



Geostatystyczne badania struktury zmienności parametrów jakościowych węgla w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym

Geostatistical studies of variability structure of coal quality parameters for selected seams in Upper Silesian Coal Basin

Dr inż. Zbigniew Kokesz^{*)}

Treść: W niniejszej pracy przedstawiono wyniki dotychczas przeprowadzonych badań struktury zmienności podstawowych parametrów jakościowych węgla w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym: zawartości popiołu, wartości opałowej oraz zawartości siarki całkowitej (A_r , Q_r , S_r). Na ich podstawie sformułowano wnioski dotyczące metodyki badania struktury zmienności i prognozowania parametrów jakościowych kopaliny z wykorzystaniem procedury krigingu.

Abstract: This paper presents the results of hitherto conducted studies of the variability structure of primary quality parameters of coal in Upper Silesian Coal Basin, such as: ash calorificity and total sulphur contents (A_r , Q_r , S_r). The abovementioned was a basis for conclusions regarding the methodology of studies of variability structure and forecasts of quality parameters by use of kriging procedure.

Słowa kluczowe:

geostatystyka, analiza zmienności, węgiel kamienny, zawartość popiołu, wartość opałowa, zawartość siarki

Key words:

geostatistics, variability analysis, hard coal, ash content, calorificity, total sulphur content

1. Wprowadzenie

Znajomość struktury zmienności parametrów złożowych umożliwia rozwiązywanie wielu zagadnień geologiczno-górnictwowych, jakie napotyka się w trakcie rozpoznawania i eksploatacji złóż.

Atrakcyjną metodykę badania przestrzennej struktury zmienności parametrów złoża opracował Matheron (1962-1963) wprowadzając do opisu ich zróżnicowania semiwariogram. Funkcja ta opisuje zależność zróżnicowania wartości badanej cechy od odległości między obserwacjami.

Analiza semiwariogramu pozwala na określenie zmienności lokalnej parametru, udziału losowego i nielosowego składnika w ogólnej jego zmienności, a także na ustalenie zasięgu autokorelacji obserwacji, czyli odległości, do której zaznacza się wzajemne skorelowanie wartości parametru. Znajomość funkcji strukturalnych stwarza możliwość stosowania krigingu w ocenie parametrów złożowych, umożliwia prognozowanie efektywności stosowania metody krigingu do interpolacji wartości badanych cech złoża [7] i podejmowanie decyzji co do celowości sporządzania map izolinowych. Warunkiem koniecznym efektywnego stosowania tej procedury jest nielosowy charakter zmienności parametrów złożowych. W

przypadku losowego modelu zmienności parametrów, tworzenie map izolinii pozbawione jest sensu, a w przypadku silnie zaznaczonego udziału składnika losowego dyskusyjne.

2. Historia i metodyka badań

Badania geostatystyczne cech jakościowych węgla kamiennego w złożach GZW podjęte zostały na początku lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Pierwszą opublikowaną pozycją z omawianego zakresu jest praca Peronia [19], który przeanalizował zmienność zawartości popiołu oraz wartości opałowej węgla w jednym z pokładów GZW. Pod koniec lat osiemdziesiątych ukazały się kolejne artykuły przedstawiające wyniki zastosowania opisu geostatystycznego do charakterystyki zróżnicowania parametrów jakościowych węgla w GZW. Problematyka geostatystycznej oceny złóż węgla kamiennego podjęta została także przez pracowników obecnej Katedry Geologii Złożowej i Górniczej AGH.

Prowadzone badania miały na celu ustalenie, w jakim stopniu zaznacza się nielosowe zróżnicowanie cech jakościowych węgla kamiennego, jaka jest struktura tej zmienności i jej model. Przedmiotem analizy były przede wszystkim takie parametry jakościowe jak: zawartość popiołu, zawartość siarki, wartość opałowa [np. 2, 6, 14, 19]. Analizowano również zmienność zawartości fosforu [13] oraz pierwiastków toksycznych w węglu [1]. Wyniki badań geostatystycznych

^{*)} AGH w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska

wykorzystywane były dla potrzeb optymalizacji rozpoznania i opróbowania pokładów węgla [1, 4, 5], prognozowania wartości parametrów złożowych [11, 12, 13, 14, 15, 22], ustalania kategorii rozpoznania [21]. Próbę interpretacji genetycznej semiwariogramów parametrów złożowych zaprezentowano w pracy [18].

Przeprowadzone w latach osiemdziesiątych badania wskazywały na dużą różnorodność modeli opisujących strukturę zmienności parametrów jakościowych pokładów węgla [np. 6, 14]. Nie dopatrzone się związków pomiędzy typami litostratigraficznymi pokładów i typami zmienności parametrów złożowych. Zwrócono jedynie uwagę na występowanie pewnych prawidłowości w charakterystyce zmienności poszczególnych parametrów. Stwierdzono, że zmienność zawartości siarki w węglu, w większości przypadków ma charakter nielosowy, zaś zawartość popiołu w węglu losowy.

Przeprowadzone przez autora w latach 2008-2010 analizy dostarczyły dalszych danych na temat struktury zmienności jakości węgla w GZW [10, 11]. W celu pozyskania dokładniejszych informacji o charakterze zmienności parametrów złożowych poszerzono zakres obserwacji, obejmując analizą 21 pokładów węgla w 8 kopalniach. Pokłady te reprezentowały różne ogniwa stratygraficzne karbonu i różne warunki akumulacji materiału węglowego z uwagi na dynamikę środowiska sedymentacji. Łącznie dokonano obliczenia 29 uśrednionych semiwariogramów zawartości popiołu, 16 wartości opałowej węgla oraz 27 zawartości siarki.

