

RAFAŁ MORGA\*

## Struktura zmienności zawartości fosforu w eksploatowanych pokładach węgla kamiennego KWK Pniówek

### Słowa kluczowe

Węgiel kamienny, fosfor, geostatystyka

### Streszczenie

W badanych pokładach występuje węgiel o stosunkowo wysokiej, niekorzystnej przy produkcji koksu, zawartości fosforu ( $P^o$ ). Najlepszymi parametrami odznacza się węgiel występujący w pokładach 357/1, 360/1 i 401/1. Stwierdzono, że zawartość fosforu zmienia się w szerokim zakresie od 0,006 do 0,220%, przy średniej wartości od 0,051 do 0,079%. Oszacowania przeprowadzone metodą krigingu, dają wyniki różniące się od tych wartości maksymalnie o 0,006% (pokład 403/1). Zmienność zawartości fosforu w badanych pokładach określono jako dużą, a jedynie w przypadku najsłabiej rozpoznanego pokładu 404/2 – jako przeciętną. Struktura zmienności zawartości fosforu wykazuje dwojaki charakter. Pierwszą grupę stanowią pokłady, w przypadku których semiwariogramy uśrednione aproksymowano modelem liniowym, sferycznym lub też złożeniem modelu sferycznego i Gaussa (pokłady 357/1, 360/1, 361, 401/1 i 403/1). Drugą grupę stanowią pokłady, dla których semiwariogram uśredniony przybliżono modelem losowym (pokład 363 i 404/2).

### 1. Występowanie fosforu w węglu kamiennym w GZW i jego znaczenie w produkcji koksu

Zawartość fosforu jest jednym z podstawowych elementów oceny jakości węgla koksowego. Praktycznie cały zawarty w węglu fosfor przechodzi bowiem do wyprodukowanego żelaza i stali (Mahony i in. 1981), z którego następnie przedostaje się do stali, co powoduje jej kruchość (Bątołek-Giesia i in. 2001). Związki fosforu są zazwyczaj silnie zdyspergowane,

\* Dr inż., Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Instytut Geologii Stosowanej, Gliwice.

co sprawia, że nie ma możliwości usunięcia ich w trakcie procesów mechanicznego wzbogacania. W tej sytuacji jedynym sposobem wpływania na zawartość fosforu w koksie jest taki dobór składników mieszanki wsadowej, by zawierały one możliwie małe ilości tego pierwiastka (Mahony i in. 1981).

Obecnie odbiorcy koksu, zwłaszcza z krajów europejskich, wymagają, aby nie zawierał on więcej niż 0,060–0,065% fosforu ( $P^d$ ) (Michalik, Bronny 2001; Diaz 2002). Optymalna mieszanka węglowa, z której można wyprodukować koks o takich właściwościach, powinna zawierać maksymalnie 0,040–0,045% fosforu. Jeszcze wyższe wymagania stawia rynek amerykański, na którym pożądana zawartość fosforu w koksie ( $P^d$ ) nie powinna przekraczać 0,025% (Michalik, Bronny 2001; Ściążko 2001).

Węgiel występujący w GZW zawiera od 0 do powyżej 5000 g/t, a średnio 404 g/t,  $P_2O_5$ . Zawartość fosforu w węglu z GZW wykazuje zróżnicowanie zarówno stratygraficzne, jak i regionalne. Najwyższe koncentracje  $P_2O_5$  występują w węglu pochodzącym z pokładów serii mułowcowej, najniższe natomiast w węglu z krakowskiej serii piaskowcowej i górnośląskiej serii piaskowcowej (Rożkowska, Parzenty 1990). Zawartość fosforu może wykazywać znaczące zróżnicowanie w obrębie jednego pokładu węgla, w tym w jego profilu pionowym. Może to być związane z występowaniem przerostów tonsteinu lub z obecnością szczątków organizmów (Burger i in. 1997). W węglu z GZW fosfor występuje w postaci fosforanów wapnia (Kuhl, Dąbek 1961), w tym minerałów z grupy crandallitu i apatyty (Burger i in. 1997).

Podstawowym surowcem do produkcji koksu wielkopieczowego w naszym kraju jest węgiel typu 35 (Kurdziel, Kosewska 2001). Niestety, jego mankamentem jest stosunkowo wysoka zawartość fosforu (Michalik, Bronny 2001). Węgiel tego typu jest obecnie eksploatowany jedynie przez kopalnię Jastrzębskiej Spółki Węglowej i zakłada się, że sytuacja ta nie ulegnie zmianie przynajmniej do roku 2010. Jeśli wydobycie tego typu węgla nie zostanie podjęte również w innych kopalniach, Polska po 2015–2020 roku może stać w obliczu konieczności importu węgla ortokoksowego (Jarno 2001).

## 2. Cel pracy

Celem pracy było określenie struktury zmienności zawartości fosforu w węglu koksowym, w eksploatowanych pokładach KWK Pniówek, za pomocą metod statystycznych i geostatystycznych.

Obszar górniczy kopalni Pniówek znajduje się w południowo-zachodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, na wschód od siodła Jastrzębia. Utwory formacji produktywnej górnego karbonu, rozpoznane do głębokości około 1500 m, obejmują interwał stratygraficzny od stropowej partii warstw porębskich po warstwy orzeskie s.s. Przykryte są one nadkładem osadów neogeńskich o miąższości od 250 m (w północno-wschodniej części obszaru górniczego) do 980 m (w części południowej). Wydobycie węgla prowadzi się w pokładach: 357/1, 360/1, 361, 363, 401/1, 403/1 i 404/2.

W kopalni, w ramach rutynowych oznaczeń parametrów chemiczno-technologicznych, przeprowadza się analizy zawartości fosforu w popiele węglowym ( $P^a$ ), według Polskiej

Normy PN-86/G-04528. Wykonywane są one w Centralnym Laboratorium Pomiarowo-Badawczym JSW w Jastrzębiu.

### 3. Metodyka pracy

Do osiągnięcia celu pracy wykorzystano wyniki analiz zawartości fosforu w popiele ( $P^a$ ), wykonanych przez KWK „Pniówek”.

Za pomocą programu Geo-eas 1.2.1 przeprowadzono najpierw analizę statystyczną, obejmującą określenie wartości podstawowych parametrów zmienności: zakresu zmienności, średniej arytmetycznej ( $\bar{x}$ ), odchylenia standardowego ( $s$ ), współczynnika zmienności ( $v$ ) i współczynnika asymetrii (skośności) –  $g_1$ . Sporządzono również histogramy zawartości fosforu, dla których szerokość przedziałów klasowych dobrano kierując się sugestią Hunstbergera (Mucha 1994).

