



Martyna PASZEK*, Justyna AUGUŚCIK*, Jacek MUCHA**

Badanie zmienności i niejednorodności zawartości popiołu i siarki w pokładzie 308 KWK Ziemowit

Streszczenie: Stosując metody statystyczne i geostatystyczne opisano liczbowo zmienność oraz zbadano niejednorodność zawartości popiołu oraz siarki w pokładzie 308 złoża KWK Ziemowit. Podstawę badań stanowiły wyniki analiz chemicznych prób brzdowych pobranych w wyrobiskach górniczych. Analiza statystyczna obu parametrów wykazała ich dużą zmienność, znaczące odstępstwa rozkładów empirycznych od teoretycznego rozkładu normalnego i występowanie licznych wartości odstających. Zaproponowano dwa geostatystyczne modele zmienności parametrów: sferyczny dla zawartości popiołu oraz Gaussa dla zawartości siarki. W strukturze zmienności parametrów stwierdzono wyraźnie zaznaczony nielosowy charakter zmian ich wartości. Na podstawie map semiwariogramów kierunkowych (indykatrysy zmienności) ujawniono wyraźną anizotropię zmienności parametrów w zakresie odległości 1000–1500 m. Przy użyciu testu wielokrotnych porównań Gamesa-Howella wykazano niejednorodność rozmieszczenia badanych parametrów, mającą wpływ na ich dużą zmienność.

Słowa kluczowe: węgiel kamienny, zawartość siarki i popiołu, semiwariogram, niejednorodność, test wielokrotnych porównań

Variability and heterogeneity of ash and sulphur contents in seam no. 308 of bituminous coal of the Ziemowit Mine

Abstract: The variability and heterogeneity of ash and sulphur contents in bituminous coal with seam no. 308 from the "Ziemowit" coal mine have been studied. The data stems from channel samples collected in mine works. The statistical analysis of both parameters showed big variability, significant deviations of empirical distributions from the theoretical normal distribution and occurrence of numerous outliers. Two geostatistical variability models were proposed: spherical for ash content and Gaussian for sulphur content. Anisotropy was revealed based on directional semivariogram maps. The heterogeneity of above-mentioned parameters was proven using a test of multiple comparisons (Games-Howell test).

Keywords: bituminous coal, ash and sulphur content, semivariogram, heterogeneity, multiple range test

* Mgr inż., ** Dr hab. inż., prof. AGH, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; e-mail: paszek.martyna@gmail.com, jauguscik@geol.agh.edu.pl, mucha@geol.agh.edu.pl

Wprowadzenie

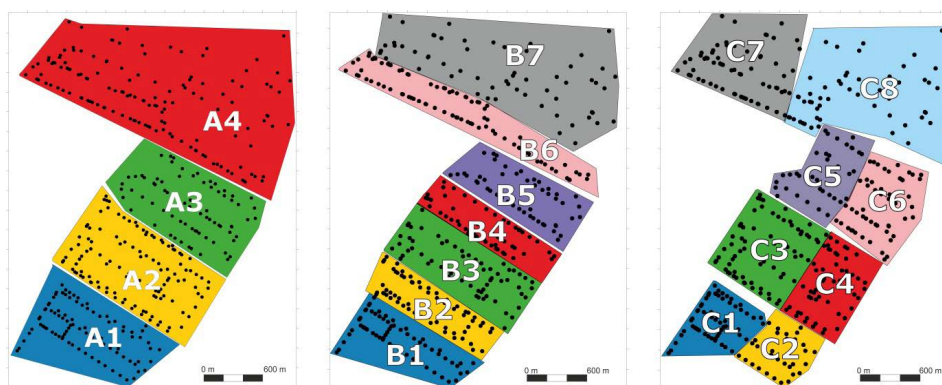
Badanie zmienności i niejednorodności parametrów złożowych odgrywa znaczącą rolę przy dokumentowaniu złoża, a szczególnie w trakcie szacowania jego zasobów i parametrów charakteryzujących jakość kopaliny. Przez jednorodność złoża rozumie się brak zróżnicowania średnich wartości parametru w poszczególnych jego częściach (Nieć red. 2012). Arytmetyczne uśrednianie pomierzonych wartości parametrów złożowych jest w zasadzie uzasadnione jedynie w obszarach złoża wewnątrznie jednorodnych ze względu na dany parametr. Ponadto, brak podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładów prawdopodobieństwa badanych parametrów w takim obszarze ułatwia i upraszcza precyzyjne szacowanie wartości parametrów w małych podobszarach (parcelach obliczeniowych).

W pracy przedstawiono analizę statystyczną zmienności dwóch parametrów jakościowych węgla kamiennego: zawartości siarki i zawartości popiołu oraz zbadano przy zastosowaniu testu wielokrotnych porównań niejednorodność ich rozmieszczenia w wydzielonych arbitralnie podobszarach pokładu 308 KWK Ziemowit.

