

ZBIGNIEW KOKESZ*

Geostatystyczna analiza zmienności zawartości siarki w wybranych pokładach węgla GZW

Wprowadzenie

Problematyka zmienności parametrów złożowych odgrywa istotną rolę w praktycznym rozwiązywaniu zadań związanych z prowadzeniem działalności geologiczno-górnicznej na złożu. Dysponowanie matematycznym opisem zmienności jest nieodzowne do rozwiązywania wielu zagadnień, takich jak: optymalizacja rozpoznawania złóż, szacowanie parametrów złożowych i zasobów, projektowanie eksploatacji złoża. Badanie zmienności ma również aspekt poznawczy. Wyniki analizy zmienności złóż mogą stanowić źródło dodatkowych informacji o procesach genetycznych, które doprowadziły do ich powstania.

Dotychczas zaproponowano wiele formuł dla opisu zmienności parametrów złożowych opartych na różnych jej modelach.

Szczególnie atrakcyjną metodę opisu, zważywszy na możliwość pozyskiwania szczegółowych informacji o charakterze zróżnicowania wartości parametrów złożowych, stanowi geostatystyka. Metodę badania zregionalizowanych zmiennych losowych określaną jako geostatystyka opracował Matheron, wprowadzając do opisu ich zróżnicowania semiwariogram. Funkcja ta charakteryzuje zależność między średnim kwadratem różnic wartości badanej cechy i odległością między obserwacjami, a zatem strukturę jej zmienności (np. Journel, Huijbregts 1978). Umożliwia ona ustalenie zasięgu autokorelacji obserwacji, a także określenie udziału losowego i nielosowego składnika w ogólnej zmienności parametru.

Wykorzystywanie semiwariogramów w badaniach złóż przynosi wiele korzyści. Znajomość funkcji strukturalnych parametrów złożowych umożliwia podejmowanie decyzji co

* Dr inż., Katedra Geologii Złożowej i Górniczej, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków;
e-mail: eszwed@geolog.geol.agh.edu.pl

do celowości sporządzania map izolinowych i zastosowania krigingu w ocenie parametrów złożowych. Warunkiem koniecznym efektywnego stosowania tej procedury jest nielosowy charakter zmienności parametrów złożowych.

W artykule przedstawiono wyniki analizy struktury zmienności zawartości siarki całkowitej w węglu w wytypowanych pokładach w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Badania miały na celu ustalenie charakteru zmienności parametru w pokładach, w tym struktury zmienności i jej modelu. Podjęto próbę wyjaśnienia przyczyn obserwowanego zróżnicowania semiwariogramów oraz wyróżnienia cech charakterystycznych struktury zmienności parametru (charakteryzowaną za pomocą semiwariogramów) poszczególnych grup pokładów. Badania miały również aspekt praktyczny. Wyprowadzone wnioski dotyczą metodyki badania zmienności złóż węgla kamiennego i wykorzystania wyników tych badań przy dokumentowaniu zasobów i planowaniu eksploatacji.

Metody geostatystyczne były już wcześniej stosowane do opisu zmienności cech jakościowych węgla kamiennego. Przedmiotem analizy były przede wszystkim takie parametry jak: zawartość popiołu, zawartość siarki, wartość opałowa (np. Dzedzej, Kotulski 1990; Kokesz 1990; Peroń 1984). Analizowano również zmienność zawartości fosforu (Morga 2007) oraz pierwiastków toksycznych w węglu (Duda, Mucha 1995). Wyniki badań geostatystycznych wykorzystywane były dla potrzeb optymalizacji rozpoznania i opróbowania pokładów węgla (Duda, Mucha 1995; Jerschina, Mucha 1992; Kokesz 1987), prognozowania wartości parametrów złożowych (Kokesz, Mucha 1987; Mikrut, Jurecka 1990; Mikrut, Polak 1987; Morga 2007; Mucha, Kokesz 1986; Mucha, Wasilewska 2005, 2006; Peroń 1985). Próbę interpretacji genetycznej semiwariogramów parametrów złożowych zaprezentowano w pracy (Nieć i in. 1988).

Przeprowadzone dotychczas badania wskazywały na dużą różnorodność modeli opisujących strukturę zmienności parametrów jakościowych pokładów węgla (np. Kokesz 1990; Mucha, Kokesz 1986). Nie dopatrzono się związków pomiędzy typem litostratygraficznym pokładów i typami zmienności parametrów złożowych. Zwrócono jedynie uwagę na występowanie pewnych prawidłowości w charakterystyce zmienności niektórych parametrów. Stwierdzono, że zmienność zawartości siarki w węglu w większości przypadków ma charakter nielosowy, zaś zawartość popiołu w węglu – losowy. Zwrócono także uwagę na możliwość i celowość stosowania metod geostatystycznych i krigingu w badaniach złóż węgla kamiennego.

Podjęte w ramach niniejszej pracy badania miały dostarczyć dalszych danych na temat struktury zmienności zawartości siarki w węglu w GZW. W celu pozyskania dokładniejszych informacji o charakterze zmienności parametru poszerzono zakres obserwacji, obejmując analizą pokłady z różnych ogniw stratygraficznych karbonu.