W prowadzonych badaniach zmienność parametrów jakościowych pokładów analizowano w oparciu o dane pochodzące z opróbowania otworów wiertniczych, jak i wyrobisk górniczych. Liczebności zbiorów danych wynosiły na ogół od ok. 30 do ok. 100 obserwacji. Ich liczba uzależniona była od rozmiaru badanego obiektu i stopnia jego rozpoznania. Opis geostatystyczny zawierał obliczenie semiwariogramów i ich aproksymację modelami teoretycznymi. Wartości semiwariogramów ustalano korzystając z klasycznej formuły Matherona [18]

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

gdzie:

z_{i+h}, z_i – wartości badanego parametru w punktach odległych o h ,

n_h – liczba punktów pomiarowych odległych o h .

Zbyt ubogie zbiory danych dla parametrów jakościowych uniemożliwiły przeprowadzenie badania anizotropii i stabilności struktury zmienności. Jedynie w jednym pokładzie węgla 403/1 w KWK Zofiówka z uwagi na dostateczną liczbę obserwacji dokonano analizy obszarowego zróżnicowania zawartości popiołu i siarki [10]. Do analizy obszarowego zróżnicowania struktury zmienności parametru posłużyły semiwariogramy obliczone dla mniejszych partii wydzielonych w granicach kopalni.

Analiza semiwariogramów pozwoliła na określenie udziału składnika losowego i nielosowego w obserwowanej zmienności badanych parametrów pokładów węgla [np. 6, 10, 11, 14]. Udział składnika losowego w obserwowanej zmienności parametru określono ze wzoru

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

gdzie:

C_0 – zmienność lokalna parametru (wyraz wolny w równaniu modelu semiwariogramu),

s^2 – wariancja statystyczna.

Udział składnika nielosowego U_n jest dopełnieniem wartości wskaźnika U_l do 100%.

3. Geostatystyczny opis struktury zmienności cech jakościowych węgla

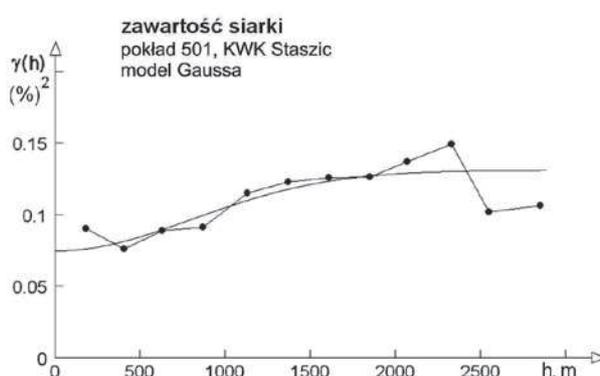
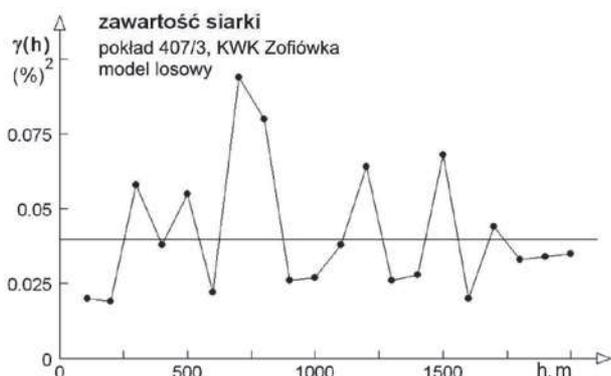
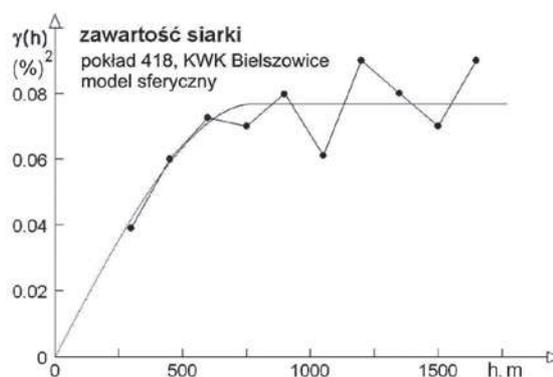
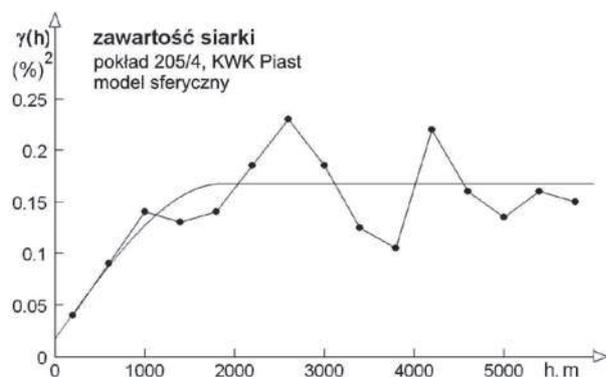
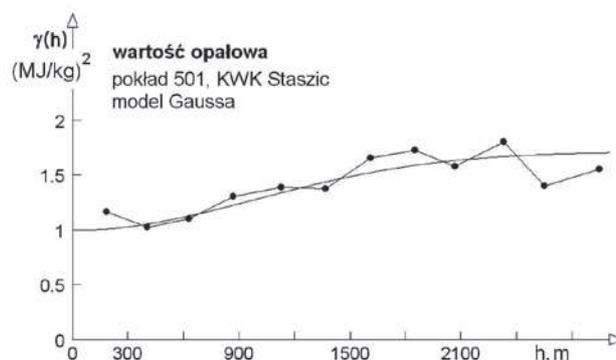
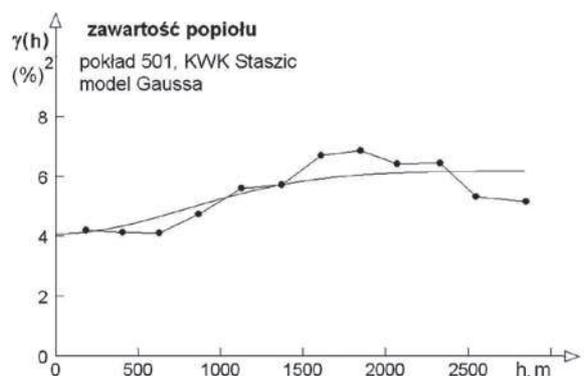
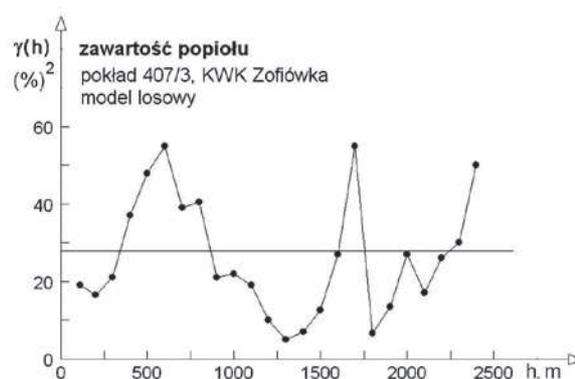
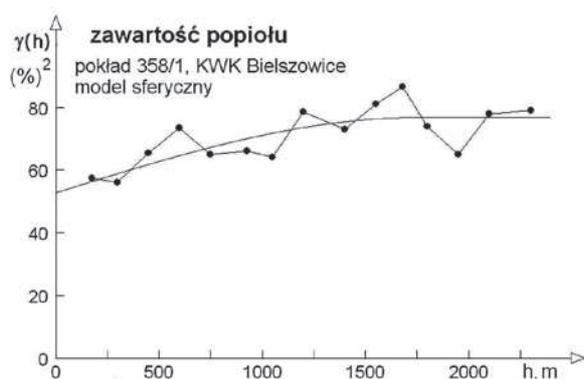
Przeprowadzone dotychczas badania wskazują na zróżnicowany charakter zmienności analizowanych cech jakościowych węgla. Obserwuje się znaczne zróżnicowanie semiwariogramów empirycznych opisujących zmienność parametrów jakościowych węgla (rys. 1; tab. 1). W niektórych przypadkach mają one przebiegi znacznie bardziej nieregularne niż semiwariogramy miąższości pokładów [8]. Można oczekiwać, że spowodowane jest to małą liczebnością danych i skrajnie nierównomiernym rozmieszczeniem obserwacji. Zwraca jednak uwagę fakt, że zmienność cech jakościowych można opisać jednym z modeli z ograniczonym wzrostem, którym najczęściej jest model sferyczny, rzadziej Gaussa oraz modelem losowym. Zróżnicowanie analizowanych parametrów złożowych rzadko opisują semiwariogramy liniowe. Zróżnicowany udział losowego modelu zmienności w geostatystycznym opisie poszczególnych parametrów świadczy o różnym charakterze ich zmienności.