1. Materiał podstawowy badań

Materiał podstawowy stanowiły wyniki analiz chemicznych 430 prób brzdowych pobranych w pokładzie 308 złoża węgla kamiennego KWK Ziemowit, w których oznaczono zawartość popiołu w stanie roboczym oraz zawartość siarki całkowitej. Obszar badań przypomina odwróconą literę L o maksymalnych rozmiarach 4 x 2,8 km. Usytuowanie punktów opróbowań w skali pokładu nie tworzy sieci regularnej. Ich liniowe rozmieszczenie wzdłuż wyrobisk górniczych cechuje się zmiennym interwałem. Odległości między próbami wynoszą od 10 do 200 m w kierunku zgodnym z przebiegiem wyrobisk i od 30 do 250 m w kierunku prostopadłym do nich, w zależności od długości ścian.

Dla celów analizy statystycznej w obszarze badań (pokładzie 308) wydzielono na trzy sposoby mniejsze części tworzące podobszary badań (rys. 1). Minimalna liczba danych



Rys. 1. Lokalizacja punktów opróbowań na obszarze badań (pokład 308) z uwzględnieniem wyznaczonych poligonów

Fig. 1. Location of the sampling points and distinguished sub-areas (polygons) within the analyzed area

w każdym z podobszarów przekracza 30 prób, co pozwala traktować zbiory danych z wynikami oznaczeń zawartości siarki i popiołu jako dużą próbkę statystyczną. Z powodu braku odpowiednich informacji dotyczących przerostów płonnych i zaburzeń tektonicznych podział obszaru badań na podobszary został dokonany arbitralnie. Przedstawiona w dalszej części analiza zmienności kierunkowej badanych parametrów wykazała, że wydłużenie poligonów równoległe do przebiegu wyrobisk korytarzowych (podobszary „B”) pokrywa się z kierunkiem minimalnej zmienności zawartości popiołu oraz kierunkiem maksymalnej zmienności zawartości siarki (rys. 3 E, F).

2. Metodyka badań

Rozkłady empiryczne badanych parametrów jakościowych węgla scharakteryzowano wstępnie za pomocą histogramów i wykresów „ramka-wąsy” (Nieć red. 2012). Wykres „ramka-wąsy” jest rzadziej stosowanym sposobem graficznej prezentacji rozkładu empirycznego niż histogram. Jego ważną zaletą jest możliwość formalnego wydzielenia w zbiorze danych wartości odstających i ekstremalnych.

Dla ilościowej charakterystyki zmienności zawartości siarki i popiołu obliczono wartości podstawowych parametrów statystycznych, takich jak średnia arytmetyczna i rzadko stosowana średnia trymowana, mediana, odchylenie standardowe, współczynnik zmienności oraz błąd względny oszacowania nieznanymi (prawdziwymi) wartości średnich rozpatrywanych parametrów dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$. Średnia trymowana (obcięta) jest średnią arytmetyczną oznaczeń obliczoną po wyeliminowaniu ze zbioru podstawowego pewnej frakcji wartości skrajnych np. 10% (5% największych i 5% najmniejszych wartości zostaje odrzuconych) (STATGRAPHICS XVII – User Manual 2014). Obcięcie 10% danych zostało przyjęte arbitralnie, jest to najczęściej przyjmowany poziom zawężania zbioru wartości danych.

Normalność rozkładu zbadano za pomocą testu Kołmogorowa-Smirnowa. Istotą testu jest porównanie bezwzględnych różnic pomiędzy dystrybuantą empiryczną i dystrybuantą teoretyczną wyznaczoną dla średniej arytmetycznej i odchylenia standardowego rozpatrywanego zbioru danych. W programach komputerowych obliczany jest tzw. empiryczny poziom istotności (oznaczany, jako P-value), definiujący maksymalne prawdopodobieństwo popełnienia błędu pierwszego rodzaju (Greń 1968). Jeżeli otrzymane P-value jest mniejsze od zadanego poziomu istotności (np. $\alpha = 0,05$ lub $\alpha = 0,01$) to hipotezę zerową zakładającą normalność rozkładu empirycznego należy odrzucić. Test Kołmogorowa-Smirnowa jest stosunkowo konserwatywny, a więc rzadziej odrzuca hipotezę zerową niż inne, bardziej liberalne testy normalności np. test Shapiro-Wilka (Razali i Wah 2011).

Do geostatystycznego opisu struktury zmienności przestrzennej badanych parametrów złożowych wykorzystano klasyczny semiwariogram Matherona. Semiwariogram (1) jest funkcją opisującą zależność pomiędzy średnim kwadratem różnic wartości badanych parametrów a średnią odległością między punktami opróbowania (Mucha 1994):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} (Z_{i+h} - Z_i)^2 \quad (1)$$

gdzie:

Z_i, Z_{i+h} – wartości parametrów złożowych w punktach opróbowań odległych o h ,
 N_h – liczba par punktów odległych o h .