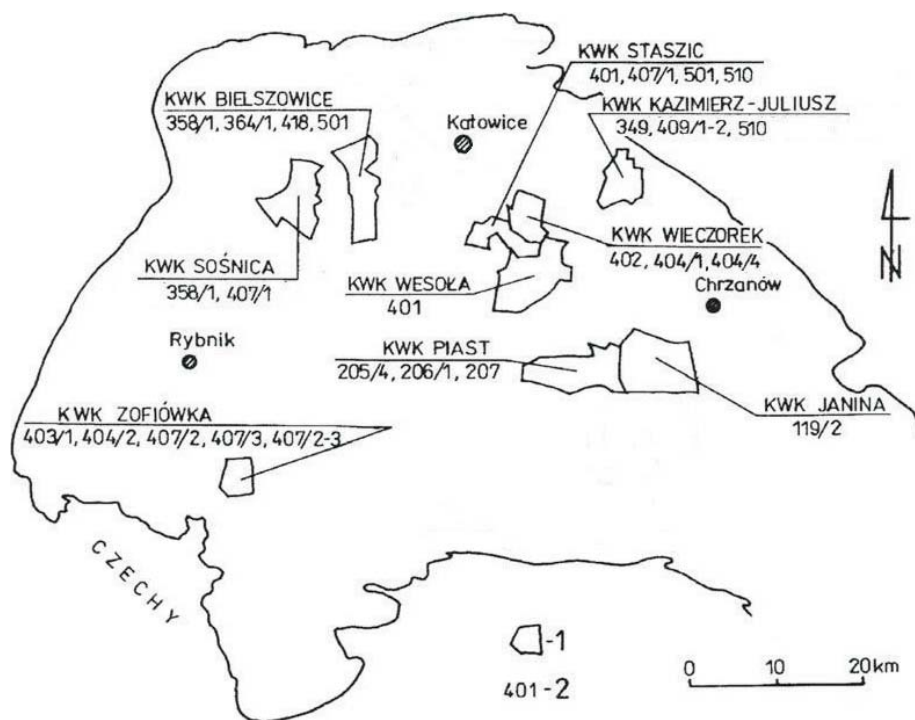
1. Metodyka badań

Dokonano analizy zmienności zawartości siarki całkowitej w wybranych pokładach w obrębie górnośląskiej serii piaskowcowej – w warstwach siodłowych (grupa 500) i rudz-

kich (dolna część grupy 400), serii mułowcowej – w warstwach załęskich (górną część grupy 400 i dolną część grupy 300) oraz krakowskiej serii piaskowcowej – w warstwach łaziskich (grupa 200) i libiąskich (grupa 100). Wytypowane do badań pokłady reprezentują różne ogniwa stratygraficzne i różne warunki akumulacji materiału węglowego z uwagi na dynamikę środowiska sedymentacji.

Analizowano zmienność zawartości siarki całkowitej w węglu w stanie roboczym (S_t^r). Dla potrzeb porównawczych dokonano również analizy zmienności zawartości siarki całkowitej pokładów włączając do oceny przerosty w nich występujące. Źródłem danych były wyniki opróbowania pokładów w wyrobiskach górniczych i w otworach wiertniczych. Zbadano ogółem 21 pokładów węgla w 8 kopalniach (w tym 1 w warstwach libiąskich, 3 w warstwach łaziskich, 9 w warstwach załęskich, 6 w warstwach rudzkich i 2 w siodłowych) (rys. 1).

Zmienność jakości węgla w granicach poszczególnych kopalń analizowano na podstawie danych pochodzących z opróbowania otworów wiertniczych i wyrobisk górniczych. Stopień rozpoznania badanych pokładów odpowiadał kat. A + B + C1. Rozmieszczenie otworów na badanych obiektach nie jest w pełni regularne. Skrajnie nieregularnym roz-



Rys. 1. Lokalizacja badanych złóż węgla kamiennego
1 – badane złoża, 2 – analizowane pokłady

Fig. Localization of the studied hard coal deposits
1 – studied deposits, 2 – analysed seams

mieszczeniem charakteryzują się punkty opróbowania pokładów w wyrobiskach górniczych. Odległości między miejscami poboru prób wynoszą niekiedy od kilkudziesięciu do kilkuset metrów.

Zbiory danych wynosiły od około 30 do około 100 obserwacji. Ich wielkość uzależniona była od rozmiaru badanego obiektu i stopnia jego rozpoznania.

Badania obejmowały podstawową charakterystykę statystyczną badanych zbiorów obserwacji, charakterystykę rozkładów za pomocą histogramów oraz geostatystyczny opis struktury zmienności parametru. Opis geostatystyczny zawierał obliczenie semiwariogramów i ich aproksymację modelami teoretycznymi.

Analiza semiwariogramów pozwoliła na określenie udziału składnika losowego i nielosowego w obserwowanej zmienności badanego parametru. Ustalono wielkość obu składników zmienności dla odległości między obserwacjami (h) zmierzającej do zera. Udział składnika losowego dla $h \rightarrow 0$ w obserwowanej zmienności zawartości siarki określono ze wzoru:

$$Ul = \frac{C_0}{s^2} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

- C_0 – wariancja zmienności lokalnej parametru
(wyraz wolny w równaniu modelu semiwariogramu),
- s^2 – wariancja statystyczna.

Wielkość wariancji zmienności lokalnej C_0 definiuje się jako wartość, do której dąży semiwariogram, gdy odległość między obserwacjami zdąży do zera. Jest to widoczna nieciągłość na początku przebiegu semiwariogramu, której przyczyny najczęściej należy upatrywać w obecności lokalnych struktur zmienności o rozmiarach mniejszych od rozstawu sieci rozpoznawczej. Udział składnika nielosowego Un jest dopełnieniem wartości wskaźnika Ul do 100%.

Zbyt ubogie zbiory danych uniemożliwiały przeprowadzenie badania anizotropii i stabilności struktury zmienności parametru. Jedynie w pokładzie węgla 403/1 w KWK Zofiówka z uwagi na dostateczną liczbę obserwacji dokonano analizy obszarowego zróżnicowania zawartości siarki. Do analizy obszarowego zróżnicowania struktury zmienności parametru posłużyły semiwariogramy obliczone dla mniejszych partii wydzielonych w granicach kopalni.

Łącznie dokonano obliczenia 27 uśrednionych semiwariogramów zawartości siarki całkowitej w węglu. Wśród obliczonych 27 semiwariogramów zawartości siarki 25 charakteryzuje strukturę zmienności w granicach poszczególnych kopalń, a 2 opisują zmienność na mniejszych obszarach.