Zgodnie z oczekiwaniem obserwuje się duże podobieństwo postaci semiwariogramów zawartości popiołu i wartości opałowej. Zmienność zawartości popiołu w węglu i jego kaloryczności ma najczęściej charakter losowy lub zbliżony do losowego (tab. 1). Udział losowych modeli semiwariogramów w opisie zmienności obu parametrów wynosi ok. 64%. Zróżnicowanie tych parametrów jest zatem w głównej mierze następstwem lokalnych czynników. Do podobnych wniosków prowadzi analiza udziału składnika losowego w obserwowanej zmienności parametrów. Wynosi on średnio ok. 74%. W przypadku nielosowego charakteru zróżnicowania wartości opałowej i zawartości popiołu modelem opisującym zmienność jest model sferyczny (tab. 1). W pokładach, w których zmienność opisują modele wyraźnie nielosowe udział składnika losowego w charakterystyce tych parametrów wynosi ok. 51%.

W zróżnicowaniu zawartości siarki całkowitej w większym stopniu zaznacza się składnik nielosowy. W opisie struktury zmienności tego parametru przeważają modele nielosowe. Ich udział w badanych pokładach wynosi 63%. Wśród modeli nielosowych dominującymi są modele z ograniczonym wzrostem - model sferyczny i Gaussa (rys. 2). Ich udział procentowy w całkowitej liczbie stwierdzonych modeli nielosowych wynosi 88% (tab. 1). W przypadku nielosowego charakteru zróżnicowania zawartości siarki udział składnika losowego w obserwowanej zmienności tego parametru wnosi ok. 39%.

Zwraca uwagę znaczny udział modeli Gaussa w charakterystyce struktury zmienności zawartości siarki (tab. 1). Semiwariogramy tego typu, charakteryzujące się parabolicznym przebiegiem w pobliżu początku wykresu ukazują, że zmienność tego parametru na małych obszarach ma niekiedy zbliżony do losowego charakter, a prawidłowości występują dopiero na większych obszarach. Z przebiegu funkcji strukturalnych typu Gaussa wynikałoby, że rozmiary takich stref wynoszą od ok. 300 x 300 m do ok. 750 x 750 m.