Jeśli w obliczeniach uwzględniona jest nie tylko średnia odległość między punktami opróbowań, ale również kierunek badań, taki semiwariogram określa się jako kierunkowy (anizotropowy). Na podstawie izolinii wartości semiwariogramów kierunkowych tworzona jest indykatorysa zmienności, która jest łatwą do interpretacji formą wizualizacji anizotropii (Nieć red. 2012).

Badanie jednorodności parametrów złożowych wykonano przy zastosowaniu testu wielokrotnych porównań Gamesa-Howella (Keselman i Rogan 1978; Mucha i in. 2015; STATGRAPHICS XVII – User Manual 2014). Pozwala on wyznaczyć grupy (podzbiory danych) jednorodne, tzn. takie, między którymi średnie wartości parametru nie różnią się od siebie w sposób statystycznie istotny. Zaletą tego testu w odróżnieniu od innych testów tego rodzaju jest to, że nie wymaga on spełnienia warunku równości wariancji oraz jednakowej liczby danych w utworzonych podzbiorach danych (podobszarach badań).

Obliczenia oraz wykresy zostały wykonane w programie Statgraphics XVII, Surfer 12 oraz Statistica 12.

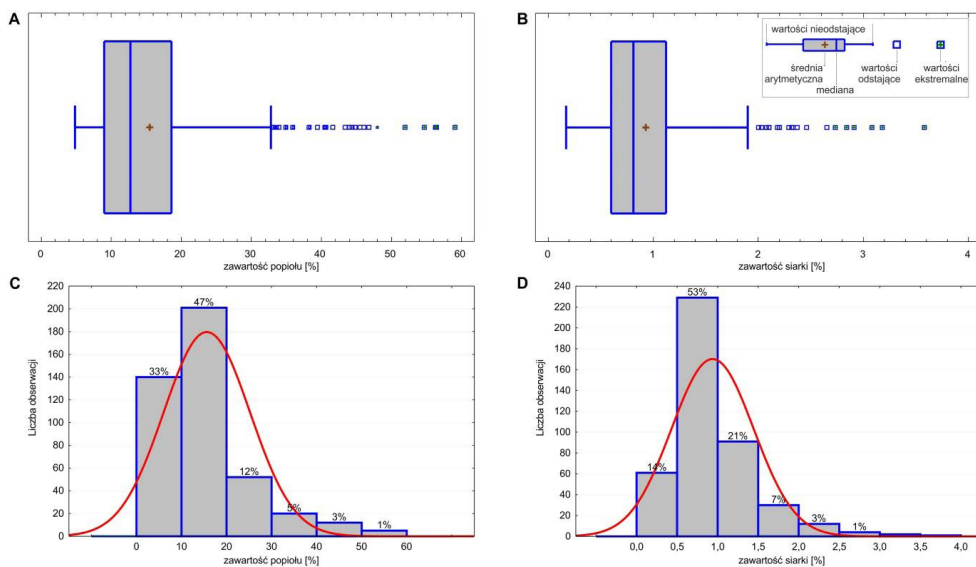
3. Statystyczny opis zmienności badanych parametrów

Analiza danych podstawowych wykazała obecność licznych wartości odstających oraz anomalnych (dla zawartości popiołu 22 wartości odstające i 6 wartości anomalnych; dla zawartości siarki 12 wartości odstających i 6 wartości anomalnych) (rys. 2. A, B). Rozkłady wartości parametrów są jednomodalne (rys. 2. C, D) i charakteryzują się prawostronną umiarkowaną asymetrią. Na podstawie testu Kołmogorowa-Smirnowa należy odrzucić hipotezę zakładającą, że badane rozkłady są rozkładami normalnymi (P-value dla obu parametrów jest równe 0,000). Według klasyfikacji Baryszewa badany fragment pokładu 308 charakteryzuje się dużą zmiennością, zarówno pod względem zmienności zawartości popiołu (ze współczynnikiem zmienności 62%), jak i zawartości siarki (ze współczynnikiem zmienności 54%) (tab. 1).

Porównując otrzymane wyniki z danymi literaturowymi dla innych złóż węgla kamiennego można stwierdzić, że wartości przedstawionych miar statystycznych obliczonych dla zawartości popiołu i siarki w pokładzie 308 złoża KWK Ziemowit nie odbiegają od wartości analogicznych miar dla innych pokładów. Wartości współczynników zmienności badanych parametrów są na ogół do siebie zbliżone, a ich rozkłady są prawostronnie asymetryczne o niezbyt silnej asymetrii (tab. 1). Węgla analizowanych pokładów są węglami o średniej czystości pod względem zawartości popiołu według normy PN-G-97003:1982 (tab. 1).

Zastosowanie średniej arytmetycznej do oceny średniej wartości badanego parametru w całej populacji (pokładzie), przy stwierdzonych wartościach anomalnych, powoduje zawyżenie rzeczywistej wartości średniej, dlatego uznano za celowe użycie w tych przypadkach mediany, która jest bardziej odporna na wartości anomalne.