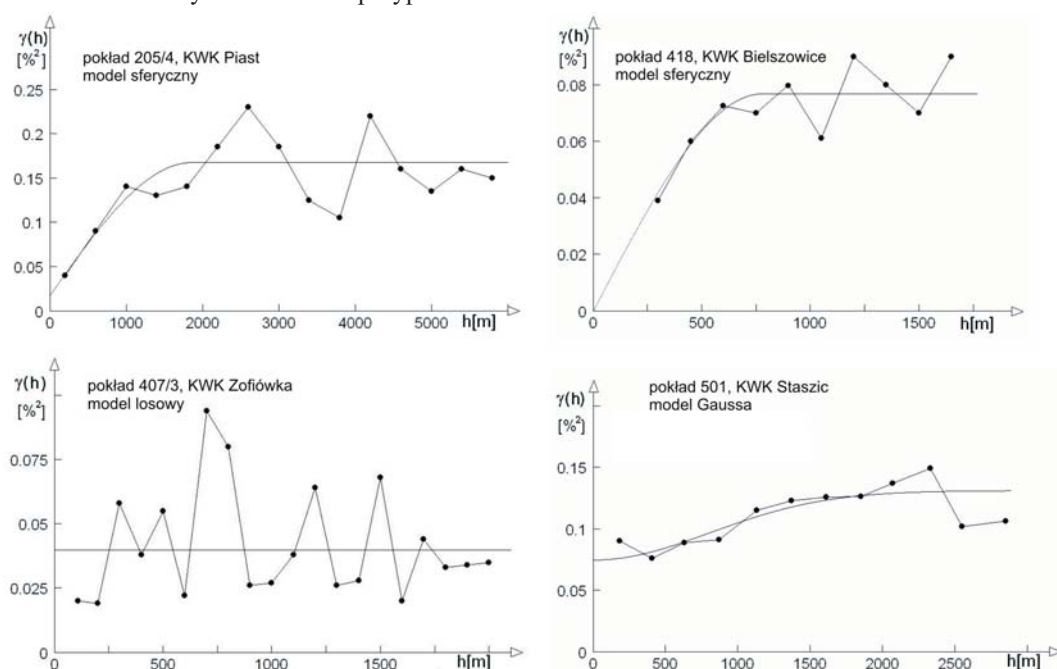
2. Struktura zmienności parametru

W Górnośląskim Zagłębiu Węglowym średnia zawartość siarki całkowitej wynosi niewiele ponad 1%. Obserwuje się jej zróżnicowanie w zależności od pozycji stratygraficznej pokładu (np. Górecki 1985; Nieć 1996).

W analizowanych pokładach średnia zawartość siarki całkowitej (S_t^r) wynosi od 0,36 do 1,98% (tab. 1). Badane pokłady różnią się parametrami jakościowymi. Średnia zawartość popiołu (A_t^r) w analizowanych pokładach wynosi od 6,3 do 20,8%, a średnia wartość opałowa węgla (Q_t^r) waha się od 21,2 do 32,2 MJ/kg.

Badane pokłady charakteryzują się różną względną zmiennością cech jakościowych. Największą zmiennością charakteryzuje się zawartość siarki, najmniejszą natomiast wartość opałowa. Współczynniki zmienności zawartości siarki wynoszą od 13,6 do 164,5% (tab. 1).

Obserwuje się znaczne zróżnicowanie semiwariogramów empirycznych, opisujących zmienność zawartości siarki całkowitej w węglu (rys. 2; tab. 1). W niektórych przypadkach semiwariogramy mają przebiegi bardziej nieregularne. Można oczekiwać, że spowodowane jest to małą liczebnością danych i skrajnie nierównomiernym rozmieszczeniem obserwacji. Zwraca jednak uwagę fakt, że zmienność badanego parametru można opisać jednym z modeli z ograniczonym wzrostem, którym najczęściej jest model sferyczny, rzadziej Gaussa, oraz modelem losowym. Model z nieograniczonym wzrostem, jakim jest model liniowy stwierdzono tylko w dwóch przypadkach.



Rys. 2. Semiwariogramy zawartości siarki całkowitej w wybranych pokładach węgla GZW

Fig. 2. Semi-variograms of the total sulphur content in selected coal seams from Upper Silesian Coal Basin

TABELA 1

Zestawienie wyników geostatystycznej analizy struktury zmienności zawartości siarki całkowitej w pokładach węgla kamiennego w GZW

TABLE 1

Results of the geostatistical analysis of the variability structure of the total sulphur content in hard coal seams – Upper Silesian Coal Basin

Pokład	Kopalnia	n	x_{sr} [%]	v [%]	s^2 [% ²]	L [m]	Model semiwariogramu	C_0 [% ²]	C [% ²]	$b \times 10^{-3}$	a [m]	UI [%]	Uwagi
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
119/2	Janina	73	1,98	62,9	1,5500	3 600	sferyczny	0,1300	1,3500		750	8,4	
205/4	Piast	56	0,98	40,8	0,1600	11 200	sferyczny	0,0180	0,1500		1850	11,3	
206/1	Piast	56	1,01	39,6	0,1600	11 200	sferyczny	0,0700	0,1000		1950	43,8	
207	Piast	81	1,38	34,8	0,2300	11 200	sferyczny	0,1500	0,0850		1850	65,2	
349	Kazimierz Juliusz	26	1,64	67,9	1,2400	6 400	liniowy	0,5000		0,4000		40,3	
358/1	Sośnica	35	1,23	34,9	0,1850	3 000	losowy	0,2000				100,0	
358/1	Bielszowice	75	0,99	41,4	0,1680	4 400	losowy	0,1650				98,2	
364/1	Bielszowice	32	0,98	55,1	0,2920	4 400	losowy	0,2900				99,3	
401	Staszic	24	0,76	40,8	0,0960	6 000	losowy	0,0960				100,0	
402	Wieczorek	28	0,73	24,1	0,0313	4 400	sferyczny	0,0100	0,0253		1400	31,9	
402 ^s	Wieczorek	34	0,72	38,1	0,0750	4 400	losowy	0,0760				100,0	
403/1	Zofiówka	113	0,79	17,9	0,0200	4 800	losowy	0,0200				100,0	
403/1	Zofiówka – rejon N	35	0,72	16,7	0,0144	2 400	losowy	0,0125				86,8	
403/1	Zofiówka – rejon S	42	0,98	164,5	2,5980	2 400	Gausa	0,8570	2,4000		1100	33,0	
404/1	Wieczorek	75	0,59	21,5	0,0163	5 000	sferyczny	0,0055	0,0107		1400	33,7	
404/1 ^s	Wieczorek	54	0,62	23,9	0,0221	5 000	losowy	0,0220				99,5	

TABELA 1. cd.