Następnie przeprowadzono analizę geostatystyczną. Obejmowała ona sporządzenie uśrednionych semiwariogramów zawartości fosforu dla każdego z badanych pokładów (Kokesz, Nieć 1992; Mucha 1994, 2002). W związku z wyraźną asymetrią rozkładu wartości analizowanego parametru, jak również nieregularnym sposobem opróbowania pokładów, jako estymator zastosowano semiwariogram typu Inverted Covariance (Mucha 2002). Aproksymację wszystkich semiwariogramów przeprowadzono ręcznie, w programie Geo-eas. Jej prawidłowość sprawdzono za pomocą testu krzyżowego w module Cross Validation wspomnianego programu (*op. cit.*). Obliczono również udziały składnika nielosowego ( $w_L$ ) i losowego ( $w_N$ ) w zmienności parametru dla odległości  $h$  między obserwacjami, zmierzającej do zera (*op. cit.*). Metodą krigingu określono także średnią zawartość fosforu dla każdego pokładu i porównano ją z wartością obliczoną metodą statystyczną. Następnie, za pomocą programu Surfer 8, wykonano mapy izolinii zawartości  $P^a$ . W przypadku dwóch pokładów – 363 i 404/2, dla których stwierdzono losowy charakter zmienności tego parametru, od sporządzenia map odstąpiono (Mucha, Kokesz 1986; Dolik i in. 1988; Kokesz 2000, 2003).

Teoretyczne aspekty stosowania metod geostatystycznych i wykorzystanie tych metod w rozpoznawaniu i interpretacji zmienności cech jakościowych kopaliny, w tym węgla kamiennego, było przedmiotem licznych opracowań (m.in. Dzedzej, Mikrut 1986; Dzedzej, Kotulski 1990; Nieć i in. 1989; Kokesz 1990; 2000, 2003; Kokesz, Mucha 1987; Mucha 1994, 2002; Watson i in. 2001; Mucha, Stala-Szlugaj 2002).

### 4. Statystyczny i geostatystyczny opis zmienności

#### Pokład 357/1

Do badań wykorzystano wyniki analiz 34 próbek węgla. Zawartość fosforu ( $P^a$ ) zmienia się w szerokim zakresie od 0,007 do 0,22% (tab. 1), przy średniej wartości 0,061%

TABELA 1

Wartości podstawowych parametrów statystycznych dla zawartości fosforu ( $P^a$ )

TABLE 1

Values of basic statistical parameters for phosphorous content ( $P^a$ )

Pokład	$P^a_{min}$ [%]	$P^a_{max}$ [%]	$\bar{x}$ [%]	$s$ [%]	$v$ [%]	$g_1$
357/1	0,007	0,220	0,061	0,060	100	1,43
360/1	0,010	0,132	0,051	0,032	62	0,56
361	0,010	0,172	0,079	0,038	48	0,77
363	0,006	0,220	0,073	0,056	77	0,86
401/1	0,009	0,164	0,054	0,030	56	1,01
403/1	0,015	0,172	0,078	0,036	47	0,68
404/2	0,026	0,126	0,079	0,028	35	-0,32

( $s = 0,06\%$ ). Współczynnik zmienności  $v$  osiąga wysoką wartość – 100%, co według klasyfikacji Baryszewa (Mucha 1994) świadczy o dużej zmienności analizowanego parametru. Histogram zawartości fosforu jest jednomodalny, silnie asymetryczny (rys. 1). Współczynnik asymetrii  $g_1$  jest równy 1,43 – jest to najwyższa wartość dla wszystkich badanych pokładów.

Semiwariogram uśredniony został aproksymowany modelem liniowym o następujących parametrach: zmienność lokalna  $C_0 = 0,002$ , współczynnik nachylenia prostej  $b = 0,00000065$  (tab. 2, rys. 2). Prawidłowość doboru modelu została oceniona za pomocą testu krzyżowego.

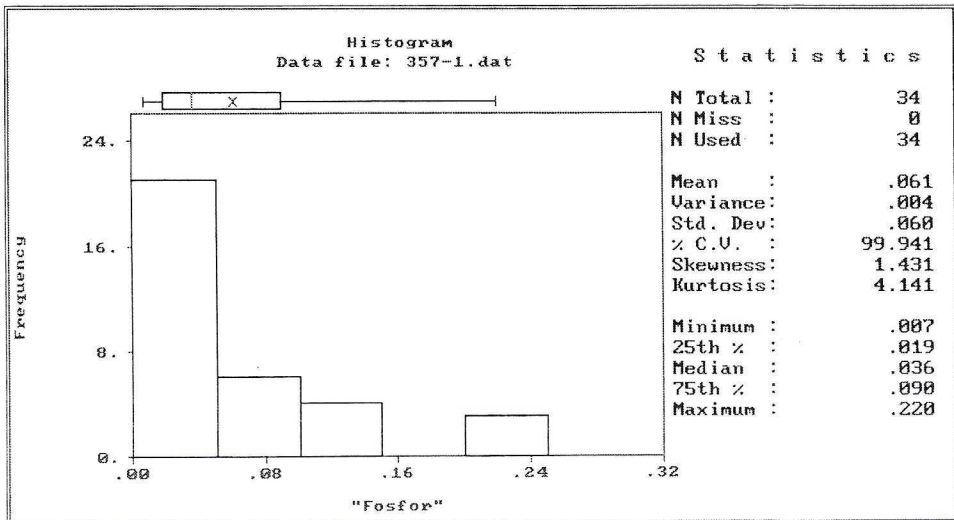
Rys. 1. Histogram zawartości fosforu ( $P^a$ ) dla pokładu 357/1Fig. 1. Histogram of phosphorous content ( $P^a$ ) for seam 357/1

TABELA 2

Wartości podstawowych parametrów geostatystycznych dla zawartości fosforu ( $P^a$ )

TABLE 2

Values of basic geostatistical parameters for phosphorous content ( $P^a$ )