Alternatywą dla stosowania mediany może być zastosowanie średniej trymowanej, która odrzuca zadany procent wartości najmniejszych i największych. W analizowanych przypad-



Rys. 2. A, B. Wykresy „ramka-wąsy” zawartości popiołu (po lewej stronie) oraz zawartości siarki (po prawej stronie); C, D – histogramy zawartości popiołu (po lewej stronie) oraz zawartości siarki (po prawej stronie) wraz z krzywą teoretyczną rozkładu normalnego

Fig. 2. A, B – diagram of ‘box and whiskers’ for ash (on the left side) and sulphur content (on the right side); C, D – histogram of ash (on the left side) and sulphur content (on the right side) with a curve of normal distribution

TABELA 1. Porównanie wielkości miar statystycznych dla wybranych pokładów złóż GZW

TABLE 1. Comparison of basic statistical parameters for selected coal deposits in the Upper Silesian Coal Basin

Kopalnia, pokład	Współczynnik zmienności (v) [%]		Współczynnik asymetrii (g1) [-]		Średnia (\bar{x}) [%]	
	siarka	popiół	siarka	popiół	siarka	popiół
Ziemowit p. 308	53,6	61,2	1,7	1,9	0,9	15,6
Murcki(1) p. 349	42,3	65,7	0,89	2,05	0,86	11,2
Piast (2) p. 206/1-2	24,5	40,6	1,08	0,69	0,98	17
Sośnica p. 358	34,9(3)	72,8(4)	b.d.	b.d.	1,23(3)	14,9(4)

Objaśnienia: (1) – Mucha, Wasilewska (2005), (2) – Wasilewska (2007), (3) – Kokesz (2010 a), (4) – Kokesz (2010 b).

kach różnica między średnią arytmetyczną i średnią trymowaną jest stosunkowo niewielka, ale zróżnicowana dla badanych parametrów i wynosi kilka procent dla zawartości siarki i kilkanaście procent dla zawartości popiołu (tab. 2). Wynika to ze stosunkowo umiarkowanej asymetrii rozkładów empirycznych. Wartość średniej trymowanej jest bliższa medianie niż średniej arytmetycznej.

Błędy względne oszacowania średniej wartości w rozpatrywanym obszarze badań dla prawdopodobieństwa 0,95 są małe i nie przekraczają 6%, co z formalnego punktu widzenia odpowiada kategorii A rozpoznania złoża (tab. 2).

TABELA 2. Wartości miar statystycznych dla zawartości popiołu oraz siarki w pokładzie 308 KWK Ziemowit

TABLE 2. Values of basic statistical parameters for ash and sulphur content in seam 308 from the Ziemowit coal mine

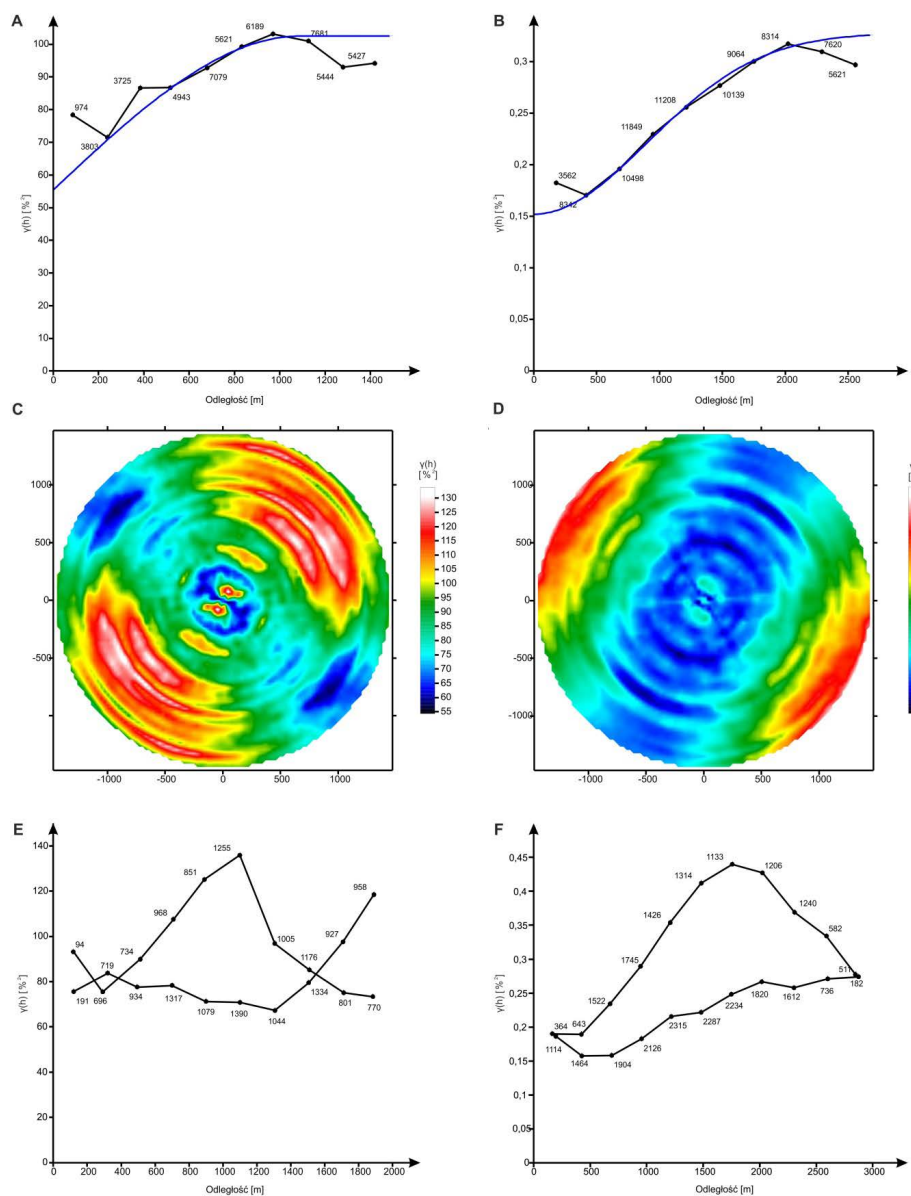
N	Zawartość popiołu							Zawartość siarki						
	\bar{x} [%]	Me [%]	\bar{x}_{tr} [%]	s [%]	v [%]	ϵ_w [%]	q ₁ [-]	\bar{x} [%]	Me [%]	\bar{x}_{tr} [%]	s [%]	v [%]	ϵ_w [%]	q ₁ [-]
430	15,50	12,70	13,70	9,55	62	5,8	1,92	0,93	0,81	0,86	0,50	54	4,3	1,73