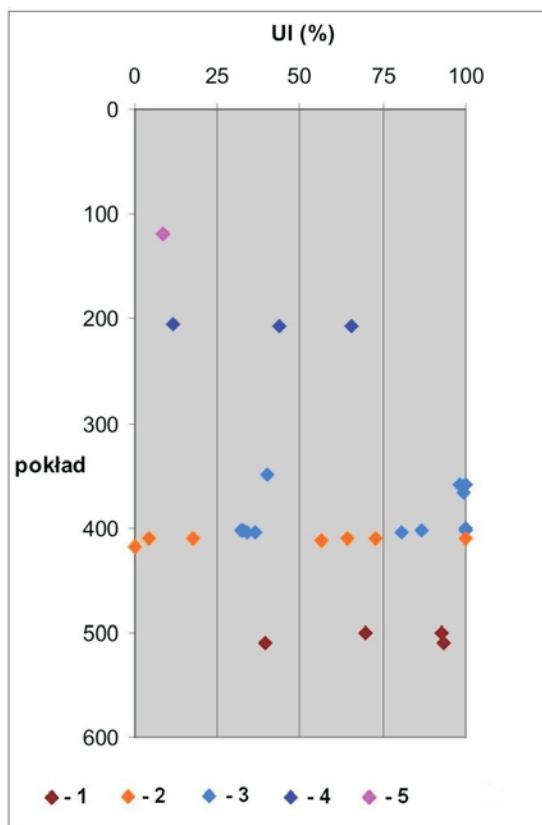
TABLE 1. cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
404/2	Zofiówka	74	0,66	17,9	0,0140	4 000	Gaussa	0,0113	0,0040		1020	80,7	
404/4	Wieczorek	58	0,85	33,2	0,0793	4 400	sferyczny	0,0290	0,0600		1300	36,6	
404/4x)	Wieczorek	58	0,74	33,3	0,0610	4 400	sferyczny	0,0245	0,0500		1170	40,2	
407/1	Sośnica	40	1,35	68,9	0,8650	2 400	Gaussa	0,1500	0,5240		940	17,3	
407/1	Staszic	51	0,77	36,1	0,0770	6 000	liniowy	0,0560		0,0187		72,7	
407/2	Zofiówka	37	0,87	20,2	0,0310	4 000	Gaussa	0,0200	0,0110		600	64,5	
407/3	Zofiówka	31	0,84	23,2	0,0380	4 000	losowy	0,0400				100,0	
407/2-3	Zofiówka	31	0,87	16,6	0,0210	4 400	sferyczny	0,0009	0,0153		900	4,3	
409/1-2	Kazimierz Juliusz	23	1,84	42,9	0,6240	6 000	Gaussa	0,3500	0,3900		1670	56,1	
418	Bielszowice	53	0,63	38,2	0,0580	3 800	sferyczny	0,0000	0,0770		780	0,0	
501	Staszic	61	0,60	54,8	0,1080	6 000	Gaussa	0,0750	0,0560		1970	69,4	
501	Bielszowice	54	0,78	28,2	0,0484	4 000	losowy	0,0450				93,0	
510	Kazimierz Juliusz	27	1,25	90,4	1,2720	6 800	losowy <2250	0,5000				39,3	▲
510	Staszic	63	0,36	33,3	0,0150	6 000	losowy	0,0140				93,3	

Objaśnienia: x – zawartość siarki w pokładzie węgla wraz z przeroskami, n – liczba danych, x_{sr} – średnia arytmetyczna, v – współczynnik zmienności, s^2 – wariancja statystyczna, L – maksymalna odległość między obserwacjami (rozmiar badanego obiektu), C_0 – zmienność lokalna parametru wyrażona wariancją (wyraz wolny w równaniu modelu semiwariogramu), C – zmienność przestrzenna wyrażona wariancją, b – współczynnik nachylenia liniowego modelu semiwariogramu (wskaźnik intensywności zmienności parametru), α – zasięg semiwariogramu, U/l – udział składnika losowego w obserwowanej zmienności parametru, ▲ – przebieg semiwariogramu sugeruje obszarowe zróżnicowanie jakości węgla

W zróżnicowaniu zawartości siarki dość wyraźnie zaznacza się składnik nielosowy. Udział składnika losowego w obserwowanej zmienności parametru w badanych pokładach wynosi od 0 do 100%, średnio około 59% (rys. 3). W opisie struktury zmienności parametru przeważają modele nielosowe. Udział tych modeli w badanych pokładach wynosi 63%. Dominującymi typami semiwariogramów opisującymi strukturę zmienności zawartości siarki są modele z ograniczonym wzrostem – model sferyczny i Gaussa. Udział procentowy tych modeli w charakterystyce badanych pokładów wynosi 56% (tab. 2). Tylko zmienność zawartości siarki w dwóch pokładach: 407/1 w KWK Staszic oraz 349 w KWK Kazimierz-Juliusz opisuje model liniowy. W 10 przypadkach na 27 badanych stwierdzono losowy względnie zbliżony do losowego charakter zmienności parametru.

W przypadku modeli nielosowych, obserwowane na semiwariogramach wartości $\sqrt{C_0}$ odzwierciedlają wielkość lokalnego zróżnicowania parametru oraz przypadkowego błęd jego pomiaru.



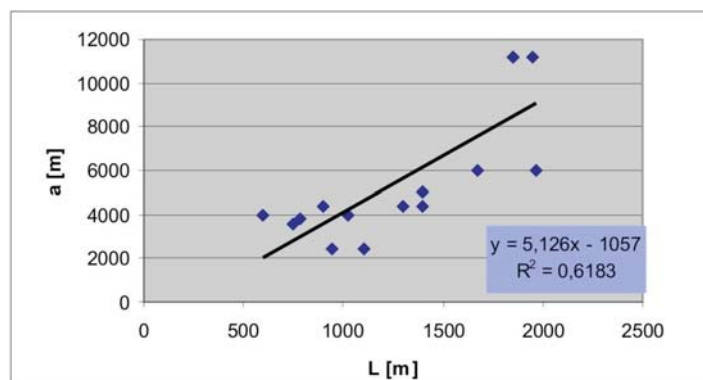
Rys. 3. Udział składnika losowego w zmienności zawartości siarki całkowitej; pokłady węgla w warstwach: 1 – siodłowych, 2 – rudzkich, 3 – załęskich, 4 – łaziskich, 5 – libiąskich

Fig. 3. Contribution of the random component in the variability of the total sulphur content coal seams from the following beds:

1 – siodłowa, 2 – rudzka, 3 – załęska, 4 – łaziska, 5 – libiąska

Zasięgi semiwariogramów w przypadku modeli z ograniczonym wzrostem wynoszą od 600 do 1970 m, średnio około 1300 m. Obserwowany na semiwariogramach zasięg autoskorelowania w pewnym stopniu warunkowany jest skalą obserwacji. Na większych obszarach obserwuje się większe zasięgi semiwariogramów sferycznych. Na rysunku 4 przedstawiono wykres, ukazujący zależność między zasięgiem semiwariogramu (a) a wielkością analizowanego obszaru złożowego. Za miarę wielkości badanego obiektu przyjęto maksymalną odległość między obserwacjami (L). Posługując się współczynnikiem determinacji można stwierdzić, że obserwowane różnice w zasięgach semiwariogramów sferycznych znajdują wy tłumaczenie w rozmiarach analizowanych partii pokładów w 62%.