Pokład	Model	$C_0$	$C_0+C$	$a$ [m]	$b$	$\varepsilon_{wi}$	$s$	$w_N$ [%]	$w_L$ [%]
357/1	liniowy	0,002	–	–	$65 \cdot 10^{-8}$	-0,05	1,05	60	40
360/1	sferyczny	0,0006	0,00095	800	–	-0,08	1,02	48	52
	Gaussa	0,0006	0,0008	5 000	–				
361	sferyczny	0,0011	0,0019	3 500	–	0,05	1,00	42	58
363	losowy	0,0032	–	–	–	0,09	1,07	–	100
401/1	sferyczny	0,0007	0,001	1 700	–	-0,01	0,92	30	70
403/1	sferyczny	0,0008	0,0013	900	–	0,12	1,00	38	62
404/2	losowy	0,0007	–	–	–	0,05	1,03	–	100

Względny błąd oceny ( $\varepsilon_{wi}$ ) ma wartość  $-0,05$ , a jego odchylenie standardowe  $1,05$  – co świadczy o tym, że model został dopasowany prawidłowo (Mucha 2002). Maksymalny udział składnika nielosowego ( $w_N$ ) w zmienności zawartości fosforu w tym pokładzie wynosi  $60\%$ , a minimalny udział składnika losowego ( $w_L$ )  $40\%$ . Średnia wartość badanego parametru, ustalona procedurą krigingu, jest nieznacznie wyższa niż ustalona według metody statystycznej i wynosi  $0,063\%$  (tab. 3).

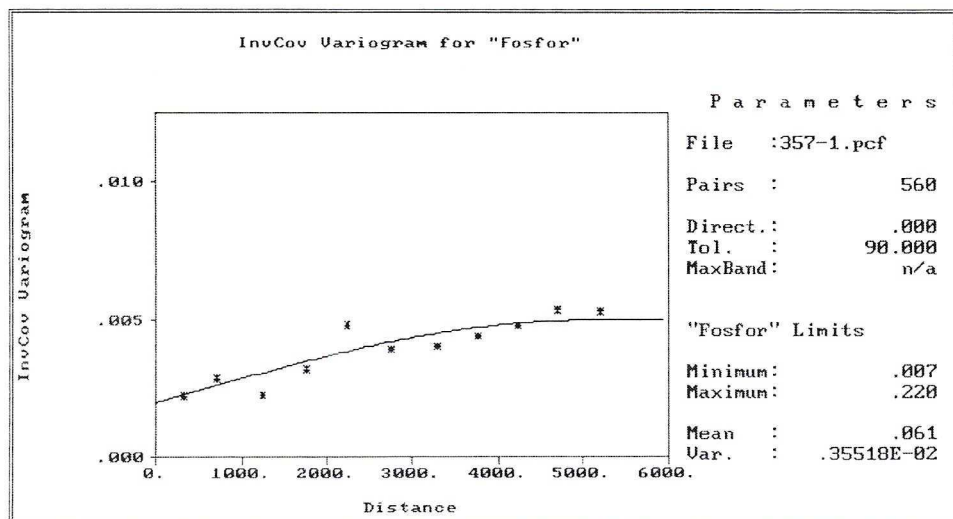
Rys. 2. Semiwariogram zawartości fosforu ( $P^a$ ) dla pokładu 357/1Fig. 2. Semi-variogram of phosphorous content ( $P^a$ ) for seam 357/1

TABELA 3

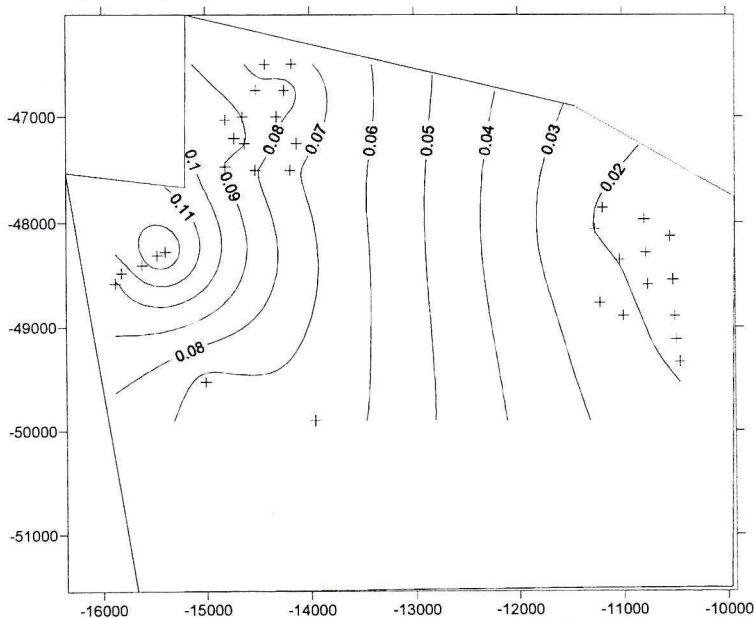
Zestawienie średnich zawartości fosforu ( $P^a$ ) obliczonych metodą statystyczną i metodą krigingu

TABLE 3

Comparison of mean values of phosphorous content ( $P^a$ ), determined by statistical method and by kriging method

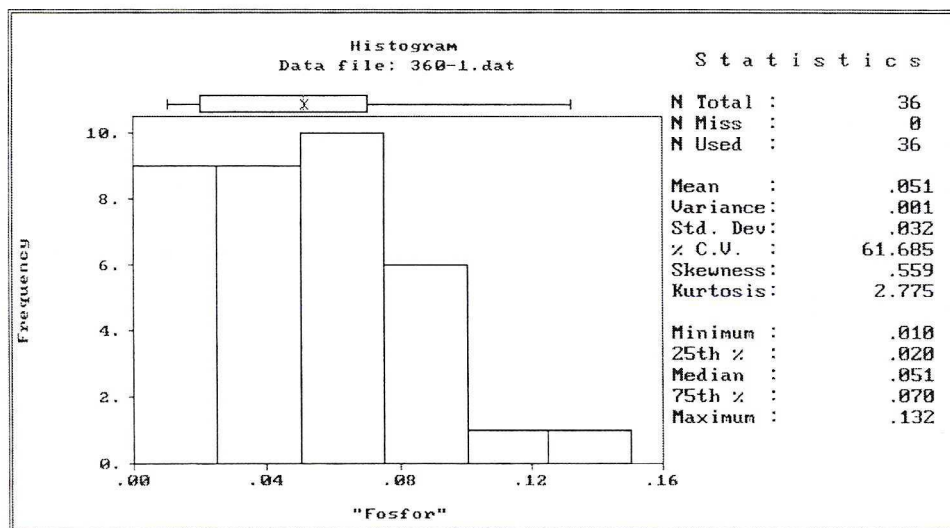
Pokład	$\bar{x}$ [%]	$z^*$ [%]	$d$ [%]
357/1	0,061	0,063	-0,002
360/1	0,051	0,049	0,002
361	0,079	0,081	-0,002
363	0,073	0,078	-0,005
401/1	0,054	0,053	0,001
403/1	0,078	0,084	-0,006

Mapa izolinii zawartości  $P^a$  objęła północną i centralną część obszaru górniczego (rys. 3). Zaznacza się na niej wyraźny, zachodzący regularnie, wzrost wartości tego parametru w kierunku ze wschodu na zachód. Węgiel o najlepszych własnościach występuje w północno-wschodniej partii pokładu (zawartość  $P^a$  rzędu 0,01–0,05%). Stosunkowo niska średnia wartość parametru dla całego pokładu sugeruje jednak, że w przypadku uśrednienia urobku cały pokład, z wyjątkiem jego części północno-zachodniej, nadaje się do wykorzystania w celu produkcji koksu.

