

Zbigniew KOKESZ

Jacek MUCHA

Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej

Akademia Górniczo-Hutnicza

Kraków

PROGNOZOWANIE WARTOŚCI PARAMETRÓW ZŁÓŻ WĘGLA METODĄ KRIGINGU W WARUNKACH LZW

Streszczenie. Przedstawiono w zarysie metodykę prognozowania wartości parametrów złożowych w punktach przy zastosowaniu uproszczonej procedury krigingu, zwanej kriginielem punktowym. Stosując metodę geostatystyczną i statystyczną opisano zmienność parametrów złożowych w dwóch wytypowanych pokładach LZW. Stwierdzono, iż ocena wartości parametrów złożowych, przy wykorzystaniu krigingu punkтового, może być wykonana tylko w odniesieniu do miąższości pokładów. W przypadku parametrów jakościowych (zawartości siarki i popiołu, wartości opałowej) ocena taka jest niemożliwa z uwagi na losowy charakter zmienności tych parametrów.

Sprawdzono efektywność krigingu punkтового w 20 punktach badanych pokładów w których miąższość była znana. Porównanie rzeczywistych wartości miąższości pokładów z wartościami szacowanymi metodą krigingu wykazało zadowalającą, w myśl przyjętych kryteriów, zgodność wyników, co wskazuje na przydatność zastosowanej metody do prognozowania miąższości pokładów LZW.

WSTĘP

Czynnikiem warunkującym możliwość efektywnego stosowania metod geostatystycznych (do których należy kriging) w prognozowaniu wartości parametrów złożowych jest nielosowy charakter ich zmienności. Dla oceny możliwości stosowania tej metody konieczne staje się więc zbadanie struktury zmienności parametrów złożowych. W ramach geostatystycznego modelu zmienności G. Matherona [2] strukturę zmienności parametrów złożowych opisuje semiwariogram, czyli funkcja zdefiniowana wzorem:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n_h} \sum_{i=1}^{n_h} (z_{i+h} - z_i)^2 \quad (1)$$

gdzie:

Z_{i+h} , Z_i - wartości parametru złożowego w punktach pomiarowych (opróbowan) oddalonych o h ,

n_h - liczba par punktów pomiarowych (opróbowan) oddalonych o h .

Określony na podstawie danych eksperymentalnych semiwariogram empiryczny przybliży się za pomocą prostych funkcji analitycznych, które traktowane są jako geostatystyczne modele zmienności. Szczegółowo zasady modelowania zmienności złóż przedstawione zostały w pracach [3], [4], [5], [8].

Znajomość modelu zmienności pozwala na prognozowanie wartości parametrów złożowych przy zastosowaniu specjalnej procedury geostatystycznej, nazywanej krigingiem punktowym. Kriging punktowy umożliwia ocenę wartości parametru w dowolnym punkcie złoża oraz oszacowanie wielkości błędu tej oceny.

Wartość parametru ustala się ze wzoru:

$$Z_k^x = \sum_{i=1}^n w_i \cdot Z_i, \quad (2)$$

gdzie:

Z_i - wartość parametru złożowego w i -tym punkcie pomiarowym, wykorzystana w procedurze krigingu punkowego,

w_i - współczynnik wagowy,

n - liczba pomiarów wykorzystanych do oceny wartości parametru w danym punkcie,

Z_k^x - oceniona w oparciu o kriging punktowy wartość parametru w danym punkcie złoża.

Nieznane wartości współczynników wagowych określa się z układu równań [1]:

$$\begin{bmatrix} \gamma(s_1, s_1) & \gamma(s_1, s_2) & \dots & \gamma(s_1, s_n), 1 \\ \gamma(s_2, s_1) & \gamma(s_2, s_2) & \dots & \gamma(s_2, s_n), 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma(s_n, s_1) & \gamma(s_n, s_2) & \dots & \gamma(s_n, s_n), 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \quad 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_n \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(s_1, A) \\ \gamma(s_2, A) \\ \dots \\ \gamma(s_n, A) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Błąd oceny wartości parametru w danym punkcie złoża, zwany błędem krigingu, wyznacza się ze wzoru:

$$\hat{\sigma}_k^2 = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \gamma(S_i, A) + \lambda, \quad (4)$$

gdzie:

$\gamma(S_i, S_j)$ - wartość semiwariogramu określona dla przyjętego modelu zmienności, dla odległości między punktami pomiarowymi (opróbowań) S_i i S_j .

$\gamma(S_i, A)$ - wartość semiwariogramu dla odległości między punktem pomiarowym S_i i punktem, w którym szacuje się wartość parametru A ,

λ - mnożnik Lagrange'a.

Jak wynika ze wzorów (2), (3) i (4), procedura krigingu punktowego uwzględnia w ocenie wartości parametru strukturę jego zmienności, wzajemne położenie punktów pomiarowych względem siebie i względem punktu, dla którego szacuje się wartość parametru. Ważną zaletą tej procedury jest ponadto minimalizacja błędu oceny parametru, co oznacza, iż zapewnia ona większą dokładność oceny niż inne procedury interpolacyjne (np. odwrotnych odległości, kwadratu odwrotnych odległości).

Przy założeniu normalności rozkładu błędów oceny wartości parametrów można przyjąć, iż w 68,3% przypadków błąd ten nie przekroczy wielkości $1\sigma_k$, w 95,4% przypadków wielkości $2\sigma_k$ i w 99,7% przypadków wielkości $3\sigma_k$.

1. CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁU PODSTAWOWEGO

Badanie możliwości prognozowania wartości parametrów złożowych przy zastosowaniu metod geostatystycznych w warunkach LZW oparto na wynikach pomiarów miąższości pokładów oraz wynikach opróbowań pokładów, prowadzonych pod kątem oceny zawartości siarki, popiołu oraz wartości opałowej. Do tego celu wytypowano dwa pokłady o numeracjach: 382 i 385/2 (obszar K-1, K-2, K-3), które są najlepiej rozpoznane, a więc pozwalają uzyskać stosunkowo najbogatszą spośród wszystkich pokładów LZW informację liczbową o wartościach parametrów będących przedmiotem analizy.

Zbiór danych dotyczących miąższości pokładów skompletowano na podstawie wyników pomiarów dokonanych w otworach wiertniczych i wyrobiskach górniczych. Ogółem z otworów wiertniczych wykorzystano 42 dane pochodzące z pokładu 382 i 45 z pokładu 385/2. Odległość między sąsiednimi otworami nie jest stała, ale gęstość rozmieszczenia otworów może być w przybliżeniu traktowana jako jednakowa. Sieć otworów może być generalnie uważana za pseudoregularną. Przeciętna odległość między otworami wynosiła 0,9 km. Dodatkowo wykorzystano wyniki pomiarów miąższości pokładów w wy-

robiaskach górniczych prowadzonych w pokładzie 382. Zbiór ten liczył 105 danych. Rozmieszczenie punktów pomiarowych było jednak bardzo niekorzystne z punktu widzenia analizy zmienności, gdyż nie pokrywają one całego obszaru badań, lecz są uszeregowane wzdłuż wąskiego pasa, usytuowanego w jego części środkowej. W obrębie tego pasa odległość między kolejnymi punktami pomiarowymi była stała i wynosiła około 50 m.

W obu przypadkach, tzn. dla rozpoznania wiertniczego i górniczego analizowano wyłącznie miąższość użyteczną złoże, pomijając przerosty płonne.

Szczególnie niekorzystnym rozmieszczeniem charakteryzują się punkty opróbowań wykonanych pod kątem oceny wartości parametrów jakościowych pokładów węgla (zawartości siarki i popiołu, wartości opałowej). Pochodzą one wyłącznie z wyrobisk górniczych i podobnie jak w przypadku miąższości są rozmieszczone wzdłuż wąskiego pasa. Sytuację dodatkowo komplikuje skrajnie nierównomierne rozmieszczenie punktów opróbowań, wyrażające się występowaniem obok partii złoże z silnie zagęszczonym opróbowaniem również partii z pojedynczymi miejscami poboru prób. Wykorzystane w obliczeniach dane pochodzą z pokładu 382, a ich liczba wynosiła odpowiednio: dla zawartości siarki i wartości opałowej -49, zaś dla zawartości popiołu -37. Niezbyt liczne zbiory danych oraz niekorzystne rozmieszczenie punktów opróbowań w przypadku parametrów jakościowych mogą mieć negatywny wpływ na wiarygodność obrazu zmienności, uzyskanego za pomocą semiwariogramu.

2. OPIS ZMIENNOŚCI PARAMETRÓW ZŁOŻOWYCH NA OBSZARZE BADAŃ

Do opisu zmienności parametrów złożowych zastosowano klasyczną metodę statystyczną oraz mając na względzie cel badań - metodę geostatystyczną.

Statystyczną charakterystykę zmienności ograniczono do sporządzenia histogramów (rys. 1) oraz określenia wartości liczbowych, podstawowych miar zmienności (tab. 1). Jako miarę tendencji centralnej wyznaczono średnią arytmetyczną, zaś jako miary rozrzutu - odchylenie standardowe i współczynnik zmienności.

W ramach geostatystycznego opracowania wyników określono postacie semiwariogramów empirycznych, a następnie dopasowano do nich modele teoretyczne sposobem graficznym. Wykresy semiwariogramów przedstawiono na rys. 2.

Miąższość pokładów węgla wykazuje silne zróżnicowanie zmienności, co potwierdzają obliczone współczynniki zmienności (tab. 1). Szczególnie dużą zmiennością cechuje się według rozpoznania wiertniczego pokład 382, co oznacza, iż badaniami objęto silnie zróżnicowane partie złoże. Wyraża się to wielomodalnością histogramu jak również dużą rozpiętością wartości tego parametru, wynoszącą od 0,10 do 3,70 m. Pomiaru miąższości dla po-

Tabela 1

Zestawienie podstawowych parametrów statystycznych dla badanych zbiorów danych

Parametr złożowy	Pokład (źródło danych)	Model geostatystyczny zmienności	Parametry statystyczne			
			n	\bar{x}	s	V%
Miąższość pokładu (bez pozostałości płonnych) (m)	382 (wyrobiska wiertnicze)	liniowy Matherona	42	1,31	0,99	75,6
	382 (wyrobiska górnicze)	liniowy	105	2,48	0,30	12,1
	385/2 (wyrobiska wiertnicze)	liniowy	45	1,46	0,33	22,6
Zawartość popiołu %	382 (wyrobiska górnicze)	losowy	49	21,1	6,0	24,9
Wartość opałowa (cal/g)	382 (wyrobiska górnicze)	losowy	49	5032	538,4	10,7
Zawartość siarki (%)	382 (wyrobiska górnicze)	losowy	37	1,48	0,61	41,5

gdzie:

