranych z rdzeni 877 otworów poszukiwawczych. W skali rozpatrywanego obszaru bada rozmieszczenie otworów było nieregularne, a ich przeci tny rozstaw nieznacznie przekraczał 1000 m. Za interesuj ce zło owo uznano był cznie te z interwałó elementarnych opróbowania, w których zawarto Zn była nie mniejsza od 0,5%, co odpowiada warto ci progowej mi dzy tłem geochemicznym i anomali . Otwory, w których stwierdzono wyst powanie przynajmniej jednego takiego interwału, nazywano pozytywnymi, wszystkie pozostałe natomiast negatywnymi i przypisano im zeró zawarto Zn.

Zawarto cynku cechuje skrajnie asymetryczny rozkład prawdopodobie stwa (fig. 1) ze współczynnikiem asymetrii 7,0, skrajnie wysoka zmienno ze współczynnikiem zmienno ci wi kszym od 300% oraz wyst powanie wielu warto ci wielokrotnie przewy szaj cych redni zawarto Zn w obszarze, równ 0,3%. Nale y zaznaczy , e otwory pozytywne stanowi zaledwie 18,7% wszystkich otworów odwierconych na badanym obszarze. Te cechy zmienno ci w pełni uzasadniaj celowo zastosowania kriging indykatorowego do wyznaczania pól anomalii geochemicznych.

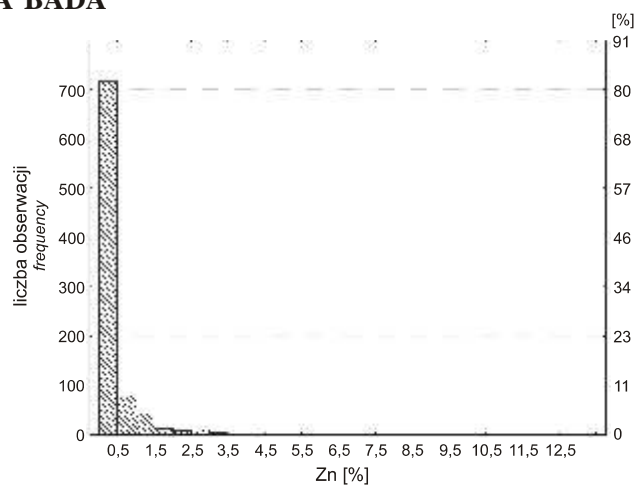


Fig. 1. Histogram zawarto ci Zn w dolomitach kruszconych NE cz ci obrze enia Górno l skiego Zagł bia W glowego

Histogram of zinc contents in ore-bearing dolomites of the NE margin of Upper Silesian Coal Basin

Przyj ty tok post powania z wykorzystaniem programu ISATIS obejmował szereg etapów, które poni ej opisano skróto i opatrzone niezbd nym komentarzem.

Etap I. Przetransformowanie do postaci binarnej rednich zawarto ci Zn w otworach przez zast pienie ich indykatorami (I) według nast puj cej zasady:

$$I = 0 \text{ gdy } Zn < 0,5\% \text{ i } I = 1 \text{ gdy } Zn \geq 0,5\%$$

Etap II. Określenie struktury zmienności zawartości metali za pomocą semiwariogramów inductorów wyznaczonych według formuły:

$$\gamma(h) = \frac{I}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} (I_{i+h} - I_i)^2$$

gdzie:

N – liczba par próbek odległych o „ h ”,

I i I' – wartości inductorów w otworach odległych o „ h ”.

Etap III. Przybliżenie semiwariogramów inductorów za pomocą odpowiednich funkcji analitycznych ciągłych, które pełnią rolę geostatystycznych modeli zmienności. Wykres semiwariogramu inductorowego Zn wraz z dopasowanym do niego geostatystycznym modelem zmienności przedstawiono na figurze 2.

Etap IV. Narzucenie na mapę otworów regularnej, odpowiednio gęstej, sieci punktów interpolacyjnych – w literaturze brak jest jednoznacznych wytycznych w tym zakresie (zastosowano kwadraty siatki interpolacyjnej: 200×200 m).