Wyniki badań przedstawione w tabeli 2 sugerują występowanie pewnych zależności modelu zmienności zawartości siarki w węglu od pozycji litostratygraficznej pokładu.



Rys. 4. Korelacja liniowa zasięgu semiwariogramu zawartości siarki (a) i wielkości badanego obszaru złożowego (L)

Fig. 4. Linear correlation between the range of the sulphur content semi-variogram (a) and the size of the area of the analysed deposit (L)

TABELA 2

Charakterystyka struktury zmienności zawartości siarki całkowitej w węglu w GZW

TABLE 2

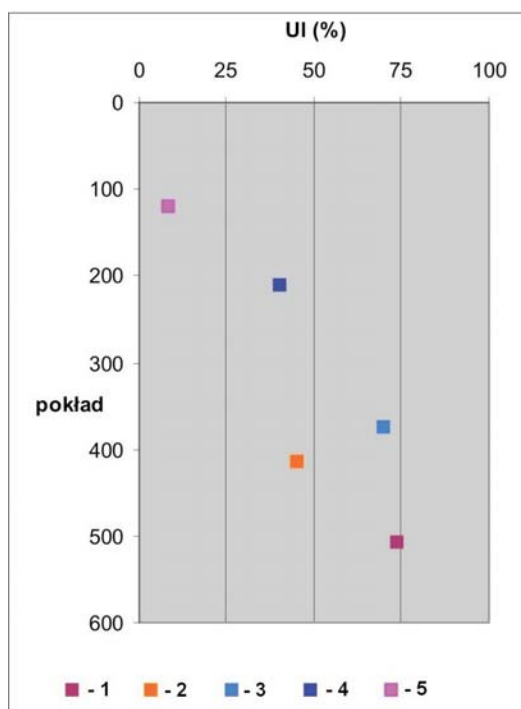
Characteristics of the variability structure of the total sulphur content in the coal – Upper Silesian Coal Basin

Seria litostratygraficzna	Warstwy	Liczba analizowanych obiektów	Liczba obserwowanych typów modeli zmienności			
			model z ograniczonym wzrostem		model liniowy	model losowy
			sferyczny	Gaussa		
krakowska seria piaskowcowa	libiąskie	1	1	–	–	–
	łaziskie	3	3	–	–	–
seria mułowcowa	orzeskie	0	–	–	–	–
	zaleskie	12	3	2	1	6
górnśląska seria piaskowcowa	rudzkie	7	2	3	1	1
	siodłowe	4	–	1	–	3

Strukturę zmienności w obrębie warstw załęskich i siodłowych częściej opisuje model losowy. Obserwuje się większy udział składnika losowego w obserwowanej zmienności parametru w tych pokładach. Udział tego składnika wynosi średnio około 71% (rys. 5). Zmienność pokładów w innych seriach litostratygraficznych częściej opisuje model sferyczny lub Gaussa, rzadziej model liniowy. Zwraca uwagę mniejszy udział w tych pokładach modeli losowych. Odmienny charakter struktury zmienności zawartości siarki należałoby po części wiązać ze zróżnicowanymi procesami akumulacji siarczków żelaza.

Zwraca uwagę znaczny udział modeli Gaussa w charakterystyce struktury zmienności zawartości siarki (tab. 2). Semiwariogramy tego typu, charakteryzujące się parabolicznym przebiegiem w pobliżu początku wykresu ukazują, że zmienność tego parametru na małych obszarach ma niekiedy charakter zbliżony do losowego, a prawidłowości występują dopiero na większych obszarach. Z przebiegu funkcji strukturalnych typu Gaussa wynikałoby, że rozmiary takich stref wynoszą od około 300×300 m do około 750×750 m.

Zawartość siarki całkowitej w pokładzie stanowi jeden z parametrów kryterialnych uwzględnianych przy dokumentowaniu złóż węgla kamiennego. Zawartość siarki zgodnie

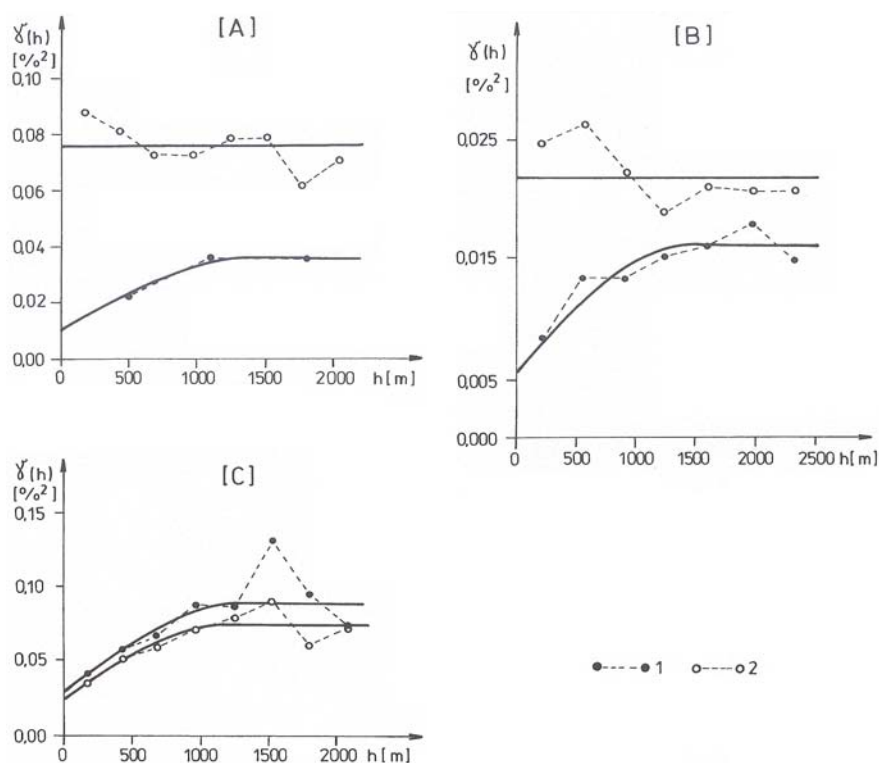


Rys. 5. Średni udział składnika losowego w zmienności zawartości siarki całkowitej w pokładach węgla należących do poszczególnych serii litostratygraficznych karbonu; pokłady w warstwach: 1 – siodłowych, 2 – rudzkich, 3 – załęskich, 4 – łaziskich, 5 – libiąskich

Fig. 5. Mean contribution of the random component in the variability of the total sulphur content in the coal seams from particular lithostratigraphic series of the carbon seams from the following beds: 1 – siodłowa, 2 – rudzka, 3 – załęska, 4 – łaziska, 5 – libiąska

z obowiązującymi kryteriami bilansowości określa się w pokładzie węgla wraz z przerostami. Wyniki prowadzonych badań wskazują, że uwzględnienie przerostów prowadzi często do uzyskiwania odmiennych modeli zmienności parametru w stosunku do stwierdzanych dla węgla bez przerostów. Jako przykład służyć mogą dane przedstawione na rysunku 6.