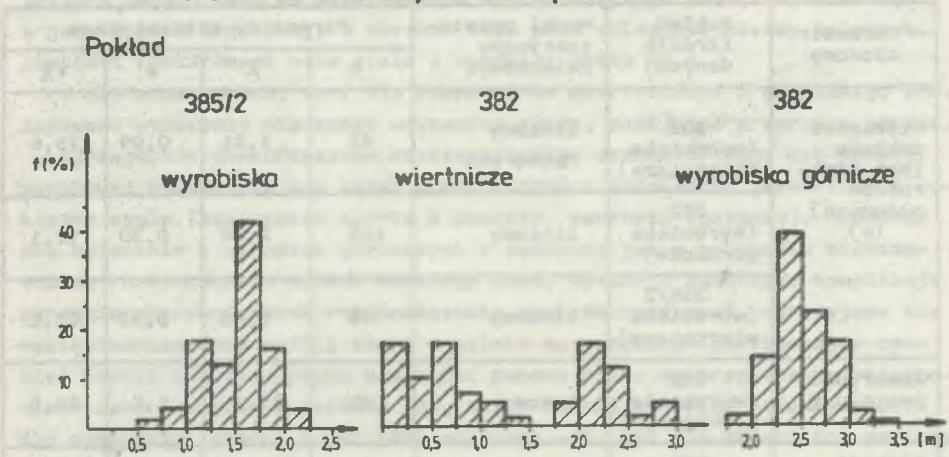
- n - liczba danych,
- \bar{x} - średnia arytmetyczna,
- s - odchylenie standardowe,
- v - współczynnik zmienności.

kładu wykonane w wyrobiskach górniczych wykazują znacznie mniejszą rozpiętość wyników, od 1,40 do 3,11 m, co znajduje swoje odzwierciedlenie w niskiej wartości współczynnika zmienności.

Spostrzeżenia powyższe odzwierciedlają również postacie histogramów miąższości (rys. 1). Przyczyn różnych obrazów zmienności miąższości uzyskanych na bazie rozpoznania wiertniczego i górniczego można upatrywać w specyficznym rozmieszczeniu wyrobisk górniczych na tle obzaru badań. Są one bowiem usytuowane w jego bogatszej, centralnej partii. Świadczy o tym w pierwszej kolejności porównanie średnich wartości miąższości dla obu typów rozpoznania. Ponadto można przypuszczać, iż histogram dla danych z wyrobisk górniczych odpowiada części histogramu dla danych z wyrobisk wiertniczych, skupionej wokół mody mieszczącej się w przedziale: 2,0-2,25 m.

Geostatystyczny obraz zmienności miąższości pokładów, zilustrowany za pomocą semiwariogramów empirycznych (rys. 2), potwierdza wyniki uzyskane

Parametr: miąższość pokładu

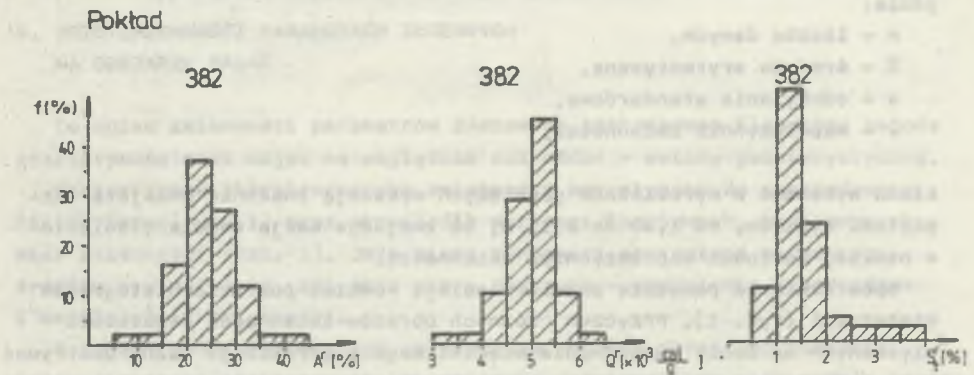


Parametry jakościowe (wyrobiska górnice)

Zawartość popiołu [A']

Wartość opałowa [Q']

Zawartość siarki [S']



Rys. 1. Histogramy miąższości i parametrów jakościowych pokładów węgla

Fig. 2. Histograms of thickness and coal seams qualitative parameters

w ramach wcześniejszych badań przedstawionych w opracowaniach [4], [6], [7]. Wszystkie semiwariogramy miąższości mają charakter nielosowy, co przejawia się wyraźnie zaznaczoną tendencją wzrostową wartości semiwariogramów ze wzrostem odległości między punktami pomiarów. W dwóch przypadkach semiwariogramy empiryczne mogą być aproksymowane modelem liniowym, zaś w jednym przypadku modelem liniowym - Matherona (rys. 2).

Najlepsze dopasowanie modelu teoretycznego do semiwariogramu empirycznego obserwuje się dla danych z wyrobisk górniczych (pokład 382). Jest to rezultatem stosunkowo dużej liczby danych (105) oraz objęciem badaniami w miarę jednorodnej części złoża.

Najbardziej nieregularny przebieg ma semiwariogram miąższości dla tego samego pokładu, lecz określony w oparciu o dane z wyrobisk wiertniczych, co oddaje dużą niejednorodność materiału podstawowego, jak również niezbyt wielką liczbę zbioru danych. Z tego powodu semiwariogramy empiryczne dla obu typów rozpoznania różnią się istotnie, co wyraża się wybitnym zróżnicowaniem wartości parametrów modelu. W obu jednak przypadkach semiwariogramy dążą do zera, co pozwala stosować modele liniowe bez wyrazu wolnego, charakteryzującego lokalną zmienność parametru (losowy składnik zmienności). Wyraźne różnice w wartościach parametrów modelu obserwuje się również dla danych z wyrobisk wiertniczych z pokładu 382 i 385/2.