Rys. 3. Mapa zawartości fosforu ( $P^a$ ) dla pokładu 357/1Fig. 3. Map of phosphorous content ( $P^a$ ) for seam 357/1

## Pokład 360/1

Analizę przeprowadzono dla 36 próbek węgla. Zawartość fosforu wynosi od 0,01 do 0,132% (tab. 1), przy niskiej wartości średniej 0,051% ( $s = 0,032\%$ ), najniższej spośród wszystkich badanych pokładów. Współczynnik zmienności osiąga wartość 62%, co wskazuje na dużą zmienność parametru według klasyfikacji Baryszewa. Rozkład wartości  $P^a$  odznacza się dużą regularnością, przy stosunkowo niewielkim zakresie zmienności. Świadczy o tym kształt histogramu (rys. 4), w którym cztery pierwsze przedziały klasowe (wartość  $P^a$  od 0 do 0,1%) są niemal równoliczne, a współczynnik asymetrii osiąga niską wartość 0,56.



Rys. 4. Histogram zawartości fosforu ( $P^a$ ) dla pokładu 360/1

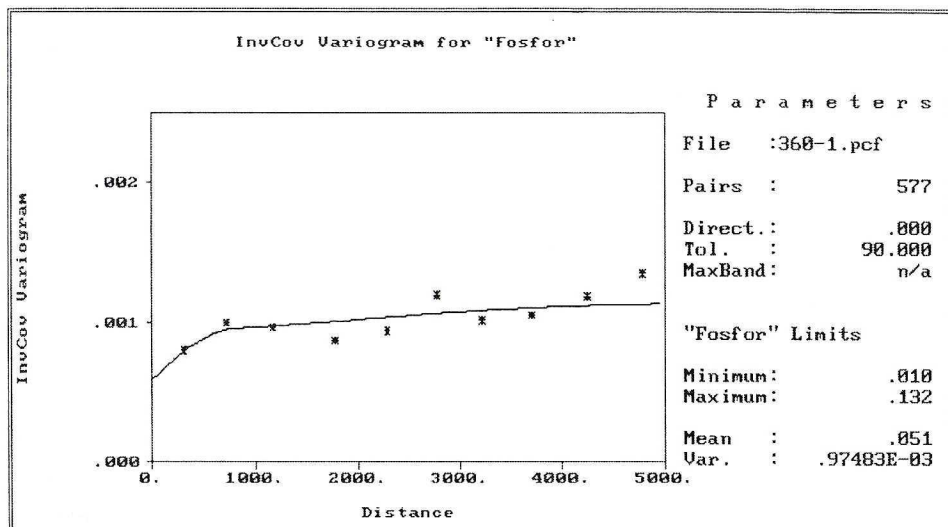
Fig. 4. Histogram of phosphorous content ( $P^a$ ) for seam 360/1

Semiwariogram przybliżono złożeniem modelu sferycznego i modelu Gaussa, których parametry są następujące (tab. 2, rys. 5):

- Model sferyczny – zmienność lokalna  $C_0 = 0,0006$ , amplituda semiwariogramu  $C_0 + C = 0,00095$ , zasięg semiwariogramu  $a = 800$  m;
- Model Gaussa – zmienność lokalna  $C_0 = 0,0006$ , amplituda semiwariogramu  $C_0 + C = 0,0008$ , zasięg semiwariogramu  $a = 5000$  m.

W teście krzyżowym określono wartość względnego błędu oceny ( $\varepsilon_{pr}$ ) jako  $-0,08$ , przy odchyleniu standardowym 1,02. Maksymalny udział składnika nielosowego ( $w_N$ ) w zmienności zawartości fosforu wynosi 48%, a minimalny udział składnika losowego ( $w_L$ ) 52%. Średnia zawartość fosforu określona metodą krigingu wynosi 0,049% (tab. 3).

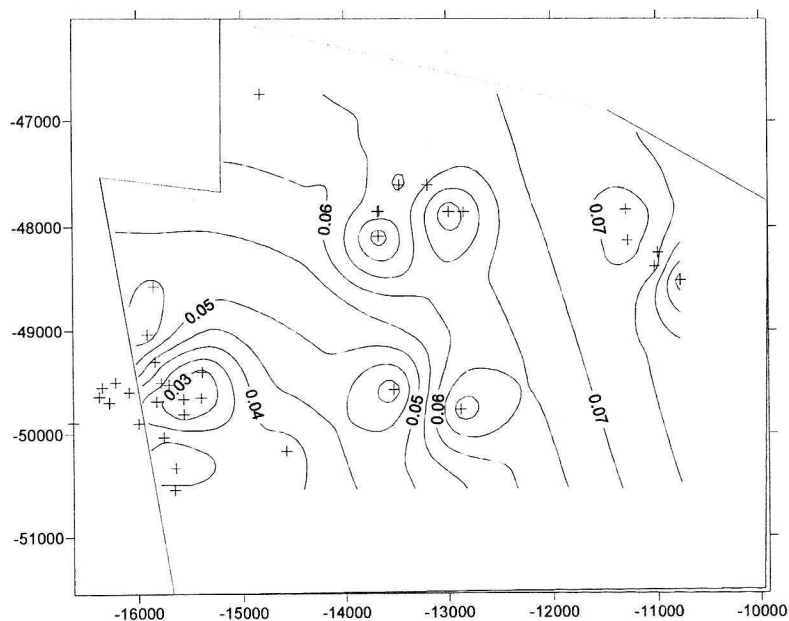
Wartość parametru wzrasta w sposób nieregularny z zachodu na wschód (rys. 6). Najlepszy pod względem zawartości fosforu węgiel występuje w partii południowo-zachodniej (zawartość  $P^a$  ok. 0,03–0,05%). W centrum obszaru górniczego obserwuje się lokalne wzrosty wartości  $P^a$ , mogące utrudnić selektywną eksploatację. Parametry statys-



Rys. 5. Semiwariogram zawartości fosforu ( $P^d$ ) dla pokładu 360/1

Fig. 5. Semi-variogram of phosphorous content ( $P^d$ ) for seam 360/1

tyczne i geostatystyczne wskazują jednak, iż w pokładzie, z wyjątkiem jego części północno-wschodniej, występuje węgiel o wysokiej przydatności do koksowania.