Objaśnienia: N – liczba obserwacji, \bar{x} – średnia arytmetyczna, Me – mediana, \bar{x}_{tr} – średnia trymowana na poziomie 10%, s – odchylenie standardowe, v – współczynnik zmienności, ϵ_w – błąd względny oszacowania średniej wartości dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$, q₁ – współczynnik skośności.

Struktury zmienności zawartości popiołu i zawartości siarki w analizowanych próbach najlepiej obrazują geostatystyczne modele semiwariogramów: sferyczny i model Gaussa (rys. 3. A, B). Wyniki badań struktury zmienności analizowanych parametrów wskazują, że zastosowanie geostatystyki do szacowania średnich zawartości siarki i popiołu będzie bardziej efektywne niż zastosowanie statystyki klasycznej, ponieważ zasięgi semiwariogramów (a więc i zasięgi autokorelacji parametrów) znacznie przekraczają średnią odległość między punktami próbowań (>5), a udziały składnika nielosowego są znaczące i wynoszą około 50%.

Na podstawie map semiwariogramów kierunkowych (indykatrys zmienności) wyznaczono kierunki minimalnej i maksymalnej zmienności zawartości siarki i popiołu (rys. 3. C, D). W obydwu przypadkach kierunki te są do siebie prostopadłe. Kierunek minimalnej zmienności zawartości popiołu oraz maksymalnej zmienności zawartości siarki (z azymutem 30°) pokrywają się i są równoległe do linii wyrobisk korytarzowych. Anizotropia w zakresie odległości do 1000 m (dla zawartości siarki) i do 1500 m (dla zawartości popiołu) jest wyraźna. Uzasadnione wydaje się w tej sytuacji konstruowanie trudniejszych, geostatystycznych modeli anizotropowych zmienności dla potrzeb szacowania średnich wartości tych parametrów w parcelach obliczeniowych lub prognozowania (interpolacji) ich wartości w punktach (rys. 3. E, F) (Mucha i Wasilewska-Błaszczyk 2012).

Podstawowe parametry statystyczne obliczone dla zawartości popiołu i zawartości siarki w wydzielonych podobszarach (poligonach) zestawiono w tabeli 3. Wszystkie zastosowane statystyczne miary tendencji centralnej są bardzo zróżnicowane dla poszczególnych podobszarów – dla przykładu, mediany zawartości popiołu przyjmują wartości z przedziału od 7,65 do 17% natomiast mediany zawartości siarki zawierają się w przedziale: 0,57–1,1%. Podobnie jak w przypadku całego obszaru badań zastosowanie średniej trymowanej w większości przypadków daje wartości zawierające się w przedziale wyznaczonym przez średnią arytmetyczną i medianę lecz bliższe medianie, niż średniej arytmetycznej. Różnice w wartościach mediany i średniej trymowanej sięgają maksymalnie 21% wartości średniej trymowanej natomiast różnice wartości mediany i średniej arytmetycznej sięgają maksymalnie 40% wartości średniej arytmetycznej. Wynika to z asymetrycznego charakteru rozkładów prawdopodobieństwa badanych parametrów.