Uzyskane wyniki potwierdzają wnioski wynikające z wcześniej przeprowadzonych badań [4], [7], a w szczególności fakt dużego zróżnicowania stylu zmienności pokładów, co wymaga każdorazowo indywidualnego podejścia do zagadnienia ich opisu. Dopasowane, w analizowanych przypadkach, geostatystyczne modele zmienności miąższości (liniowy, liniowy-Matherona) są typowe dla większości pokładów polskich złóż węgla.

Histogramy wartości parametrów jakościowych są jednomodalne. Największą zmienność wykazuje zawartość siarki, zaś najmniejszą wartość opałowa (tab. 1). Obliczone semiwariogramy wskazują na losowy charakter zmienności parametrów jakościowych. Zgodnie z oczekiwaniem obserwuje się duże podobieństwo postaci semiwariogramów dla zawartości popiołu i wartości opałowej, co wynika z silnej korelacji wiążącej oba te parametry. Duża nieregularność semiwariogramów spowodowana jest małą liczbą danych. Wobec braku wzajemnego skorelowania parametrów jakościowych prognozowanie ich wartości w punktach złoża przy zastosowaniu metod geostatystycznych jest niemożliwe. Szacowanie średnich wartości tych parametrów w obrębie wyróżnionych partii złoża winno być prowadzone za pomocą klasycznych metod statystycznych.