Zasięgi semiwariogramów zawartości siarki całkowitej w przypadku modeli z ograniczonym wzrostem wynoszą od 600 m do 1970 m, średnio ok. 1300 m. Obserwowany na semiwariogramach zasięg autoskorelowania w znacznym stopniu warunkowany jest skalą obserwacji. Na większych obszarach obserwuje się z reguły większe zasięgi semiwariogramów sferycznych. Na rys. 2 przedstawiono wykres



Rys. 1. Semiwariogramy zawartości popiołu i siarki w wybranych pokładach GZW

Fig. 1. Semi-variograms of ash and the total sulphur contents in selected coal seams in the Upper Silesian Coal Basin

Tablica 1. Charakterystyka struktury zmienności podstawowych parametrów jakościowych węgla w GZW
Table 1. Characteristics of the variability structure of ash content, calorificity and total sulphur content in the selected coal seams in Upper Silesian Coal Basin

Seria Litostratygaficzna	Warstwy	Parametr	Liczba badanych pokładów węgla	Liczba obserwowanych typów modeli zmienności			Udział składnika losowego U_i %	
				Model z ograniczonym wzrostem		Model liniowy		Model losowy
				sferyczny	Gausa			
krakowska seria piaskowcowa	libiąskie	A(Q)	1 (1)	-	-	-	1 (1)	99 (95)
		S	1	1	-	-	-	8
	łaziskie	A(Q)	5 (0)	1	-	-	4	78
		S	3	3	-	-	-	40
seria mułowcowa	orzeskie	A(Q)	0 (0)	-	-	-	-	-
		S	0	-	-	-	-	-
	zaleskie	A(Q)	12 (7)	7 (4)	-	-	5 (3)	60 (64)
		S	12	3	2	1	6	70
górnosląska seria piaskowcowa	rudzkie	A(Q)	7 (5)	-	-	-	7 (5)	97 (100)
		S	7	2	3	1	1	45
	siodłowe	A(Q)	4 (3)	1 (1)	1 (1)	-	2 (1)	62(55)
		S	4	-	1	-	3	74

A – zawartość siarki, Q – wartość opałowa, S – zawartość siarki całkowitej

Liczby w nawiasach dotyczą wartości opałowej

A – ash content, Q – calorificity, S – total sulphur content

ukazujący zależność między zasięgiem semiwariogramu a a wielkością badanego obszaru złożowego. Za miarę wielkości badanego obiektu przyjęto maksymalną odległość między obserwacjami L .

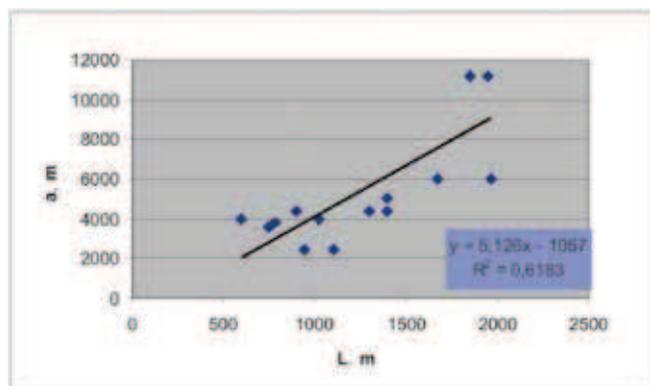
Wyniki badań sugerują istnienie pewnych prawidłowości. Zwraca uwagę zależność modelu zmienności zawartości popiołu w węglu od pozycji litostratygaficznej pokładu (tab. 1). Strukturę zmienności w obrębie warstw załęskich i siodłowych częściej opisuje model sferyczny. Potwierdzają to również wyniki analizy zawartości siarki całkowitej w trzech wybranych pokładach węgla należących do warstw załęskich, w których również obserwowano sferyczne modele tego parametru [15]. Zwraca także uwagę mniejszy udział w pokładach warstw załęskich i siodłowych modeli losowych. Również udział składnika losowego w obserwowanej zmienności parametru jest w tych pokładach mniejszy i wynosi średnio ok. 60% (tab. 1). Zmienność pokładów w innych badanych seriach litostratygaficznych najczęściej opisuje model losowy. W warstwach rudzkich obserwowano wyłącznie modele lo-

sowe struktury zmienności zawartości popiołu w węglu oraz wartości opałowej.

Zmienność zawartości popiołu wiązać należy z występowaniem substancji mineralnej rozproszonej w węglu, a także cienkich przerostów skał płonnych niewyróżnianych w trakcie opróbowania pokładu. Przyczyn losowego charakteru zróżnicowania zawartości popiołu należałoby upatrywać w zmiennym udziale przerostów w pokładach oraz w ich wyklinowywaniu się i rozszczepianiu, którym towarzyszyć może wzrost substancji nieorganicznych w węglu. Losowe modele zmienności wskazują, że występowanie tych zanieczyszczeń jest w głównej mierze następstwem lokalnych, losowych czynników. Nielosowy charakter zróżnicowania zawartości popiołu w niektórych pokładach wskazuje jednak, że zmienność parametru zależy również od warunków facjalnych akumulacji substancji roślinnej.