Etap V. Oszacowanie w złączach sieci interpolacyjnej (A) wartości inductorów na podstawie danych z najbliższych N otworów ($N = 1-10$), które znalazły się w kołowej

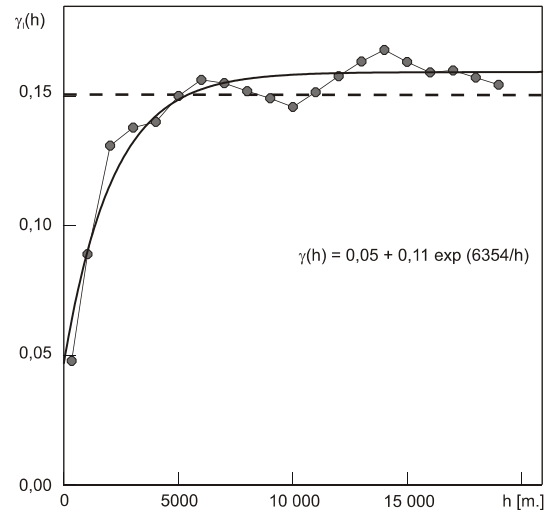


Fig. 2. Semiwariogram inductorów zawartości Zn w dolomitach kruszczonych w NE części obrzeżenia GZW (o rzędnicach – średnie zróżnicowanie inductorów, o odciętych – średnia odległość między otworami)

Semivariogram of transformed zinc contents (indicators) in ore-bearing dolomites of the study area (ordinate – mean variability of indicators, abscissa – mean distance between wells)

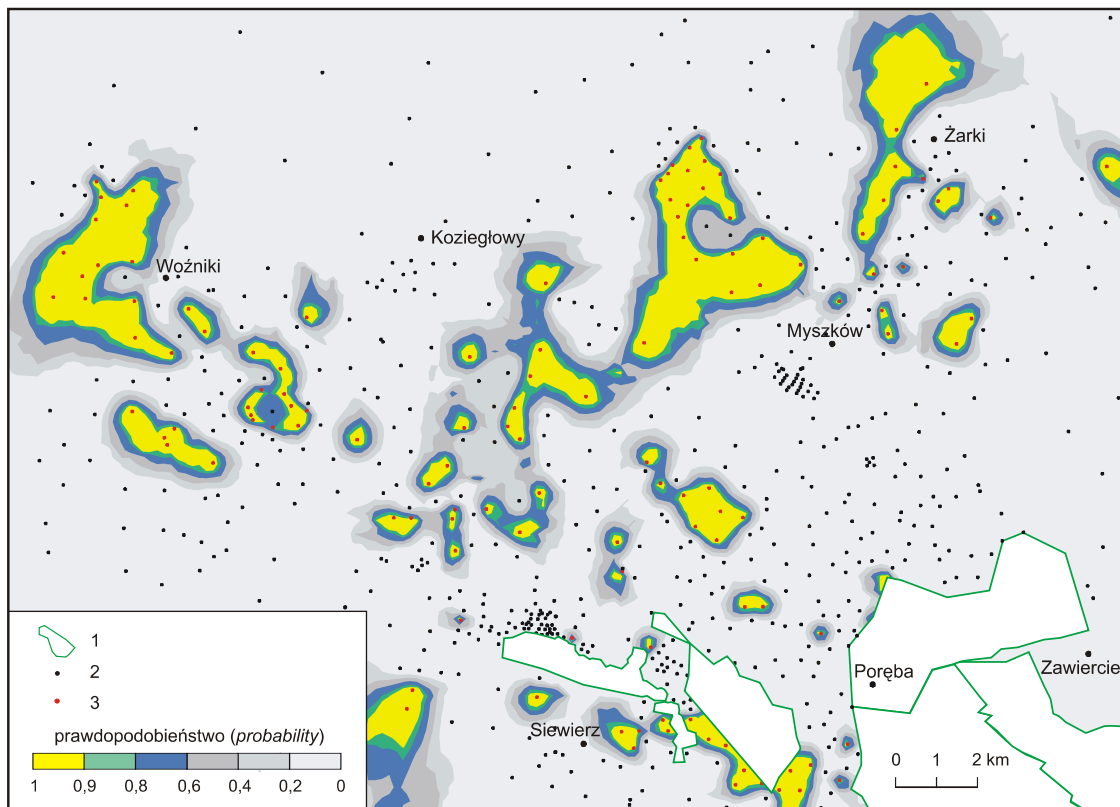


Fig. 3. Mapa prawdopodobieństwa występowania w dolomicie kruszczonym Zn o zawartościach nie mniejszych od 0,5% (fragment NE części obrzeżenia GZW)

1 – obszary złóż, 2 – otwór negatywny (z zawartością cynku poniżej 0,5%), 3 – otwór pozytywny (z zawartością cynku powyżej 0,5%)

Map showing the probability of occurring ore-bearing dolomites with zinc contents exceeding 0.5% in the study area (NE margin of Upper Silesian Coal Basin)

1 – deposit area, 2 – drill hole with zinc contents below 0.5%, 3 – drill hole with zinc contents exceeding 0.5%

strefie zliczania danych o promieniu R ($R = 5$ km). Wykorzystana do tego celu procedura krigingu zwyczajnego szacuje wartość wskaźnika w każdym z punktów interpolacji ze wzoru na średnią ważoną:

$$I_{KA}^* = \sum_{i=1}^N w_{iK} I_i$$

gdzie:

- w – współczynnik wagowy krigingu przypisany „ i ”-tej obserwacji (otworowi),
- I – wartość wskaźnika w otworze „ i ”,
- N – liczba otworów wykorzystanych w interpolacji.