Pokład : 385/2

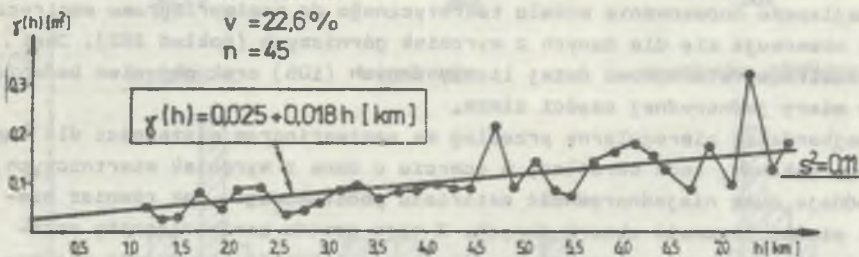
• wyrobiska wiertnicze

model zmienności : liniowy

$$\bar{x} = 1,46(\text{m})$$

$$v = 22,6\%$$

$$n = 45$$



Pokład : 382

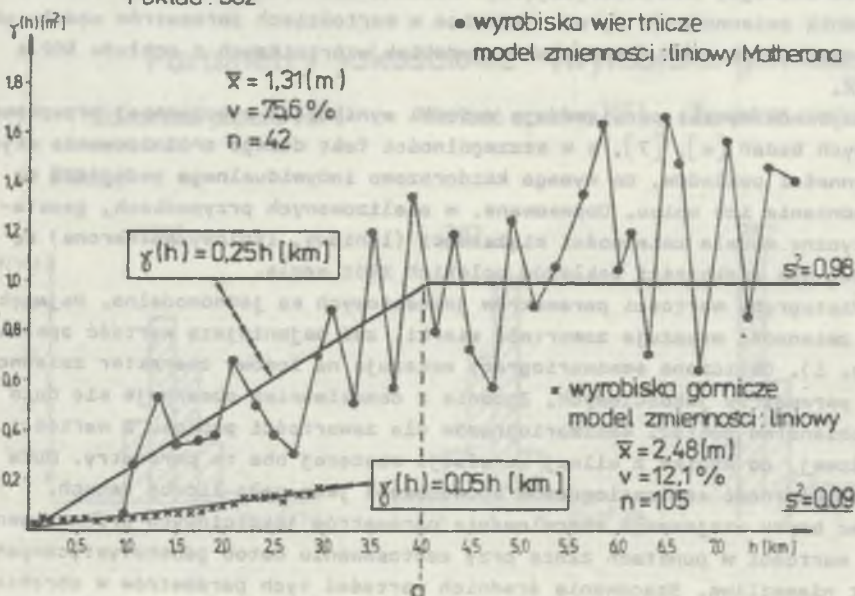
• wyrobiska wiertnicze

model zmienności : liniowy Matherana

$$\bar{x} = 1,31(\text{m})$$

$$v = 75,6\%$$

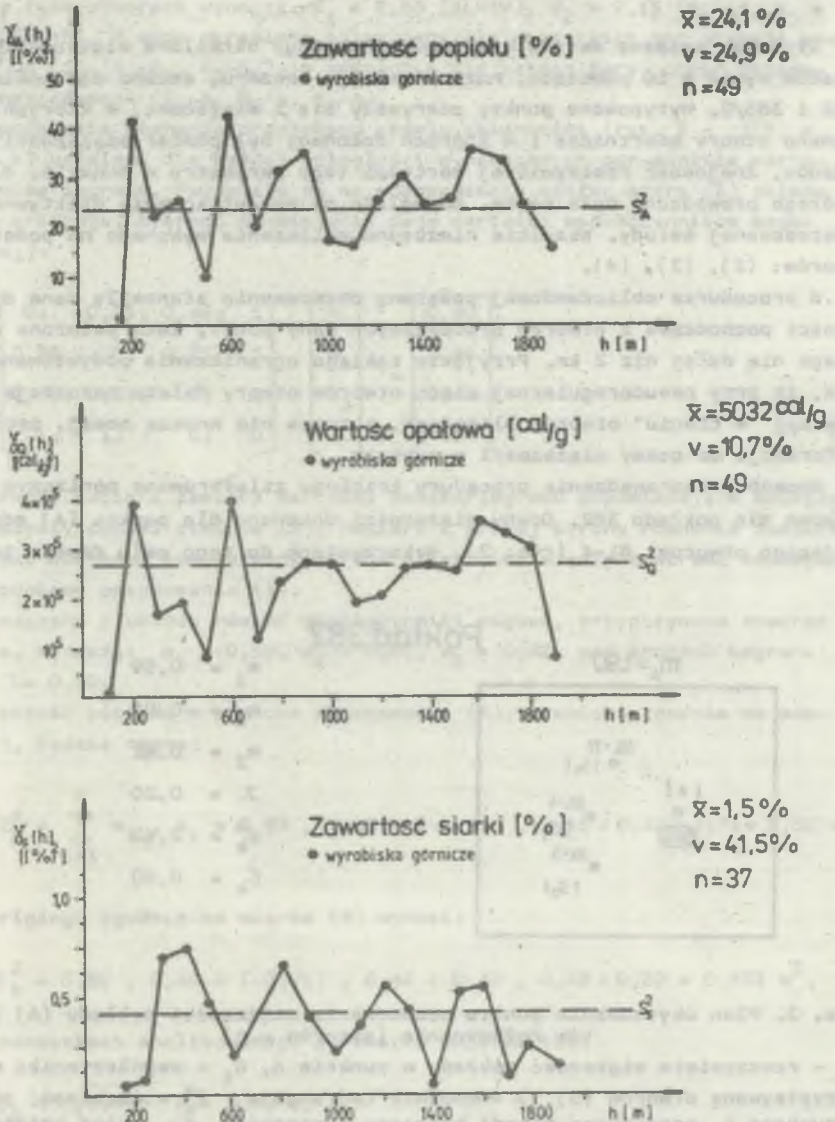
$$n = 42$$



Rys. 2a

Fig. 2a

Pokład 382



Rys. 2. Semiwariogramy miąższości pokładów węgla (a) i parametrów jakościowych (b)

\bar{x} - średnia arytmetyczna, v - współczynnik zmienności, n - liczba danych, s^2 - wariancja statystyczna

Fig. 2. Semivariograms of coal seams thickness (a) and qualitative parameters (b)

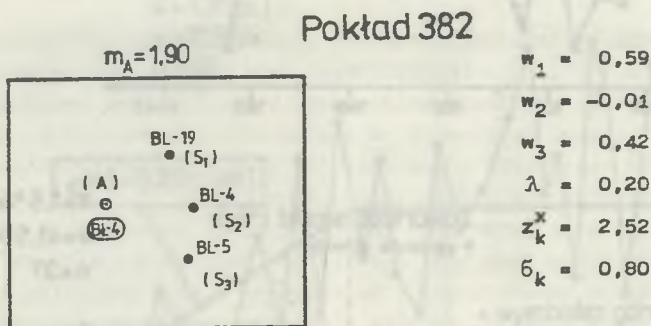
\bar{x} - mean arithmetic value, v - variation coefficient, n - number of data, s^2 - variance

3. PROGNOZOWANIE MIĄŻSZOŚCI POKŁADU W PUNKTACH

Stosując opisaną metodę kriginu punktowego określono miąższości pokładów węgla w 10 punktach, rozpatrywanego obszaru, osobno dla pokładu 382 i 385/2. Wytypowane punkty pokrywały się z miejscami, w których wykonano otwory wiertnicze i w których dokonany był pomiar miąższości pokładów. Znajomość rzeczywistej wartości tego parametru w punkcie, dla którego prowadzona była ocena, pozwoliło na zweryfikowanie efektywności zastosowanej metody. Wszelkie niezbędne obliczenia wykonano na podstawie wzorów (2), (3), (4).

W procedurze obliczeniowej podstawę oszacowania stanowiły dane o miąższości pochodzące z otworów otaczających dany punkt, lecz położone od niego nie dalej niż 2 km. Przyjęcie takiego ograniczenia podyktowane było tym, iż przy pseudoregularnej sieci otworów otwory dalsze pozostają zazwyczaj "w cieniu" otworów bliższych, a zatem nie wnoszą nowej, istotnej informacji do oceny miąższości w punkcie.

Sposób przeprowadzenia procedury kriginu zilustrowano poniższym przykładem dla pokładu 382. Oceny miąższości dokonano dla punktu (A) odpowiadającego otworowi Bł-4 (rys. 3). Wykorzystano do tego celu dane z trzech



Rys. 3. Plan usytuowania punktu oszacowania miąższości pokładu (A) i punktów rozpoznania (otworów - S)

m_A - rzeczywista miąższość pokładu w punkcie A, w_i - współczynniki wagowe przypisywane otworom (S), λ - mnożnik Lagrange'a, Z_k^x - miąższość pokładu w punkcie A, oszacowana metodą kriginu punktowego, σ_k - błąd kriginu

Fig. 3. Location plan of point of seam thickness estimation (A) and exploratory points (boreholes - S)

m_A - real thickness of seam at A point, w_i - weighting coefficient calculated for boreholes (S), λ - Lagrange multiplier, Z_k^x - thickness of seam at A point, estimated by point kriging method, σ_k - kriging error

otworów, które znalazły się w zasięgu poniżej 2 km (S). Miąższości pomierzone w tych otworach wynoszą: $m_1 = 2,35$ (BL-19), $m_2 = 2,15$ (BL-4), $m_3 = 2,75$ (BL-5). Z mapy określono odległości dla wszystkich par otworów bazowych (S_1-S_2 , S_1-S_3 , S_2-S_3), a następnie dla każdej pary: otwór bazowy-punkt oszacowania (S_1-A , S_2-A , S_3-A).