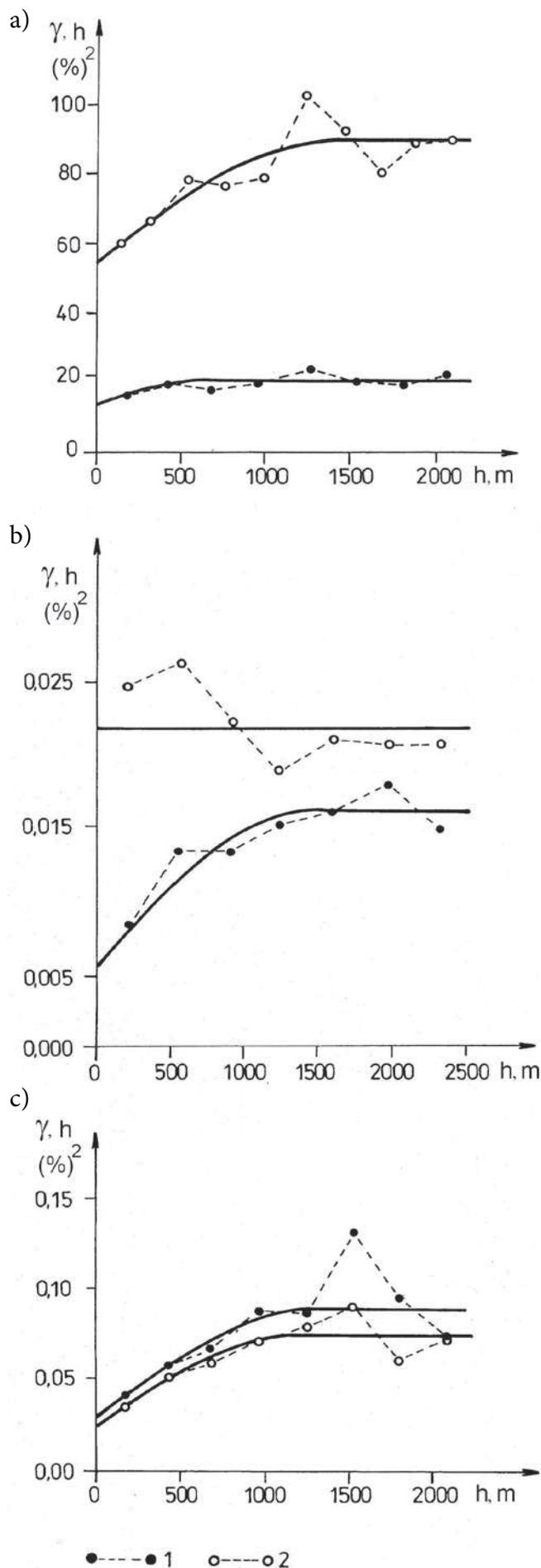
W Górnosląskim Zagłębiu Węglowym obserwuje się zróżnicowanie zawartości siarki w zależności od pozycji stratygaficznej pokładu [3, 17]. Wyniki badań sugerują występowanie również pewnych zależności modelu zmienności zawartości siarki w węglu od pozycji litostratygaficznej pokładu (tab. 1). Strukturę zmienności w obrębie warstw załęskich i siodłowych częściej opisuje model losowy. Obserwuje się duży udział składnika losowego w zmienności parametru w tych pokładach. Wynosi on średnio ok. 71%. Zmienność pokładów w innych seriach litostratygaficznych częściej opisuje model sferyczny lub Gaussa, rzadziej model liniowy. Zwraca uwagę mniejszy udział w tych pokładach modeli losowych. Odmienne charakter struktury zmienności zawartości siarki całkowitej należałoby po części wiązać ze zróżnicowanymi procesami akumulacji siarczków żelaza.

Obecność przerostów wpływa na obserwowaną strukturę zmienności badanych parametrów złożowych [9, 10]. Na rys. 3 przedstawiono przykłady funkcji strukturalnych opracowanych dla wybranych parametrów jakościowych pokładów z uwzględnieniem i bez uwzględnienia przerostów w nich występujących. Dla zobrazowania zjawiska uwzględniono przerosty skał niewęglowych o grubości ponad 5 cm. Jak wynika z przeprowadzonych badań w przypadku występowania przerostów obserwuje się większe zróżnicowanie wartości parametrów złożowych. Ich semiwariogramy charakteryzują



Rys. 2 Korelacja liniowa zasięgu semiwariogramu zawartości siarki (a) i wielkości badanego obszaru złożowego (L)

Fig. 2. Linear correlation between the range of the sulphur content semi-variogram (a) and the size of the area of the analysed deposit (L)



się większymi wartościami w stosunku do semiwariogramów sporządzonych dla jakości węgla bez przerostów. Obecność przerostów może prowadzić zatem do istotnej modyfikacji obserwowanej struktury zmienności parametrów jakościowych pokładów. Ilustruje to przykład pokładów 402 i 404/1 w KWK Wieczorek (rys. 3).

W przypadku modeli niełosowych, obserwowane na semiwariogramach zawartości popiołu, wartości opalowej i zawartości siarki całkowitej wartości $\sqrt{C_0}$ najczęściej przekraczają wartości przypadkowego błędu ich oceny i odzwierciedlają wartość lokalnego zróżnicowania cech jakościowych kopaliny.

Przebiegi niektórych semiwariogramów zawartości popiołu i kaloryczności sugerują występowanie słabej okresowej składowej zmienności (np. pokłady 403/1 i 407/3 w KWK Zofiówka – rys. 1), co może być wyrazem niejednorodności pokładów spowodowanej występowaniem na przemian różnych typów węgla. Na obszarowe zróżnicowanie cech jakościowych węgla, na obecność stref o zróżnicowanych wartościach parametrów, w granicach których jego zmienność jest niewielka i ma charakter losowy wskazują semiwariogramy zawartości popiołu i kaloryczności w pokładzie 349 oraz zawartości siarki całkowitej w pokładzie 510 w KWK Kazimierz-Juliusz [9, 10]. Wykresy tych semiwariogramów mają na początku przebieg równoległy do osi odciętych, a po przekroczeniu pewnej wartości h raptownie rosną, poczym ponownie stabilizują się wokół prostej równoległej do osi wartości argumentu h (rys. 4). Widoczny na semiwariogramach obraz zróżnicowania parametrów jakościowych węgla znajduje odzwierciedlenie na mapach opróbowania złoża. Na mapach tych można prześledzić występowanie rejonów różniących się jakością węgla (rys. 4). Rozmiary tych stref odpowiadają odległościom, przy których następuje raptowny wzrost wartości semiwariogramów.