Na rysunku 6 przedstawiono przykłady funkcji strukturalnych opracowanych dla zawartości siarki całkowitej w węglu bez przerostów i z przerostami. Dla zobrazowania zjawiska uwzględniono przerosty skał nie węglowych o grubości ponad 5 cm. Obecność przerostów może niekiedy prowadzić do znacznej modyfikacji obserwowanej struktury zmienności parametru. W analizowanych pokładach 402 i 404/1 w KWK Wieczorek zmienność parametru kryterialnego ma charakter losowy, podczas gdy jakość węgla bez przerostów opisują modele sferyczne semiwariogramów świadczące o występowaniu prawidłowości w zmienności zawartości siarki. Obserwowane na semiwariogramach sferycznych i Gaussa zasięgi

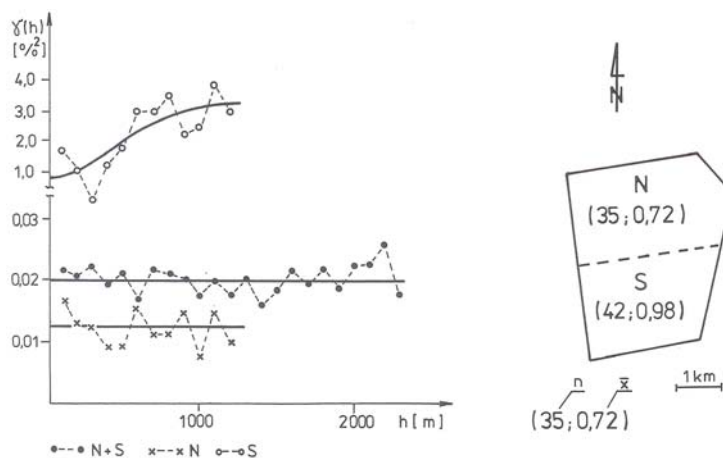


Rys. 6. Wpływ przerostów na obserwowaną strukturę zmienności zawartości siarki
 A – pokład 402, KWK Wieczorek, B – pokład 404/1, KWK Wieczorek, C – pokład 404/4, KWK Wieczorek
 1 – semiwariogram zawartości siarki całkowitej w węglu,
 2 – semiwariogram zawartości siarki całkowitej w pokładzie (węglu wraz z przerostami)

Fig. 6. Influence of the dirty partings (intercalations)
 on the observed variability structure of the sulphur content
 A – semi-variogram of the total sulphur content in the coal,
 B – semi-variogram of the total sulphur content in the seam (in the coal with intercalations)

autokorelowania obserwacji można tłumaczyć występowaniem na większych obszarach cienkich przerostów skał płonnych.

W złożach węgla kamiennego obserwuje się zróżnicowanie struktury zmienności zawartości siarki w węglu. Mała liczba obserwacji w poszczególnych pokładach uniemożliwia szczegółowe zbadanie tego zjawiska. Wyraża się ono różną wartością parametrów opisujących modele zmienności zawartości siarki lub odmienną postacią geostatystycznych modeli zmienności. Zróżnicowanie to daje się obserwować w obrębie pojedynczych pokładów na obszarze całego GZW, a nawet w granicach pojedynczych kopalń. Przedstawione na rysunku 7 wykresy ukazują zróżnicowanie semiwariogramów zawartości siarki skonstruowanych dla tego samego pokładu w różnych częściach kopalni i sugerują występowanie niestacjonarności w strukturze ich zmienności.



Rys. 7. Semiwariogramy zawartości siarki całkowitej w wydzielonych parcelach pokładu 403/1 w KWK Zofiówka

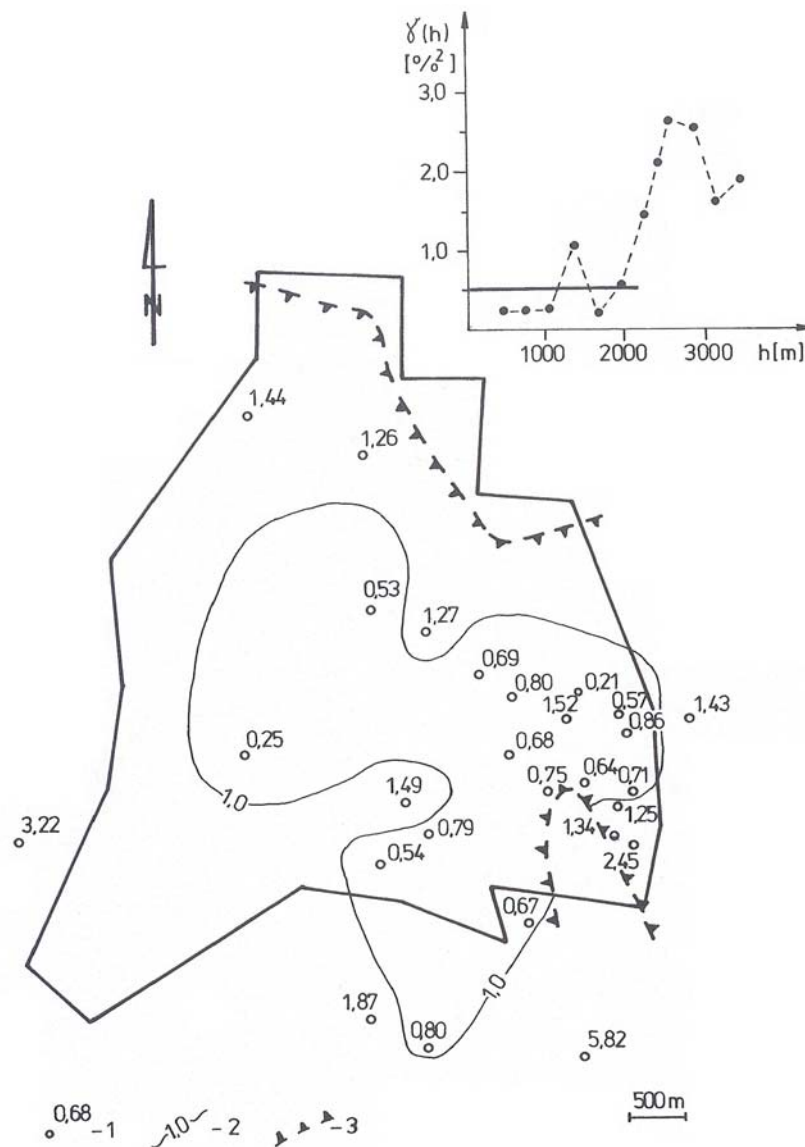
N, S – wyróżnione części pokładu, n – liczba danych, \bar{x} – średnia zawartość siarki w węglu