Współczynniki wagowe w określa się z układu równań krigingu (Journel, Huijbregts, 1978), który uwzględnia wzajemną konfigurację otworów oraz ich usytuowanie względem w złóż sieci interpolacyjnej, a także ustalony wcześniej model zróbnicowania wskaźników.

Etap VI. Określone z procedury krigingu zwyczajnego wartości wskaźnika I_{KA}^* wyrażają prawdopodobieństwo P

wystąpienia w danym punkcie interpolacji A wartości parametru Zn o wartości większej od zadanej wartości progowej tzn.

$$I_{KA}^* = P_A^*(Zn > 0,5\%)$$

Etap VII. Skorygowanie uzyskanych oszacowań wskaźników w punktach interpolacji przy wykorzystaniu metody Yamamoto (2005) dla wyeliminowania niekorzystnego zjawiska wygładzenia wyinterpolowanych wartości parametru przejawiającego się zredukowaniem rzeczywistego zakresu jego zmienności.

Etap VIII. Wykreślenie map izolinowych prawdopodobieństwa i wyznaczenie pól anomalnych, w których z danym, odpowiednio wysokim prawdopodobieństwem (przyjeto 90%), koncentracje Zn powinny przekraczać 0,5% (fig. 3).

WYNIKI BADAŃ

Z mapy zamieszczonej na figurze 3, obejmującej większość obszaru badań, wynika jednoznacznie, że w obrębie dolomitów kruszonych występują tylko nieliczne, w kształcie zwarte pola anomalne, w których z prawdopodobieństwem 90% i większym zawartość Zn przewyższa przyjętą zawartość progową 0,5%. Słone rozpoznane za pomocą kilku do 20 otworów. Powierzchnie dwóch największych z nich wynoszą około 10 km i obejmują 20 i 13 otworów pozytywnych. Prawdopodobieństwo wystąpienia interwałów rudnych z zawartościami metali powyżej 0,5% szybko maleje w miarę oddalania się od skrajnych otworów pozytywnych. Wiadomo, że tym małe odległości dzielące izoliny prawdopodobieństwa 0,9–0,8–0,6. Wyznaczone pola anomalne zawartości Zn mogą stanowić podstawę okonturowania obszarów prognostycznych, przy założeniu wyżej branej zawartości Zn i przyjęciu dodatkowo minimalnej zasobności metalu.

Należy zwrócić uwagę, że przedstawionym metodą zastosowano do obiektu geologicznego potraktowanego jako ciało dwuwymiarowe, bez uwzględnienia lokalizacji interwałów rudnych w profilu pionowym. Rozpiętość pionowa interwałów rudnych jest znacząca i w dolomitach kruszonych przekracza 100 m. Dominująca ilość interwałów występuje w strefie między płaszczyznami poziomymi o rzędnych 210 i 120 m n.p.m. Brak obrazu przestrzennego rozmieszczenia interwałów o podwyższonej zawartości Zn utrudnia właściwą ocenę wielkości zwartych skupień rudnych i ich potencjalnego znaczenia Zn owego. Kompletnie rozwiązanie zagadnienia wymaga w tej sytuacji okonturowania brył o podwyższonej zawartości Zn w przestrzeni obiektu geologicznego, w granicach wyznaczonych wcześniej w płaszczyźnie poziomej pól anomalnych, do czego można rekomendować trójwymiarowy wariant krigingu wskaźnikowego.

LITERATURA

- JOURNEL A. G., 1983 – Nonparametric estimation of spatial distribution. *Mathematical Geology*, **15**, 3: 445–468.
- JOURNEL A.G., HUIJBREGTS CH. J., 1978 – Mining geostatistics. London, Academic Press.
- MUCHA J., WASILEWSKA M., 2006 – Nieparametryczne metody geostatystyczne interpolacji parametrów Zn owych. *Prz. Gór.*, **1**: 24–30.
- VANN J., GUIBAL D., 1998 – An overview of non-linear estimation. The Geostatistical Association of Australasia “Beyond Ordinary Kriging”, Seminar October 30th, 1998, Perth, Western Australia.
- YAMAMOTO J. K., 2005 – Correcting the smoothing effect of ordinary kriging estimates. *Mathematical Geology*, **37**, 1: 69–94.