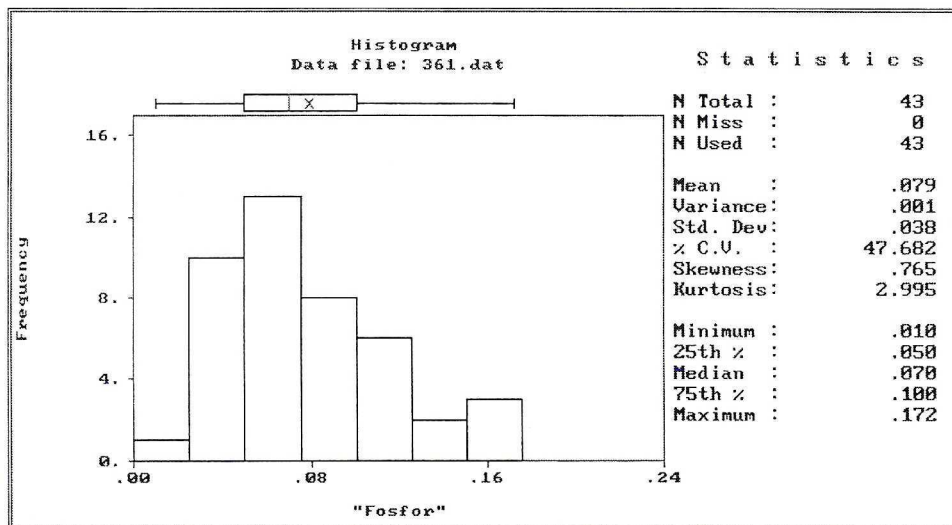
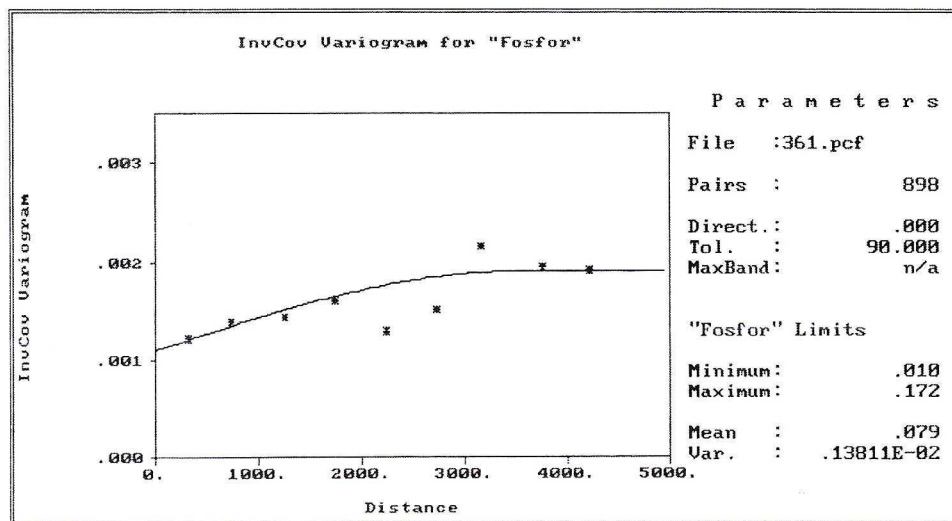
Rys. 6. Mapa zawartości fosforu ( $P^B$ ) dla pokładu 360/1

Fig. 6. Map of phosphorous content ( $P^B$ ) for seam 360/1



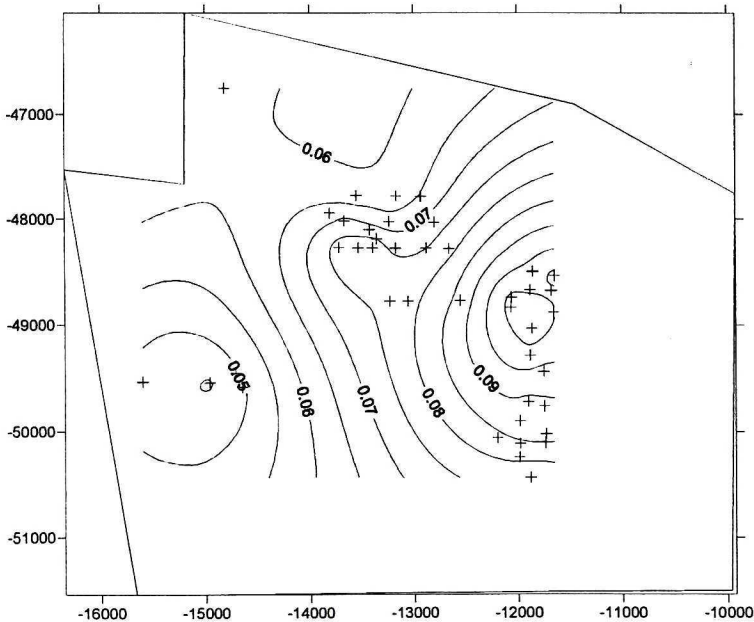
## Pokład 361

Wykorzystano wyniki analiz 36 próbek węgla. Wartość badanego parametru wynosi od 0,01 do 0,172% (tab. 1), przy wysokiej wartości średniej – 0,079% ( $s = 0,038\%$ ), najwyższej obok pokładu 404/2. Wartość współczynnika zmienności  $v = 48\%$  wskazuje na dużą zmienność badanego parametru. Histogram zawartości fosforu (rys. 7) jest jednomodalny i wyraźnie prawosymetryczny (współczynnik asymetrii  $g_1$  wynosi 0,76).