Rys. 3. A, B – semiwariogramy empiryczne wraz z dopasowanymi modelami teoretycznymi zawartości popiołu (po lewej stronie) oraz zawartości siarki (po prawej stronie); C, D – indykatory zmienności zawartości: popiołu (po lewej stronie) oraz zawartości siarki (po prawej stronie); E, F – semiwariogramy kierunkowe dla kierunków maksymalnej i minimalnej zmienności zawartości popiołu (po lewej stronie) oraz zawartości siarki (po prawej stronie)

Fig. 3. A, B – empirical semivariograms with fitted theoretical models of ash (on the left side) and sulphur content (on the right side); C, D – directional semivariogram maps of ash (on the left side) and sulphur content (on the right side); E, F – directional semivariograms of ash (on the left side) and sulphur content (on the right side)

TABELA 3. Wartości podstawowych parametrów statystycznych opisujących zmienność zawartości siarki i popiołu w wyróżnionych podobszarach (rys. 1)

TABLE 3. Values of basic statistical parameters describing variability of ash and sulphur content within the distinguished sub-areas (polygons) (fig. 1)

obszar	N	Zawartość popiołu						Zawartość siarki						
		\bar{x} [%]	Me [%]	\bar{x}_{tr} [%]	s [%]	v [%]	ϵ_w [%]	\bar{x} [%]	Me [%]	\bar{x}_{tr} [%]	s [%]	v [%]	ϵ_w [%]	
A	1	93	13,10	10,20	12,30	6,78	52	10,5	1,01	0,98	0,98	0,43	43	7,8
	2	117	14,00	9,10	10,90	12,50	89	16,1	0,84	0,73	0,79	0,46	54	9,3
	3	77	17,30	15,30	16,20	7,20	42	9,3	0,68	0,60	0,64	0,30	44	8,6
	4	143	17,20	14,60	15,70	8,99	52	8,5	1,08	0,91	0,99	0,60	55	9,1
B	1	63	14,80	12,70	14,30	7,17	48	11,9	1,01	0,94	0,94	0,42	42	9,7
	2	62	9,76	8,80	8,97	4,00	41	10,2	0,99	0,92	0,97	0,46	47	11,9
	3	61	12,50	8,90	9,49	11,40	91	22,7	0,88	0,73	0,82	0,48	55	13,4
	4	51	19,0	14,8	16,7	13,3	70	19,2	0,65	0,62	0,63	0,27	41	12,1
	5	50	18,40	15,90	17,40	7,55	41	11,4	0,67	0,57	0,63	0,31	47	11,7
	6	83	14,80	13,00	13,70	6,80	46	9,9	1,15	0,97	1,05	0,66	58	11,9
	7	60	20,50	17,00	19,10	10,60	52	13,0	0,99	0,88	0,92	0,49	50	11,9
C	1	61	15,70	14,10	15,10	6,85	44	11,0	1,18	1,09	1,13	0,41	35	8,3
	2	32	8,15	7,65	7,72	2,64	32	11,3	0,69	0,68	0,69	0,26	37	14,2
	3	70	14,20	10,00	11,60	10,80	76	17,8	0,97	0,87	0,91	0,52	53	12,1
	4	55	13,40	8,00	10,10	13,70	102	26,9	0,67	0,62	0,64	0,27	40	11,7
	5	39	17,80	15,90	17,20	6,97	39	12,3	0,64	0,60	0,61	0,22	35	12,3
	6	52	17,40	15,40	16,20	8,09	47	12,6	0,67	0,58	0,62	0,30	46	11,7
	7	66	15,70	13,40	14,10	8,30	53	12,7	1,27	1,10	1,17	0,66	52	12,3
	8	55	19,50	16,50	18,30	9,59	49	13,0	1,05	0,91	0,99	0,53	50	13,1

Objaśnienia: N – liczba obserwacji, \bar{x} – średnia arytmetyczna, Me – mediana, \bar{x}_{tr} – średnia trymowana na poziomie 10%, s – odchylenie standardowe, v – współczynnik zmienności, ϵ_w – błąd względny oszacowania średniej wartości dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$.

Podobnie jak miary tendencji centralnej również miary rozrzutu charakteryzują się dużym zróżnicowaniem. Zmienność wyrażona za pomocą współczynnika zmienności dla zawartości popiołu jest wyższa niż dla zawartości siarki. Na ogół jednak analizowane parametry w badanych fragmentach (podobszarach) pokładu 308 cechują się dużą zmiennością. Błąd względny oszacowania średniej zawartości siarki i popiołu dla poziomu prawdopodobieństwa $P = 95\%$ w poszczególnych podobszarach jest zdecydowanie wyższy (przeważnie o rząd wielkości) w stosunku do błędu względnego obliczonego dla całego obszaru badań. W większości przypadków wartość błędu względnego formalnie pozwala zaklasyfikować badany podobszar do kategorii B rozpoznania złoża (błąd mniejszy od 20%). W pozostałych przypadkach za wyjątkiem dwóch podobszarów, badane fragmenty można zaklasyfikować do wyższej kategorii rozpoznania – kategorii A.