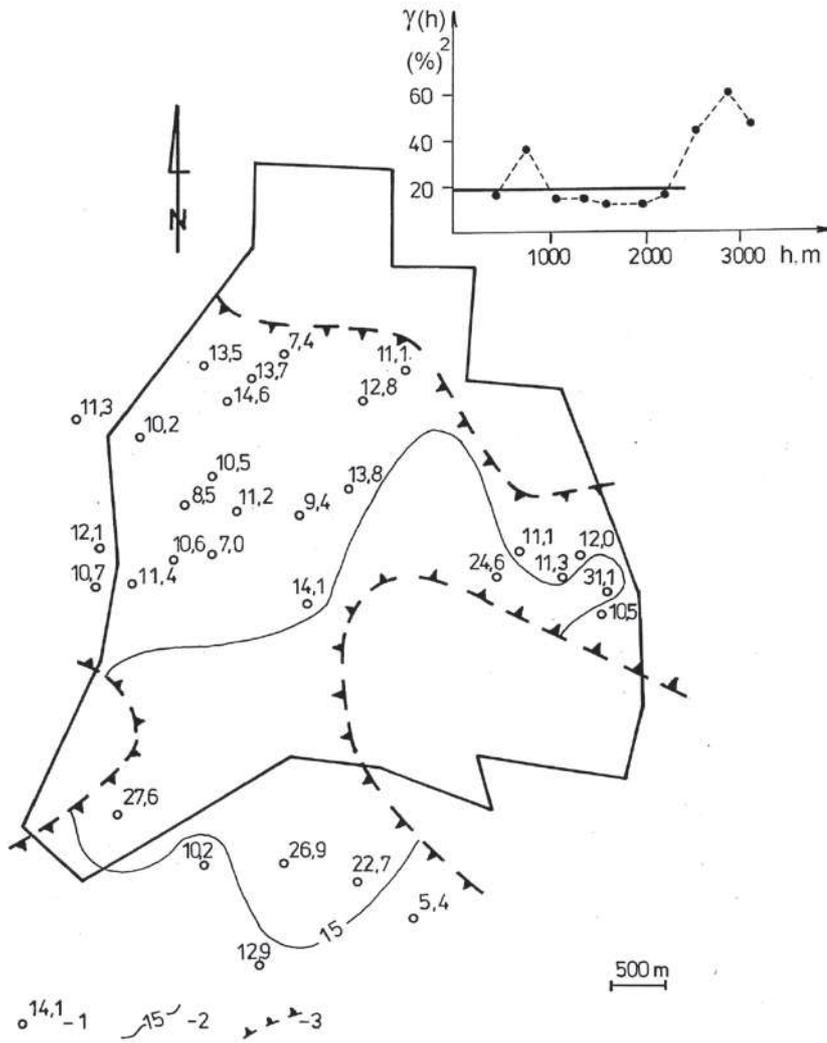
W złożach węgla kamiennego obserwuje się również obszarowe zróżnicowanie struktury zmienności cech jakościowych węgla (rys. 5). Mała na ogół liczba obserwacji w poszczególnych pokładach uniemożliwia szczegółowe zbadanie tego zjawiska. Zróżnicowanie to daje się obserwować w obrębie pojedynczych pokładów na obszarze całego GZW, a nawet w granicach poszczególnych kopalń i wskazuje na występowanie niestacjonarności w strukturze zmienności cech jakościowych węgla.

Rys. 3. Wpływ przerostów na obserwowaną strukturę zmienności zawartości popiołu i siarki
 a) zawartość popiołu (pokład 402, KWK Wieczorek),
 b) zawartość siarki (pokład 404/1, KWK Wieczorek),
 c) zawartość siarki (pokład 404/4, KWK Wieczorek)
 1 - semiwariogram zawartości popiołu lub siarki całkowitej w węglu, 2 - semiwariogram zawartości popiołu lub siarki całkowitej w pokładzie (węglu wraz z przerostami)

Fig. 3. Influence of the dirty partings (intercalations) on the tested variability structure of ash and the total sulphur contents

a) – ash content (seam no. 402, Wieczorek hard coal mine), b) – sulphur content (seam no. 404/1, Wieczorek hard coal mine), c) – sulphur content (seam no. 404/4, Wieczorek hard coal mine)

1 – semi-variogram of ash or the total sulphur content in the coal, 2 – semi-variogram of the ash or the total sulphur content in the seam (in the coal with barren intercalations)

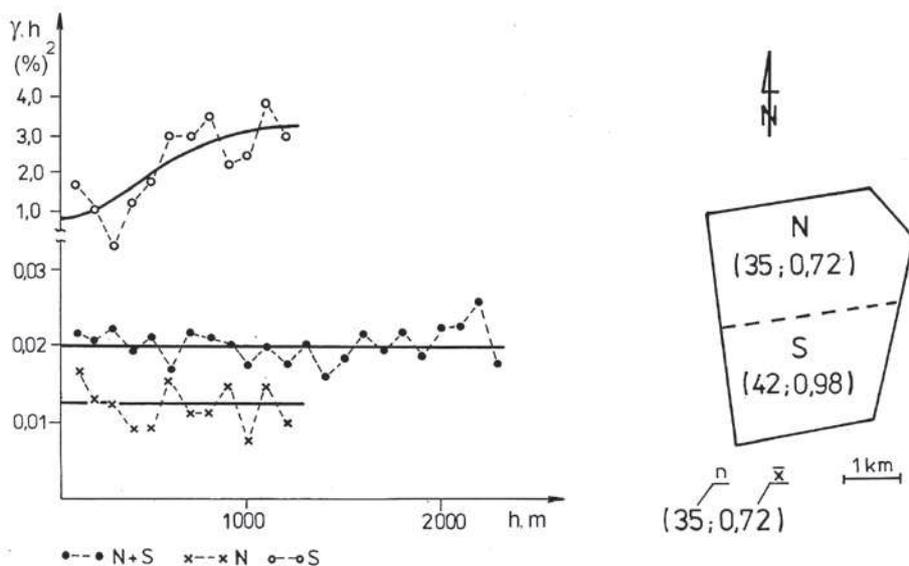


Rys. 4. Mapa zawartości popiołu w węglu - pokład 349 w KWK Kazimierz-Juliusz [6]