Na podstawie równania przyjętego modelu zmienności (rys. 2 - $\gamma(h) = 0,25 h$) ustalono dla każdej odległości wymienionych par punktów wartości semiwariogramu. Pozwoliło to na sporządzenie według wzoru (3) układu równań krigingu, którego rozwiązanie daje wartości współczynników wagowych (w_i):

$$\begin{bmatrix} 0; & 0,29; & 0,48; & 1 \\ 0,29; & 0; & 0,21; & 1 \\ 0,48; & 0,21; & 0; & 1 \\ 1; & 1; & 1; & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,40 \\ 0,46 \\ 0,48 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Pierwsza macierz zawiera wartości semiwariogramu odpowiadające odległościom między parami otworów (S). Macierz z prawej strony równania zawiera natomiast wartości semiwariogramu dla odległości między otworami bazowymi (S) i punktem oszacowania (A).

Wyznaczone z układu równań współczynniki wagowe, przypisywane otworom bazowym, wynoszą: $w_1 = 0,59$, $w_2 = 0,01$, $w_3 = 0,42$, zaś mnożnik Lagrange'a: $\lambda = 0,20$.

Miąższość pokładu w punkcie oszacowania (A), oceniona zgodnie ze wzorem (2), będzie równa:

$$Z_k^x = \sum_{i=1}^n w_i \cdot m_i = 0,59 \cdot 2,35 + (-0,01) \cdot 2,15 + 0,42 \cdot 2,75 = 2,52 \text{ m}$$

Błąd krigingu zgodnie ze wzorem (4) wynosi:

$$\sigma_k^2 = 0,59 \cdot 0,40 + (-0,01) \cdot 0,46 + 0,42 \cdot 0,48 + 0,20 = 0,633 \text{ m}^2,$$

co w jednostkach analizowanego parametru daje wartość:

$$\sigma_k = \sqrt{0,633} \text{ m} = 0,80 \text{ m}.$$

Mozna więc przypuszczać, z prawdopodobieństwem 68,3%, iż oszacowana w punkcie A miąższość pokładu nie będzie się różnić od rzeczywistej (stwierdzonej) o więcej niż 0,8 m. Dla kolejnych poziomów prawdopodobieństwa, równych: 95,4% i 99,7%, różnica ta nie powinna przekroczyć odpowiednio: 1,6 m oraz 2,4 m. W analizowanym przypadku stwierdzona w otworze miąższość pokładu wynosi 1,90 m. Różnica oszacowanej i stwierdzonej miąż-

szości w punkcie A jest więc równa 0,62 m i jest mniejsza od pojedynczej wielkości błędu kriginu.

Przedstawioną procedurę oszacowania miąższości zastosowano każdorazowo dla 10 wytypowanych punktów w pokładach 382 i 385/2. Przy typowaniu tych punktów starano się zapewnić bardzo różnorodny zbiór pod kątem zróżnicowania miąższości oraz wzajemnego położenia punktów oszacowań względem otworów otaczających, które stanowiły podstawę oceny miąższości. Liczba otworów wykorzystanych w kolejnych wariantach procedury kriginu była zmienna i wynosiła od 3 do 7.

4. WERYFIKACJA PRZYDATNOŚCI KRIGINU PUNKTOWEGO DO PROGNOZOWANIA MIĄZSZOŚCI POKŁADÓW

Weryfikację przydatności zastosowanej metody przeprowadzono przez porównanie różnicy między oszacowaną i stwierdzoną miąższością w punkcie z wielkością błędu kriginu.

Obie wielkości zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Zestawienie błędów oceny miąższości (Δ) i błędów kriginu (δ_k)

Lp.	Symbol otworu (A)	Błąd oceny ($\Delta = \sum_k^x - m_A$)	Błąd kriginu (δ_k)	$(\Delta) < 1 \delta_k (+)$ $(\Delta) < 2 \delta_k (++)$ $(\Delta) < 3 \delta_k (+++)$
1	Bł - 4	a) + 0,62 b) - 0,14	0,80 0,27	+ +
2	BL - 19	a) - 0,42 b) + 0,72	0,58 0,25	+ +++
3	BL - 3	a) + 0,25 b) - 0,09	0,56 0,24	+ +
4	BL - 01	a) + 0,53 b) - 0,13	0,36 0,18	++ +
5	BL - 10	a) + 0,14 b) + 0,55	0,39 0,20	+ +++
6	BL - 23	a) + 0,16 b) - 0,03	0,28 0,21	+ +
7	Bł - 15	a) - 0,24 b) - 0,11	0,56 0,23	+ +
8	Bł - 5	a) - 0,63 b) - 0,25	0,57 0,26	++ +
9	Bł - 15	a) - 0,45 b) - 0,15	0,72 0,28	+ +
10	BL - 20	a) + 0,05 b) - 0,11	0,51 0,20	+ +

a) - pokład 382,

b) - pokład 385/2.