Rys. 7. Histogram zawartości fosforu ( $P^b$ ) dla pokładu 361Fig. 7. Histogram of phosphorous content ( $P^b$ ) for seam 361Rys. 8. Semiwariogram zawartości fosforu ( $P^b$ ) dla pokładu 361Fig. 8. Semi-variogram of phosphorous content ( $P^b$ ) for seam 361

Semiwariogram aproksymowano modelem sferycznym o następujących parametrach: zmienność lokalna  $C_0 = 0,0011$ , amplituda semiwariogramu  $C_0 + C = 0,0019$ , zasięg semiwariogramu  $a = 3500$  m (tab. 2, rys. 8). Względny błąd oceny ( $\varepsilon_{wi}$ ) ma wartość 0,05, a jego odchylenie standardowe 1,00. Maksymalny udział składnika nielosowego ( $w_N$ ) w zmienności zawartości fosforu w tym pokładzie wynosi 42%, a minimalny udział składnika losowego ( $w_L$ ) 58%. Średnia zawartość fosforu obliczona w procedurze krigingu wynosi 0,081% (tab. 3).

Zmiany wartości badanego parametru mają regularny charakter wzrostowy w kierunku z zachodu na wschód (rys. 9). Przeważająca część pokładu zawiera węgiel wysokofosforowy. Pożądany do celów koksowniczych węgiel występuje w tym wypadku tylko w zachodniej partii obszaru górniczego.

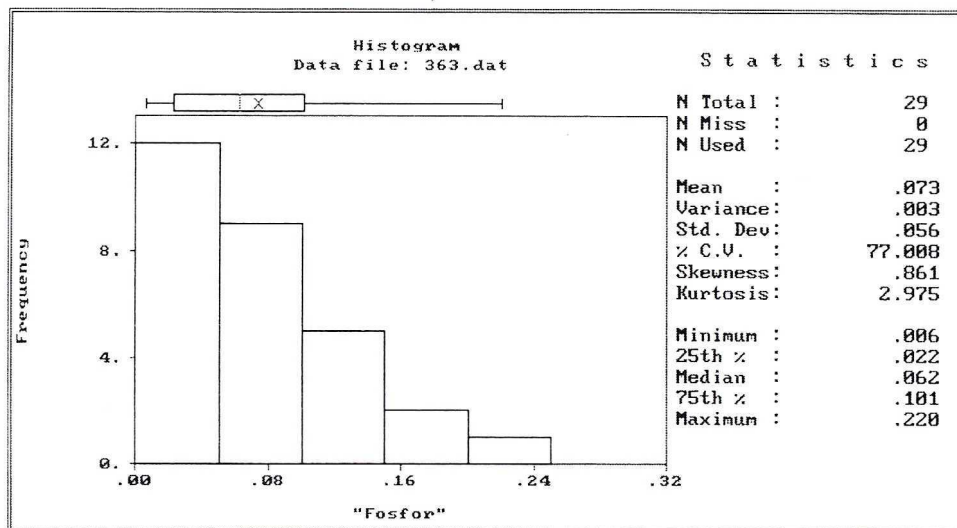


Rys. 9. Mapa zawartości fosforu ( $P^a$ ) dla pokładu 361

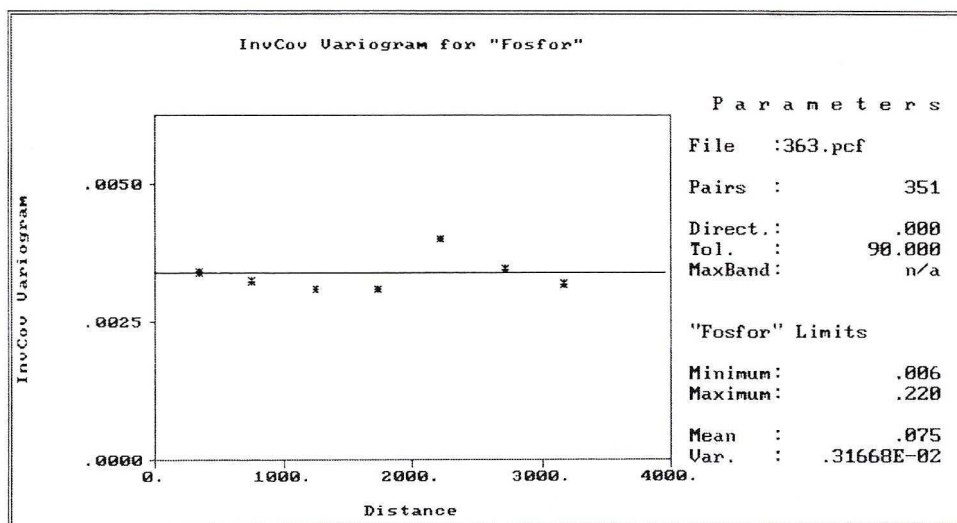
Fig. 9. Map of phosphorous content ( $P^a$ ) for seam 361

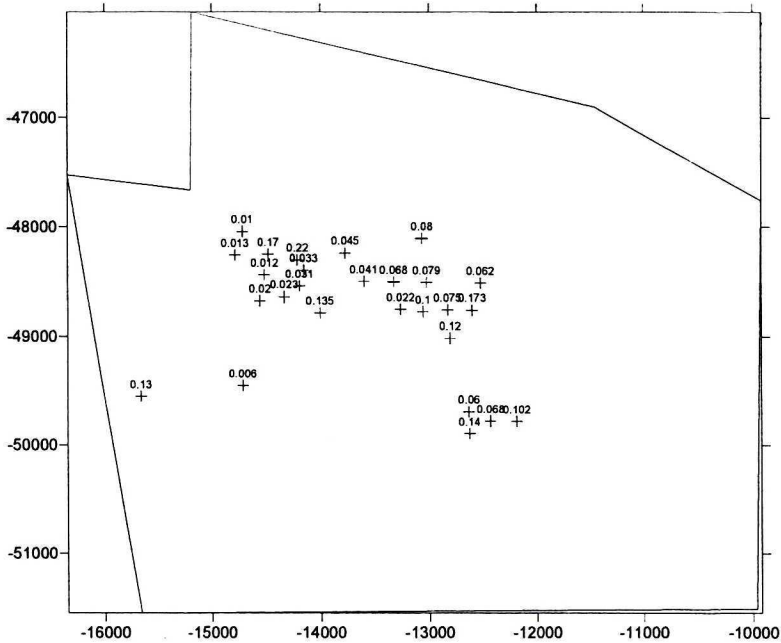
### Pokład 363

Zawartość fosforu dla pokładu 363 rozpoznano w środkowej części obszaru górniczego na podstawie 27 próbek. Zmienia się ona w szerokim zakresie od 0,006 do 0,22% (tab. 1), przy wartości średniej 0,073% ( $s = 0,056\%$ ). Badany parametr odznacza się w tym przypadku dużą zmiennością, o czym świadczy wysoka wartość współczynnika zmienności ( $v = 77\%$ ), a także kształt histogramu, który jest wielomodalny i posiada luki (rys. 10).