1 – otwór wiertniczy wraz z pomiarem zawartości popiołu, 2 – izolinia zawartości popiołu rozgraniczająca populacje, 3 – wychodnia pokładu

Fig. 4. Map of ash content in coal – seam no. 349 in Kazimierz-Juliusz hard coal mine [6]

1 – borehole and ash content measurement, 2 – isoline dividing two populations, 3 – outcrop of the seam



Rys. 5. Semiwariogramy zawartości siarki całkowitej w wydzielonych parcelach pokładu 403/1 w KWK Zofiówka [10]

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

Fig. 5. Semi-variograms of the total sulphur content in the selected parts of seam no. 403/1 in Zofiówka hard coal mine [10]

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

4. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na zróżnicowany charakter zmienności podstawowych parametrów jakościowych węgla w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Zmienność zawartości popiołu i wartości opałowej węgla, w większości analizowanych przypadków, ma charakter losowy, zaś zróżnicowanie zawartości siarki całkowitej nielosowy.

Zróżnicowanie zawartości popiołu i wartości opałowej węgla jest w głównej mierze następstwem lokalnych, losowych czynników, a ich strukturę zmienności najczęściej opisuje model losowy, rzadziej sferyczny i Gaussa. Zwraca uwagę podobieństwo funkcji strukturalnych opisujących zmienność zawartości opałowej i zawartości popiołu, co spowodowane jest zależnością korelacyjną wiążącą te parametry.

W zróżnicowaniu zawartości siarki całkowitej w większym stopniu zaznacza się składnik nielosowy. W opisie struktury zmienności parametru przeważają modele nielosowe. Dominującymi modelami nielosowymi opisującymi strukturę zmienności zawartości siarki są modele z ograniczonym wzrostem - model sferyczny i Gaussa. Zasięgi semiwariogramów, w przypadku stwierdzanego modelu sferycznego i Gaussa wynoszą od ok. 600 m do ok. 2000 m.

Wyniki dotychczas przeprowadzonych badań sugerują występowanie pewnych zależności modelu zmienności wartości opałowej, zawartości popiołu oraz zawartości siarki w węglu od pozycji litostratigraficznej pokładu, a także rejestrowanego na semiwariogramach zasięgu autokorelowania obserwacji od wielkości analizowanego obiektu złożowego. Występowanie tych prawidłowości powinno zostać potwierdzone na szerszym materiale obserwacyjnym.

Interpretację geologiczno-genetyczną semiwariogramów utrudnia niedostateczny stopień rozpoznania struktur zmienności parametrów jakościowych, wynikający ze stosunkowo małej liczby obserwacji i skrajnie nieregularnego rozmieszczenia punktów pomiarowych. Jak wynika z przeprowadzonych badań, na obserwowaną strukturę zmienności badanych parametrów ma wpływ występowanie substancji mineralnej rozproszonej w węglu, a także cienkich przerostów skał płonnych. Strukturę zmienności zawartości opałowej, zawartości popiołu oraz siarki może determinować również wyklinowywanie się i rozszczepianie pokładów, którym najczęściej towarzyszy wzrost substancji nieorganicznych w węglu. Odmienny charakter zmienności zawartości siarki i jej struktury w poszczególnych pokładach należałoby po części wiązać ze zróżnicowanymi procesami akumulacji siarczków żelaza.

Wyniki badań potwierdzają zasadność stosowania semiwariogramów do opisu zmienności cech jakościowych pokładów węgla. Znajomość funkcji strukturalnych stwarza możliwość stosowania krigingu w ocenie parametrów złożowych, umożliwia prognozowanie efektywności stosowania metody krigingu do interpolacji wartości badanych cech złoża i podejmowanie decyzji co do celowości sporządzania map izoliniowych. Przeprowadzone badania wskazują na konieczność indywidualnego rozpatrywania każdego pokładu i parametru przy geostatystycznym modelowaniu zmienności oraz prognozowaniu cech jakościowych metodą krigingu. Z uwagi na różny charakter zmienności poszczególnych parametrów pokładów różna będzie efektywność zastosowania krigingu w ich ocenie.

Na podstawie zebranego materiału należy oczekiwać wyższej efektywności stosowania krigingu do oceny zawartości siarki niż do prognozowania takich parametrów jak: zawartości popiołu lub wartości opałowej węgla, których zmienność ma najczęściej charakter losowy, względnie zbliżony do losowego. Dla oceny średnich wartości tych parametrów oraz do oceny dokładności oszacowania w wielu przypad-

kach wystarczy stosować klasyczne metody statystyczne. Sporządzanie map izoliniowych zawartości popiołu, wartości opałowej węgla, a także zawartości siarki całkowitej, opartych na punktowej interpolacji metodą krigingu zwyczajnego, jest uzasadnione, jeśli nielosowy składnik zmienności jest dostatecznie wyraźnie zaznaczony. Otrzymane wyniki badań wskazują, iż najczęściej celowe jest przedstawianie na mapach zróżnicowania zawartości siarki.

Decyzja o konstrukcji map izoliniowych parametrów jakościowych powinna być poprzedzona analizą semiwariogramów, obejmującą ocenę zmienności lokalnej oraz udziału składnika nielosowego w obserwowanej zmienności parametru. Analiza zasadności tworzenia map izoliniowych powinna zawierać także prognozę wartości błędów interpolacji, które rzutują na wiarygodność sporządzanych map izoliniowych. Duże błędy interpolacji mogą prowadzić do tworzenia fałszywego obrazu zróżnicowania cech jakościowych kopaliny. Przybliżoną ocenę wartości tych błędów umożliwiają proste formuły matematyczne oparte na modelach regresji wielokrotnej [16]. Formuły te ujmują zależność wartości błędów interpolacji od charakterystyk zmienności parametrów złożowych i rozstawu sieci opróbowań.