Fig. 7. Semi-variograms of the total sulphur content in the selected parts of the seam no. 403/1 in Zofiówka hard coal mine

N, S – selected parts of the seam, n – number of data, \bar{x} – arithmetic mean of the sulphur content in the coal

Do podobnych wniosków prowadzi analiza zróżnicowania zawartości siarki całkowitej w pokładzie 510 w KWK Kazimierz-Juliusz. Wykres semiwariogramu parametru ma z początku przebieg równoległy do osi odciętych (h), a po przekroczeniu pewnej wartości h raptownie rośnie, po czym ponownie stabilizuje się wokół prostej równoległej do osi wartości argumentu h (rys. 8). Taki przebieg semiwariogramu wskazuje na obszarowe zróżnicowanie zawartości siarki, na obecność stref o zróżnicowanych wartościach parametru, w granicach których jego zmienność jest niewielka i ma charakter losowy. Widoczny na semiwariogramie obraz zróżnicowania parametru znajduje odzwierciedlenie na mapie opróbowania złoża. Na mapie tej można prześledzić występowanie rejonów różniących się zawartością siarki (rys. 8). Wybór wartości izolinii rozgraniczającej populację dokonano na

podstawie analizy wykresu rozkładu parametru na siatce probabilistycznej. Zwraca uwagę fakt, że rozmiary quasi-homogenicznych części pokładu odpowiadają odległościom, przy których następuje raptowny wzrost wartości semiwariogramu.



Rys. 8. Mapa zawartości siarki całkowitej w węglu – pokład 510 w KWK Kazimierz-Juliusz
1 – otwór wiertniczy wraz z pomiarem zawartości siarki, 2 – izolina zawartości siarki rozgraniczająca populacje, 3 – wychodnia pokładu

Fig. 8. Map of the total sulphur content in the coal – seam no. 510 in Kazimierz-Juliusz hard coal mine
1 – borehole and sulphur content measurement, 2 – isoline dividing two populations, 3 – outcrop of the seam

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wskazują na zróżnicowany charakter zmienności zawartości siarki całkowitej w węglu w pokładach GZW.

Badania dowodzą w większości przypadków nielosowego charakteru zmienności zawartości siarki. Do wniosku tego prowadzi analiza udziałów składnika losowego w obserwowanej zmienności parametru, a także przegląd udziału losowych modeli zmienności w jego charakterystyce.

W opisie struktury zmienności zawartości siarki przeważają modele nielosowe semiwariogramów. Dominującymi modelami nielosowymi opisującymi strukturę zmienności parametru są modele z ograniczonym wzrostem – model sferyczny i Gaussa. Zasięgi semiwariogramów w przypadku stwierdzanego modelu sferycznego i Gaussa wynoszą od 600 do około 2000 m. Zwraca uwagę obszarowe zróżnicowanie zawartości siarki oraz jej semiwariogramów, wskazujące na występowanie niestacjonarności w zmienności badanej cechy jakościowej węgla.

Odmienny charakter zmienności zawartości siarki i jej struktury w poszczególnych pokładach należałoby po części wiązać ze zróżnicowanymi procesami akumulacji siarczków żelaza. Na obserwowaną strukturę zmienności parametru ma również wpływ występowanie substancji mineralnej rozproszonej w węglu, a także cienkich przerostów skał płonnych.

Wyniki badań sugerują występowanie pewnych zależności modelu zmienności zawartości siarki w węglu od pozycji litostratygraficznej pokładu, a także rejestrowanego na semiwariogramach zasięgu autokorelowania obserwacji od wielkości analizowanego obiektu złożowego. Zebrany materiał pokazuje zatem pewne prawidłowości, których istnienie powinno zostać potwierdzone na szerszym materiale obserwacyjnym.

Wyniki badań potwierdzają zasadność stosowania semiwariogramów do opisu zmienności cech jakościowych pokładów węgla. Znajomość semiwariogramów umożliwia podejmowanie decyzji co do wykorzystania krigingu w prognozowaniu cech jakościowych węgla i sporządzaniu map izolinowych. Z uwagi na różny charakter zmienności zawartości siarki w poszczególnych pokładach różna będzie efektywność zastosowania geostatystycznej procedury interpolacyjnej w jej ocenie. Przeprowadzone badania wskazują zatem na konieczność indywidualnego rozpatrywania każdego pokładu przy modelowaniu zmienności oraz prognozowaniu zawartości siarki metodą krigingu.

Na podstawie zabranego materiału można oczekiwać wyższej efektywności stosowania krigingu do oceny zawartości siarki niż do prognozowania takich parametrów jak: zawartości popiołu lub wartości opałowej węgla, których zmienność ma w dużej mierze charakter losowy (Mucha, Kokesz 1986).

Zaobserwowane zjawisko niestacjonarności polegające na obszarowym zróżnicowaniu wartości badanego parametru oraz jego struktury zmienności opisywanej za pomocą semiwariogramów może jednak prowadzić do obniżenia wiarygodności interpolacji dokonywanej metodą krigingu.