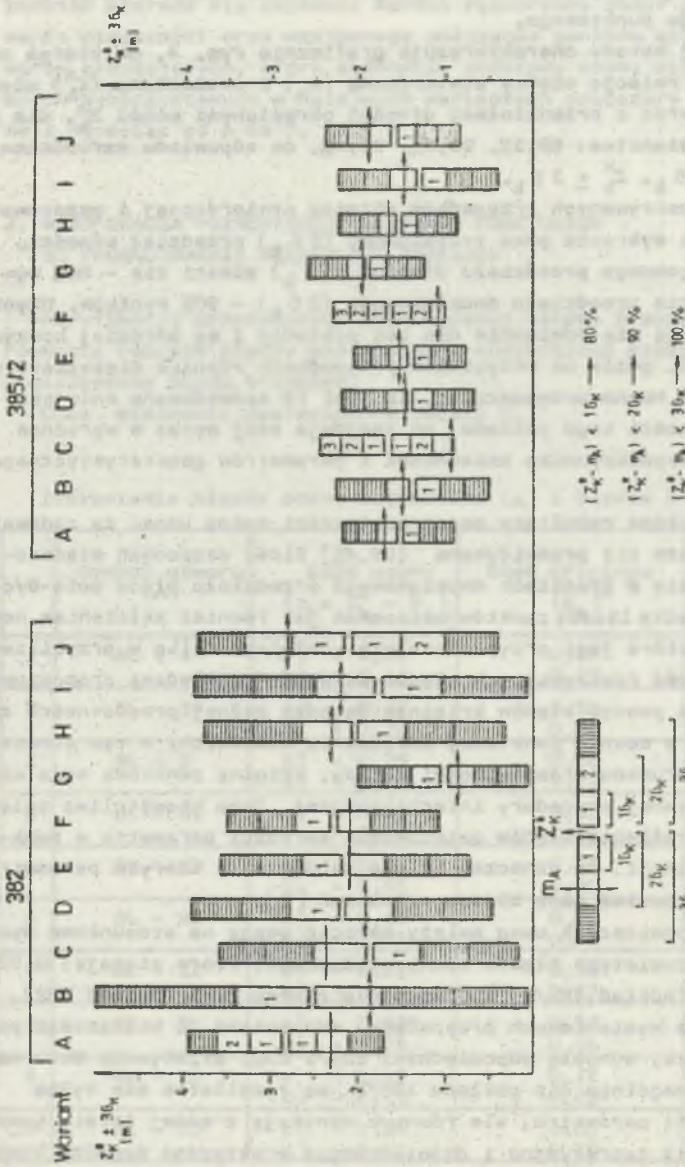
Średni błąd oceny ($\bar{\Delta}$) miąższości w punktach dla pokładu 382 równy jest zero, zaś dla pokładu 385/2 różni się tylko nieznacznie od zera i wynosi 0,03 m. Świadczy to o nieobciążoności estymatora Z_k^x , co jest równoznaczne z niewystępowaniem błędów systematycznego w ocenie miąższości przy zastosowaniu kriginu punktowego.

Efektywność tej metody charakteryzuje graficznie rys. 4, na którym zaznaczono wzajemną relację między stwierdzoną (m_A) i oszacowaną (Z_k^x) miąższością pokładu, wraz z przedziałami ufności określonymi wokół Z_k^x , dla poziomów prawdopodobieństwa: 68,3%, 95,4%, 99,7%, co odpowiada wartościom: $Z_k^x \pm 16_k$, $Z_k^x \pm 26_k$, $Z_k^x \pm 36_k$.

W żadnym z rozpatrywanych przypadków różnica stwierdzonej i oszacowanej miąższości nie wykracza poza trzysigmovy (36_k) przedział ufności. W obrębie jednosigmowego przedziału ufności (16_k) mieści się - 80% wyników, zaś w obrębie przedziału dwusigmowego (26_k) - 90% wyników. Uzyskane wyniki kształtują się odmiennie dla obu pokładów i są bardziej korzystne dla pokładu 382, gdzie we wszystkich przypadkach różnice miąższości są mniejsze od 26_k . Można przypuszczać, iż jest to spowodowane mniejszą zmiennością miąższości tego pokładu, co znajduje swój wyraz w wyraźnie niższej wartości współczynnika zmienności i parametrów geostatystycznego modelu zmienności.

Generalnie uzyskane rezultaty oceny miąższości można uznać za zadowalające. Nieco mniejsza niż przewidywana (95,4%) ilość oszacowań miąższości mieszczących się w granicach dwusigmowego przedziału błędów może być spowodowana niewielką liczbą punktów oszacowań jak również założeniem normalności błędów, które jest przypuszczalnie spełnione tylko w przybliżeniu. Wysoka zgodność rzeczywistych błędów oszacowań z błędami prognozowanymi wyrażonymi za pomocą błędów kriginu dowodzi pełnej przydatności zastosowanej metody w ocenie punktowej parametrów złożowych. W tym sensie, przy spełnieniu warunków stosowalności metody, krigin punktowy może więc pełnić rolę efektywnej procedury interpolacyjnej. Jego niewątpliwą zaletą jest możliwość określenia błędów oszacowania wartości parametru w punktach jego interpolacji, co oznacza, iż dla każdej mapy izarytm parametru można sporządzić również mapę błędów oszacowań [1].

Na marginesie powyższych uwag należy zwrócić uwagę na stosunkowo wysokie wartości rzeczywistych błędów oceny miąższości, które sięgają: 0,72 m dla otworu BL-19 (pokład 385/2) i 0,63 m dla otworu BL-5 (pokład 382). Błędy względne dla wymienionych przypadków, odniesione do miąższości pomierzonej w otworze, wynoszą odpowiednio: 80% i 23%. Relatywnie duże wartości błędów, szczególnie dla pokładu 385/2, są rezultatem nie tylko znacznej zmienności parametru, ale również wynikają z samej istoty interpolacji. Rozważania teoretyczne i doświadczenia praktyczne dowodzą bowiem, iż ocena wartości parametru w punkcie jest zawsze obciążona większym błędem niż ocena średniej wartości parametru we fragmencie złoża, w obrębie którego znajduje się ten punkt.