Występujące zjawisko niestacjonarności polegające na obszarowym zróżnicowaniu parametrów jakościowych węgla lub struktury ich zmienności opisanej za pomocą semiwariogramów może prowadzić do obniżenia wiarygodności interpolacji dokonywanej metodą krigingu. Potwierdzają to wyniki analizy dokładności interpolacji zawartości siarki całkowitej i popiołu w wybranych pokładach KWK Murcki [15]. Małe liczebnościowo zbiory danych oraz skrajnie nieregularne rozmieszczenie punktów pomiarowych stanowią również poważne utrudnienie w geostatystycznym modelowaniu struktury zmienności i ograniczają skuteczność stosowania krigingu w szacowaniu parametrów jakościowych węgla, wpływając na obniżenie dokładności interpolacji.

Możliwości podwyższenia wiarygodności sporządzanych map izoliniowych upatruje się w zastąpieniu interpolacji punktowej przez ocenę blokową, polegającą na szacowaniu średnich wartości parametrów w obrębie zadanych parcel obliczeniowych [22].

Praca wykonana w ramach badań statutowych Katedry Geologii Złożowej i Górniczej AGH nr 11.11.140.320

Literatura

1. Duda R, Mucha J.: Zagadnienie opróbowania złóż węgla kamiennego dla oceny zawartości pierwiastków toksycznych. Sprawozd. z pos. Kom. Nauk. PAN, O/Kraków, Wyd. Secesja, Kraków 1995, s. 342-344.
2. Dzedzej Cz., Kotulski L.: Geostatystyczna analiza zmienności parametrów jakościowych węgla i grubości pokładu 405 w kopalni Staszic. Materiały Konferencyjne nt. „Postęp naukowy i techniczny w geologii górniczej węgla kamiennego”, Prace GIG, 1990, 37-53.
3. Górecki J.: Siarka w polskich złożach węgla kamiennego. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 1985, t. 1, z. 1, s. 111-120.
4. Jerschina A., Mucha J.: Opróbowanie pokładów złóż węgla na potrzeby oceny jakości (na przykładzie KWK Piast). SITG, KNG, PAN, Katowice 1992, s. 61-71.
5. Kokesz Z.: Metoda geostatystyczna w optymalizacji strategii rozpoznawania złóż węgla kamiennego „Zeszyty Naukowe Politechniki Śl.,Górnictwo” 1987, z. 155, s. 75-89.
6. Kokesz Z.: Struktura zmienności parametrów wybranych pokładów węgla z KWK Kazimierz – Juliusz. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 1990, nr 89, t. 6, z. 1, s. 97 – 105.
7. Kokesz Z.: Kriging i jego efektywność w obliczaniu zasobów złóż. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 2003, nr 8, t. 19, z. 1, s. 35-55.
8. Kokesz Z.: Geostatystyczna charakterystyka pokładów węgla

- w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. „Górnictwo Odkrywkowe” 2006, nr 1-2, s. 66-75.
9. *Kokesz Z.*: Geostatystyczna charakterystyka zmienności zawartości popiołu i wartości opałowej węgla w wybranych pokładach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. „Przegląd Górniczy” 2010, nr 11, s. 103-110.
 10. *Kokesz Z.*: Geostatystyczna analiza zmienności zawartości siarki w wybranych pokładach węgla GZW. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 2010, t. 26, z. 3, s. 95-110.
 11. *Mikrut J., Jurecka T.*: 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, 1990, s. 70-81.
 12. *Mikrut J., Polak P.*: 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, 1987, t. 3, s. 57-69.
 13. *Morga R.*: Struktura zmienności zawartości fosforu w eksploatowanych pokładach węgla kamiennego KWK Pniówek. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 2007, t. 23, z. 1, s. 29-48.
 14. *Mucha J., Kokesz Z.*: Zastosowanie geostatystyki i krigingu w ustalaniu zasobów węgla kamiennego i prognozowaniu parametrów złoża. „Zeszyty Naukowe Politechniki Śl., s. Górnictwo” 1986, z. 149, s. 107-121.
 15. *Mucha J., Wasilewska M.*: Dokładność interpolacji zawartości siarki i popiołu w wybranych pokładach węgla kamiennego GZW. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 2005, t. 21, z.1, s. 7-21.
 16. *Mucha J., Wasilewska M.*: Prognozowanie wielkości błędów interpolacji parametrów złożowych pokładów węgla kamiennego GZW. Miesięcznik WUG 2005, nr 6, s. 23-24.
 17. *Nieć M.*: Złóża węgla kamiennego i antracytu, w: Ney R. (red.) – Surowce mineralne Polski. Surowce energetyczne. Wyd. Centrum PPGSMiE PAN, Kraków 1996.
 18. *Nieć M., Mucha J., Kokesz Z.*: Geological background for geostatistical models. Science de la Terre, ser. Inf., 1988, nr 27, Nancy, 263-278.
 19. *Peroń J.*: Opis parametrów złóż węgla z wykorzystaniem e.m.c. Cz. 1. Badanie zmienności przestrzennej, „Technika Poszuk. Geol” 1984, nr 5-6, s. 36-43.
 20. *Peroń J.*: Opis parametrów złóż węgla z wykorzystaniem e.m.c. Cz. 2. Kreślenie map i obliczenie zasobów. „Technika Poszuk. Geol”, 1985, nr 1, s. 10-15.
 21. *Wachelka L.*: Uwagi i spostrzeżenia dotyczące zastosowania metod geostatystycznych dla oceny kategorii rozpoznania złoża. „Górnictwo Odkrywkowe” 2002, nr 2 – 3, s. 34-36.
 22. *Wasilewska M., Mucha J.*: Dokładność szacowania średnich wartości parametrów złożowych pokładów węgla kamiennego w blokach obliczeniowych metodą krigingu zwyczajnego. „Przegląd Górniczy” 2006, nr 11, s. 10-17.
-
-