W świetle wyników testu Kołmogorowa – Smirnowa na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ rozkład zawartości siarki prawie w każdym podobszarze można roboczo przybliżyć za pomocą rozkładu normalnego (tab. 4). Inaczej jest dla rozkładów zawartości popiołu, gdzie w większości podobszarów (w 12 na 19) należy przyjąć hipotezę alternatywną o braku możliwości przybliżenia rozkładów empirycznych za pomocą teoretycznego rozkładu normalnego. Warto zwrócić uwagę na fakt, że rozkładów empirycznych badanych parametrów

TABELA 4. Wyniki badania normalności rozkładu zawartości siarki i popiołu za pomocą testu Kołmogorowa-Smirnowa (P-value – empiryczny poziom istotności, dla P-value<0,05 hipotezę o normalności rozkładu należy odrzucić)

TABLE 4. Results of Kolmogorov-Smirnov normality test of ash and sulphur content (P-value – empirical level of significance)

Podobszary									Całość danych	
A			B			C			Ar [%]	S [%]
obszar	Ar [%]	S [%]	obszar	Ar [%]	S [%]	obszar	Ar [%]	S [%]	Ar [%]	S [%]
	P-value			P-value			P-value		P-value	
1	0,001	0,274	1	0,181	0,058	1	0,083	0,192	0,000	0,000
2	0,000	0,010	2	0,000	0,605	2	0,304	0,985		
3	0,019	0,173	3	0,000	0,082	3	0,000	0,076		
4	0,000	0,003	4	0,001	0,737	4	0,000	0,212		
			5	0,134	0,101	5	0,553	0,259		
			6	0,022	0,139	6	0,022	0,214		
			7	0,053	0,041	7	0,003	0,168		
						8	0,083	0,192		

dla całego obszaru nie można przybliżyć za pomocą rozkładu normalnego pomimo, że dla danych z poszczególnych poligonów nie ma podstaw do odrzucenia takiej hipotezy.

4. Badanie jednorodności

Wyniki badania jednorodności podzbiorów z punktu widzenia średnich wartości parametrów przy zastosowaniu testu Gamesa-Howella (G-H) zestawiono w tabeli 5.

Dowodzą one, że w żadnym z wyróżnionych wariantów podobszarów (A, B, C) nie można wskazać jednej, jednorodnej grupy danych. Największą niejednorodnością średniej zawartości siarki i popiołu charakteryzują się podobszary B z wyróżnionymi 3–4 grupami jednorodnymi natomiast najmniejszą niejednorodność stwierdzono dla podobszarów C z wyróżnionymi 2 grupami jednorodnymi. Generalnie uzyskane wyniki tłumaczą dużą zmienność zawartości siarki i popiołu w całym obszarze badań i uzasadniają trudności precyzyjnego prognozowania ich wartości średnich w małych parcelach jak i wiarygodnego ilustrowania rozmieszczenia zawartości tych parametrów za pomocą map izolinowych.

Wnioski

Rozkłady empiryczne zawartości popiołu i siarki w pokładzie 308 KWK Ziemowit nie odbiegają zasadniczo od rozkładów empirycznych tych parametrów w innych pokładach GZW i charakteryzują się umiarkowaną prawostronną asymetrią oraz występowaniem licznych wartości odstających i anomalnych oraz dużą zmiennością ze współczynnikiem zmienności rzędu 60%. W skali całego obszaru badań modelem teoretycznym rozkładów empirycznych nie może być rozkład normalny pomimo tego, że takiej hipotezy nie można odrzucić w przypadku zbiorów danych z wielu podobszarów wydzielonych w obszarze badań.

TABELA 5. Wyzdzenie grup danych (podobszarów) jednorodnych z punktu widzenia zawartości popiołu i siarki przy zastosowaniu testu Gamesa-Howella (dla poziomu istotności 5%)

TABLE 5. The results of the multiple range tests for ash and sulphur content (A) (Games-Howell test, significance level – 5%)

Zawartość popiołu				Zawartość siarki			
	N	\bar{x} [%]	grupy jednorodne		N	\bar{x} [%]	grupy jednorodne
A1	93	13,10	X	A1	93	1,01	X
A2	117	14,05	XX	A2	117	0,84	X
A4	143	17,21	X	A4	143	1,08	X
A3	77	17,28	X	A3	77	0,68	X
B2	62	9,76	X	B2	62	0,99	X
B3	61	12,51	XX	B3	61	0,88	XX
B1	63	14,83	XX	B1	63	1,01	X
B6	83	14,84	XX	B6	83	1,15	X
B5	50	18,44	XX	B5	50	0,67	XX
B4	53	18,96	XXX	B4	53	0,65	X
B7	60	20,49	X	B7	60	0,99	X
C2	32	8,15	X	C2	32	0,69	X
C4	55	13,40	XX	C4	55	0,67	X
C3	70	14,23	X	C3	70	0,97	X
C7	66	15,67	X	C7	66	1,27	X
C1	61	15,69	X	C1	61	1,18	X
C6	52	17,37	X	C6	52	0,67	X
C5	39	17,79	X	C5	39	0,64	X
C8	55	19,47	X	C8	55	1,05	X

Objaśnienia: N – liczba obserwacji, \bar{x} – średnia arytmetyczna, x – grupy jednorodne wyznaczają (w kolumnach) znaki oznaczone tym samym kolorem.