Rys. 4. Porównanie ocen miąższości uzyskanych metodą kriginu (Z_k^X) z miąższościami pokładów stwierdzonymi w wytypowanych otworach (m_A)

1,2,3 - przedziały ufności odpowiadające 16 k, 26 k, 36 k (dla poziomu ufności: 68,3%, 95,4%, 99,7%)

Fig. 4. Comparison of thicknesses estimated by kriging (Z_k^X) with real seams thicknesses found in appointed boreholes (m_A)

1,2,3 - confidence intervals corresponding to 16 k, 26 k, 36 k (for probability level: 68,3%, 95,4%, 99,7%)

5. ZAKOŃCZENIE

1. Analiza zmienności parametrów złożowych w wytypowanych pokładach LZW potwierdziła wyniki uzyskane we wcześniejszych badaniach polskich złóż węgla. Dotyczy to w szczególności:

- nielosowego charakteru zmienności miąższości pokładów,
- losowego charakteru zmienności parametrów jakościowych (zawartości popiołu, siarki, wartości opałowej),
- zindywidualizowania pokładów, co wyraża się różnorodnością typów modeli zmienności miąższości lub zróżnicowaniem parametrów modeli.

2. Z uwagi na styl zmienności parametrów złożowych procedura krigingu może być stosowana efektywnie tylko do oceny miąższości pokładów węgla w LZW. Ocena parametrów jakościowych winna być prowadzona na podstawie klasycznych metod statystycznych.

3. Zastosowanie krigingu punktowego do oceny miąższości wybranych pokładów LZW wykazało pełną przydatność tej metody, co wyraża się wysokim stopniem zgodności oszacowanych i stwierdzonych wartości miąższości w punktach pomiarowych.

4. W miarę postępu rozpoznania złoża wyrobiskami górniczymi można oczekiwać uściślenia wartości parametrów modeli zmienności, a w konsekwencji dalszego wzrostu dokładności oceny miąższości pokładów przy zastosowaniu procedury krigingu.

LITERATURA

- [1] Clark J.: Practical geostatistica. Applied Science Publishers LTD, London 1979, s. 129.
- [2] Matheron G.: Osnovy prikladnoj geostatistiki. Wyd. "Mir", Moskwa 1968, s. 407.
- [3] Mikrut J.: Możliwości i korzyści ze stosowania metod geostatystycznych w gologii. Zesz. Nauk. Polit. Śl., s. Górnictwo, z. 149, ss. 97-105. Gliwice 1986.
- [4] Mucha J. i in.: Geostatystyczna analiza zmienności pokładów węgla kamiennego. Oprac. niepubl., 1984, Archiwum IHIGI AGH, s. 34.
- [5] Mucha J., Kokesz Z.: Zastosowanie geostatystyki i krigingu w ustalaniu zasobów węgla kamiennego i prognozowaniu parametrów złoża. Zesz. Nauk. Polit. Śl., s. Górnictwo, z. 149, ss. 107-121. Gliwice 1986.
- [6] Mucha J., Kokesz Z.: Testowanie efektywności krigingu w szacowaniu zasobów złóż węgla kamiennego w Lubelskim Zagłębiu Węglowym. Oprac. niepubl., 1986, Archiwum IHIGI AGH, s. 33.
- [7] Nieć M. i in.: Opracowanie metodyki oceny średnich wartości parametrów pokładów i zasobów metodą krigingu dla złóż węgla kamiennego. Oprac. niepubl. 1985, Archiwum IHIGI AGH, s. 55.

- [8] Peróń J.: Opis parametrów złóż węgla z wykorzystaniem EMC. "Technika Poszukiwań Geologicznych", 1984, nr 5-6, ss. 36-43.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Józef BENDKOWSKI

Wpłynęło do Redakcji w lutym 1987 r.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЯ ПО МЕТОДУ КРИГИНГА В УСЛОВИЯХ ЛЮБЕЛЬСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Резюме

В работе дан эскиз метода прогнозирования значения параметров месторождений в точках с применением упрощенной процедуры кригинга, называемой точечным кригингом. Применяя геостатистический метод и статистический метод описана изменчивость параметров месторождения в двух указанных пластах ЛУБ. Показано, что оценка величины параметров месторождения с использованием точечного кригинга, может быть получена только по отношению к толщине пластов. В случае качественных параметров оценка такая невозможна в виду на случайный характер изменчивости этих параметров.

Проверена эффективность точечного кригинга в 20 точках исследуемых пластов с известной толщиной. Сравнение действительной толщины пластов с её значениями, оцениваемыми методом кригинга, показало удовлетворительную сходность результатов. Подтверждает это пригодность применяемого метода для прогнозирования толщины пластов Любельского Угольного Бассейна.

PREDICTION OF VALUES OF COAL DEPOSITS PARAMETERS BY THE KRIGING METHOD IN LUBLIN COAL BASIN CONDITIONS

Summary

A method of parameters value prediction in points using the simplified kriging method called point kriging is proposed. Using geostatistical and statistical methods variation of deposit parameters was described in the proposed LWZ seams. The estimation of the deposit parameters is possible only in the case of deposit thickness when the point kriging is used. In the case of qualitative parameters (sulphur and ash contents, calorificity) such an estimation is impossible because of the random character of the parameters variation. Efficiency of the point kriging was tested in 20 points of investigated seams where thickness was known. Comparison of the real values of seams thickness with the results of estimation using the kriging method shows satisfactory accordance of the results. It indicates that this method is useful for the thickness prediction of the LWZ seams.