Rys. 10. Histogram zawartości fosforu ( $P^a$ ) dla pokładu 363Fig. 10. Histogram of phosphorous content ( $P^a$ ) for seam 363

W tym przypadku semiwariogram przybliżono modelem losowym, dla którego wariancja ( $C_0$ ) wynosi 0,0032 (tab. 2, rys. 11). Względny błąd oceny ( $\epsilon_{w_i}$ ) ma wartość 0,09, a jego odchylenie standardowe 1,07, co świadczy o zadawalającym dopasowaniu. Średnia wartość badanego parametru ustalona procedurą kriginu osiąga 0,078% (tab. 3), znacznie więcej niż według metody statystycznej.

Rys. 11. Semiwariogram zawartości fosforu ( $P^a$ ) dla pokładu 363Fig. 11. Semi-variogram of phosphorous content ( $P^a$ ) for seam 363



Rys. 12. Mapa opróbowania pokładu 363 z oznaczeniami zawartości fosforu ( $P^a$ )

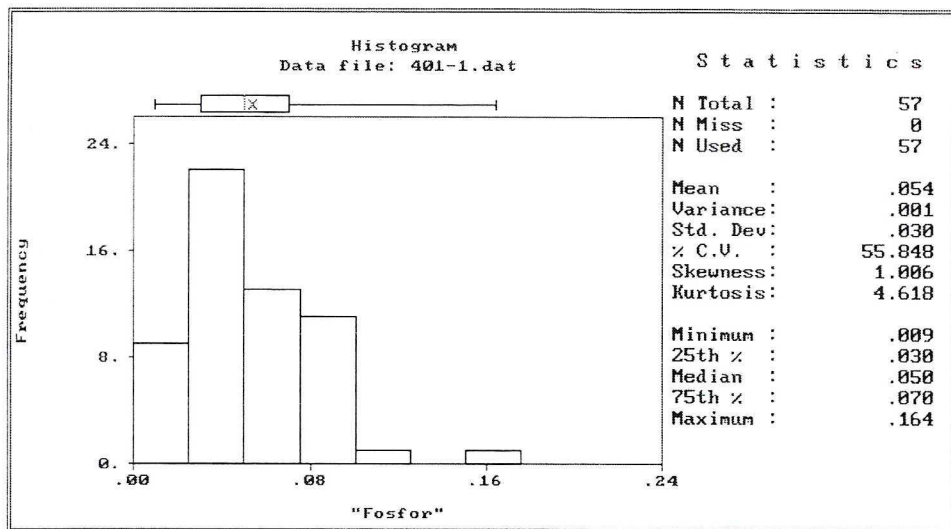
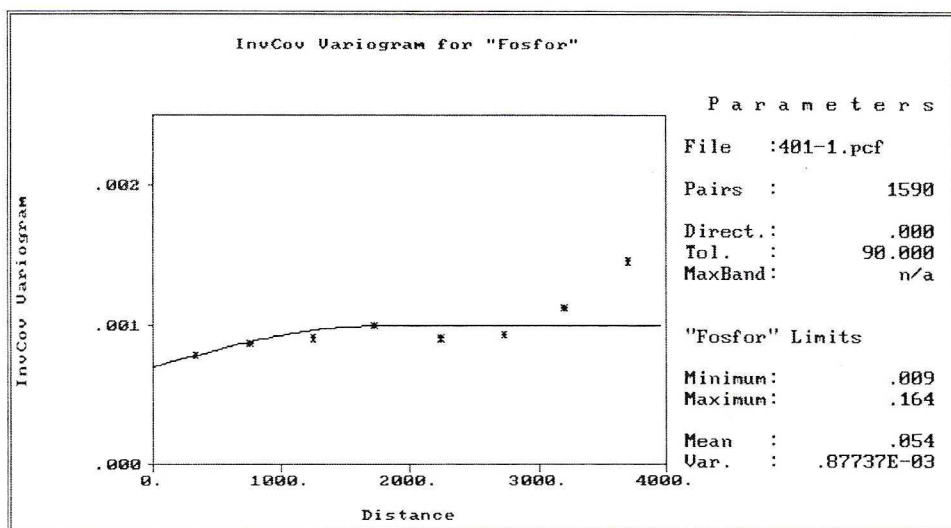
Fig. 12. Map of seam 363 sampling with determinations of phosphorous content ( $P^a$ )

Wobec losowego modelu zmienności parametru mapy jakości nie wykonano. Jednak mapa opróbowania (rys. 12) sugeruje występowanie intensywnych, skokowych zmian wartości tego parametru, zachodzących na małym odcinku, od 0,1–0,2% do 0,15%, a nawet powyżej 0,2%. Ten charakter zmienności sprawia, iż ewentualna selektywna eksploatacja nie jest możliwa, co przy wysokiej średniej wartości parametru oznacza, że występujący w pokładzie węgiel posiada niższą przydatność gospodarczą.

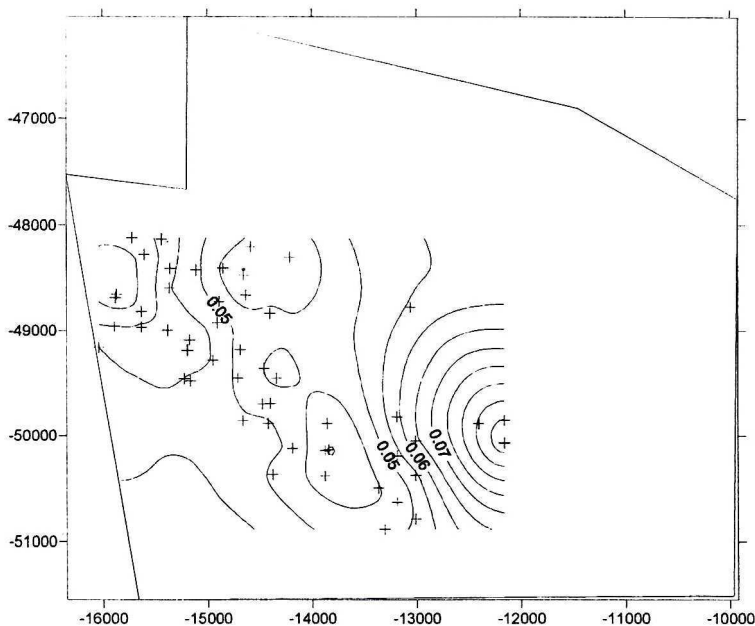
#### Pokład 401/1

Analizie poddano jedynie centralną i zachodnią część złoża, przy wykorzystaniu 52 próbek węgla. Stwierdzono, że w pokładzie 401/1 zawartość fosforu mieści się w przedziale od 0,009 do 0,164%, przy niskiej wartości średniej wynoszącej 0,054% ( $s = 0,03\%$ ). Współczynnik zmienności ma jednak wysoką wartość – 56%. Histogram jest jednomodalny (rys. 13), z luką, wyraźnie prawosymetryczny (współczynnik asymetrii  $g_1$  osiąga wartość 1,01).