- Test wielokrotnych porównań Gamesa-Howella wykazał, że badane parametry nie tworzą jednorodnego zbioru danych w całym obszarze badań. Cecha ta może tłumaczyć dużą zmienność parametrów i być może anizotropowy charakter zmienności. Jest ona odpowiedzialna także za małą dokładność szacowania tych parametrów w małych parcelach obliczeniowych.
- „Bezpieczniejszą” alternatywą dla statystycznej charakterystyki średniej zawartości popiołu i siarki za pomocą średniej arytmetycznej może być średnia trymowana (obcięta). Przyjmuje ona wartości pomiędzy średnią arytmetyczną a medianą. W warunkach rozkładów prawo-asymetrycznych lepiej estymuje prawdziwą średnią wartość parametru złożowego z uwagi na ignorowanie anomalnie wysokich obserwacji.
- Geostatystyczne badanie struktury zmienności badanych parametrów za pomocą semiwariogramów ujawnia wyraźnie zaznaczony składnik nielosowy zmienności oraz silnie wyrażoną anizotropię zmienności w zakresie odległości 1000–1500 m. Takie właściwości struktury zmienności pozwalają założyć, że zastosowanie geostatystycznej procedury krigingu do szacowania średnich wartości parametrów będzie

skutkowało wyraźnym wzrostem dokładności oszacowań w porównaniu z klasyczną metodą statystyczną, szczególnie w przypadku zastosowania anizotropowego modelu zmienności.

Podziękowania

Autorzy składają wyrazy podziękowania dyrektorowi kopani KWK Ziemowit Panu Piotrowi Nielacnemu oraz zastępcy kierownika działu mierniczo-geologicznego Panu Tadeuszowi Skwara za udostępnienie danych wykorzystanych w niniejszym artykule.

Praca zrealizowana została częściowo w ramach badań statutowych Katedry Geologii Żyłowej i Górniczej (nr 11.11.140.320) w 2016 roku oraz częściowo z grantu dziekańskiego (nr 15.11.140.856)

Literatura

- Greń, J. 1968. *Modele i zadania statystyki matematycznej*. Warszawa: PWN, s. 322.
- Keselman, J.H. i Rogan, C.J. 1978. A Comparison of the Modified-Turkey and Scheffe Methods of Multiple Comparison for Pairwise Contrasts. *Journal of the American Statistical Association* Vol. 73, No. 361, s. 47–52.
- Kokesz, Z. 2010a. Geostatystyczna analiza zmienności zawartości siarki w wybranych pokładach węgla GZW. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 26, z. 3, s. 95–109.
- Kokesz, Z. 2010b. Geostatystyczna charakterystyka zmienności zawartości popiołu i wartości opałowej węgla w wybranych pokładach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Przegląd Górniczy* t. 66, nr 11, s. 103–110.
- Mucha, J. 1994. Metody geostatystyczne w dokumentowaniu złóż. *Skrypt Katedry Geologii Kopalnianej AGH*, Kraków, s. 155.
- Mucha, J. i Wasilewska-Błaszczuk, M. 2012. Variability anisotropy of mineral deposits parameters and its impact on resources estimation – a geostatistical approach. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 28, z. 4, s. 113–135.
- Mucha, J. i Wasilewska, M. 2005. Dokładność interpolacji zawartości siarki i popiołu w wybranych pokładach węgla kamiennego GZW. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 21, z. 1, s. 5–22.
- Mucha i in. 2015 – Mucha, J., Wasilewska-Błaszczuk, M. i Paszek, M. 2015. Badanie zmienności i jednorodności gęstości przestrzennej węgla kamiennego w wytypowanych pokładach niezagospodarowanych złóż GZW. *Górnictwo Odkrywkowe* 2, s. 79–85.
- Nieć, M. red. 2012. *Metodyka dokumentowania złóż kopalni stałych*. Część IV. Szacowanie zasobów, Kraków, s. 241.
- Razali, N. i Wah, Y. 2011. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics* Vol. 2, No. 1, s. 21–33.
- STATGRAPHICS® Centurion XVII User Manual 2014, Statpoint Technologies, Inc.
- Wasilewska, M. 2007. *Struktura zmienności parametrów złóż węgla kamiennego w wybranych kopalniach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Rozprawa doktorska, Kraków, s. 161.