LITERATURA

- Duda R., Mucha J., 1995 – Zagadnienie opróbowania złóż węgla kamiennego dla oceny zawartości pierwiastków toksycznych. Sprawozd. z pos. Kom. Nauk. PAN, O/Kraków, Wyd. Secesja, Kraków, 342–344.
- Dziedzic Cz., Kotulski L., 1990 – Geostatystyczna analiza zmienności parametrów jakościowych węgla i grubości pokładu 405 w kopalni Staszic. Mat. Konf. nt. Postęp naukowy i techniczny w geologii górniczej węgla kamiennego, Prace GIG, 37–53.
- Górecki J., 1985 – Siarka w polskich złożach węgla kamiennego. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, t. 1, z. 1, 111–120.
- Jerschina A., Mucha J., 1992 – Opróbowanie pokładów złóż węgla na potrzeby oceny jakości (na przykładzie KWK Piast). SITG, KNG, PAN, Katowice, 61–71.
- Journel A.G., Huijbregts CH. J., 1978 – Mining Geostatistics. Academic Press, London, s. 600.
- Kokosz Z., 1987 – Metoda geostatystyczna w optymalizacji strategii rozpoznawania złóż węgla kamiennego. Zesz. Nauk. Polit. Śl., s. Górnictwo, z. 155, 75–89.
- Kokosz Z., 1990 – Struktura zmienności parametrów wybranych pokładów węgla z KWK Kazimierz-Juliusz. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, t. 6, z. 1, 97–105.
- Kokosz Z., Mucha J., 1987 – Prognozowanie wartości parametrów złóż węgla metodą kriginu w warunkach LZW. Zesz. Nauk. Polit. Śl., s. Górnictwo, z. 155, 91–106.
- Mikrut J., Jurecka T., 1990 – Komputerowe szacowanie ilości zasobów i ich parametrów jakościowych w pokładzie 405 kopalni Staszic z wykorzystaniem metod geostatystyki. Mat. Konf. nt. Postęp naukowy i techniczny w geologii górniczej węgla kamiennego, Prace GIG, 70–81.
- Mikrut J., Polak P., 1987 – Próba zastosowania metod geostatystycznych do oceny parametrów pokładu 404 w KWK Wieczorek. Materiały Seminarium nt. Metody matematyczne i technika komputerowa w górnictwie, Szklarska Poręba, wyd. GIG, t. 3, 57–69.
- Morga R., 2007 – Struktura zmienności zawartości fosforu w eksploatowanych pokładach węgla kamiennego KWK Pniówek. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, t. 23, z. 1, 29 – 48.
- Mucha J., Kokosz Z., 1986 – Zastosowanie geostatystyki i kriginu w ustalaniu zasobów węgla kamiennego i prognozowaniu parametrów złoża. Zesz. Nauk. Polit. Śl., s. Górnictwo, z. 149, 107–121.
- Mucha J., Wasilewska M., 2005 – Dokładność interpolacji zawartości siarki i popiołu w wybranych pokładach węgla kamiennego GZW. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, t. 21, z. 1, 6–21.
- Mucha J., Wasilewska M., 2006 – Dokładność szacowania wartości parametrów złożowych pokładów węgla kamiennego w blokach obliczeniowych metodą kriginu zwyczajnego. Przegląd Górniczy, nr 11, 10–17.
- Nieć M., 1996 – Złoża węgla kamiennego i antracytu. [W:] Ney R., red., Surowce mineralne Polski. Surowce energetyczne. Wyd. CPPGSMiE PAN, Kraków.
- Nieć M., Mucha J., Kokosz Z., 1988 – Geological background for geostatistical models. Science de la Terre, ser. Inf., nr 27, Nancy, 263–278.
- Peroń J., 1984 – Opis parametrów złóż węgla z wykorzystaniem e.m.c. Cz. 1. Badanie zmienności przestrzennej, Technika Poszuk. Geol., nr 5–6, 36–43.
- Peroń J., 1985 – Opis parametrów złóż węgla z wykorzystaniem e.m.c. Cz. 2. Kreślenie map i obliczenie zasobów. Technika Poszuk. Geol., nr 1, 10–15.

GEOSTATYSTYCZNA ANALIZA ZMIENNOŚCI ZAWARTOŚCI SIARKI W WYBRANYCH POKŁADACH WĘGLA GZW

Słowa kluczowe

Węgiel kamienny, zawartość siarki, geostatystyka

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki analizy struktury zmienności zawartości siarki całkowitej w węglu (S_T') w wytypowanych pokładach GZW. Ogółem zbadano 21 pokładów węgla w 8 kopalniach.

Przeprowadzone badania wskazują na zróżnicowany charakter zmienności analizowanego parametru. Dowodzą w większości przypadków nielosowego charakteru zmienności zawartości siarki. Dominującymi modelami nielosowymi opisującymi strukturę zmienności parametru są modele z ograniczonym wzrostem – model sferyczny i Gaussa. Wyniki badań sugerują występowanie pewnych zależności modelu zmienności zawartości siarki w węglu od pozycji litostratygraficznej pokładu, a także rejestrowanego na semiwariogramach zasięgu autokorelowania obserwacji od wielkości analizowanego obiektu złożowego. W pracy zwrócono uwagę na przyczyny obserwowanego zróżnicowania semiwariogramów parametru. Wskazano na różną efektywność stosowania krigingu w prognozowaniu zawartości siarki i sporządzaniu map izoliniowych parametru z uwagi na różny charakter jego zmienności w poszczególnych pokładach węgla. Stwierdzono występowanie zjawiska niestacjonarności, polegającego na obszarowym zróżnicowaniu wartości badanego parametru oraz jego semiwariogramów. Może ono prowadzić do obniżenia wiarygodności interpolacji dokonywanej procedurami krigingu.

GEOSTATISTICAL ANALYSIS OF VARIABILITY OF THE SULPHUR CONTENT FOR SELECTED COAL SEAMS
IN UPPER SILESIA COAL BASIN

Key words

Hard coal, sulphur content, geostatistics

Abstract

In the paper results of the variability structure analysis of the total sulphur content in the selected seams in Upper Silesian Coal Basin have been presented. Geostatistical studies have been undertaken for 21 hard coal seams in 8 mines.

Carried out studies have pointed out different character of the variability of the analysed parameter. Non-random character of the sulphur content variability is most often observed. Models with sills (mainly spherical and Gaussa models) are typical ones describing non-random structure of the sulphur content variability. Some relations between the models and lithostratigraphy of the coal seams and the range of semi-variograms and the size of analysed deposits have been noticed. Attention has been paid to the causes of observed diversification of the sulphur content semi-variograms. Due to different character of the variability of particular coal seams, one can expect different effectiveness of kriging application for interpolation of sulphur content and construction of contour maps of the parameter. It has been emphasized that non-stationarity, which can appear in the variability structure of the sulphur content, can lead to poor reliability of interpolation by kriging.