Semiwariogram przybliżono modelem sferycznym, którego parametry są następujące: zmienność lokalna  $C_0 = 0,0007$ , amplituda semiwariogramu  $C_0 + C = 0,001$ , zasięg  $a = 1700$  m (tab. 2, rys. 14). Względny błąd oceny ( $\varepsilon_{wi}$ ) ma wartość  $-0,01$ , a jego odchylenie standardowe 0,92. Maksymalny udział składnika nielosowego ( $w_N$ ) w zmienności zawartości fosforu w tym pokładzie wynosi 30%, a minimalny udział składnika losowego ( $w_L$ ) 70%. Średnia zawartość fosforu obliczona metodą krigingu wynosi 0,053% (tab. 3).

Rys. 13. Histogram zawartości fosforu ( $P^d$ ) dla pokładu 401/1Fig. 13. Histogram of phosphorous content ( $P^d$ ) for seam 401/1Rys. 14. Semiwariogram zawartości fosforu ( $P^d$ ) dla pokładu 401/1Fig. 14. Semi-variogram of phosphorous content ( $P^d$ ) for seam 401/1

Przedstawione na mapie zmiany wartości badanego parametru mają stosunkowo regularny charakter (rys. 15). Najniższe zawartości fosforu, rzędu 0,04–0,05% notuje się w centralnej części obszaru górniczego, skąd rosną one w kierunku zachodnim i – w nieco szybszym tempie – ku wschodowi, osiągając tam ponad 0,10%. Charakter zmienności  $P^d$  i niska średnia wartość parametru sugerują, że z wyjątkiem wschodniej części w pokładzie występuje węgiel o wysokiej przydatności do koksowania.



Rys. 15. Mapa zawartości fosforu ( $P^a$ ) dla pokładu 401/1

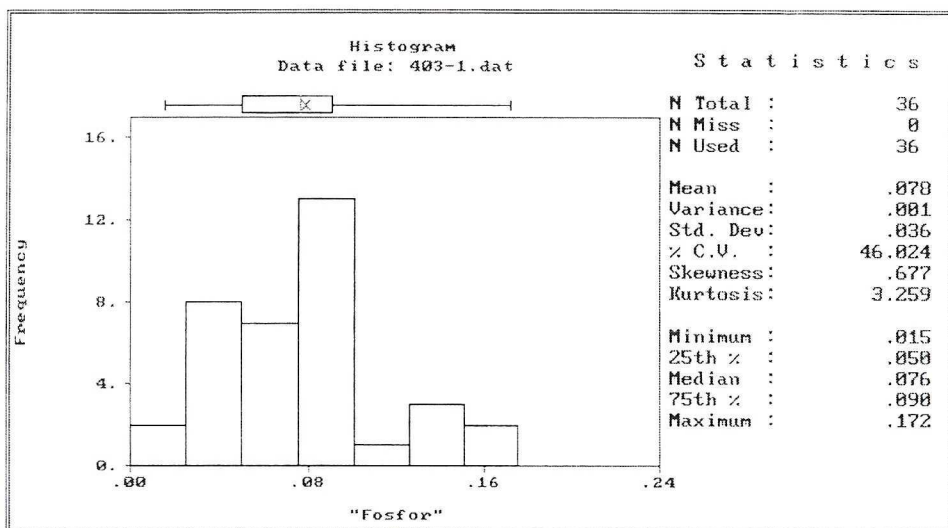
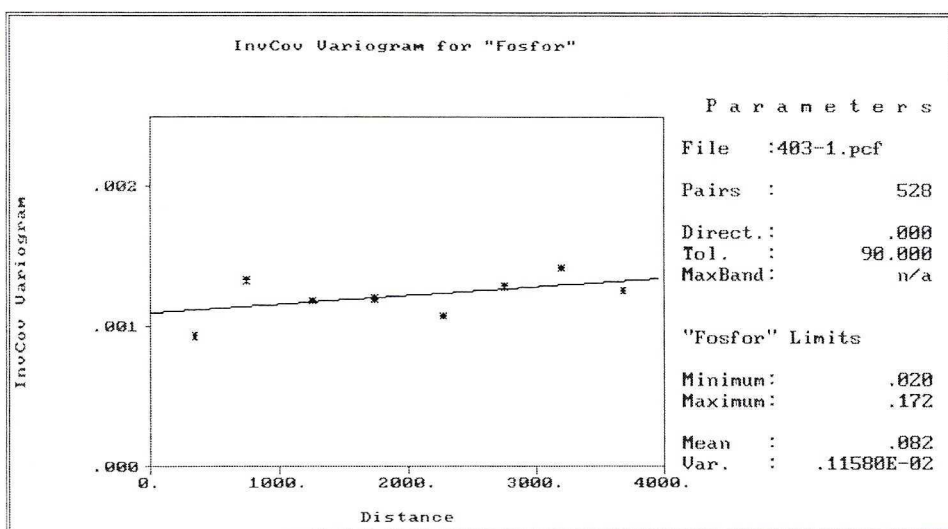
Fig. 15. Map of phosphorous content ( $P^a$ ) for seam 401/1

### Pokład 403/1

Rozpoznanie przeprowadzono do tej pory jedynie w zachodniej części złoża. Liczba pobranych tam do analiz próbek wyniosła 33. Wartość ( $P^a$ ) mieści się w zakresie od 0,015 do 0,172% (tab. 1), przy wysokiej wartości średniej około 0,078% ( $s = 0,036\%$ ). Analizowany parametr odznacza się w pokładzie 403/1 mniejszą zmiennością, o czym świadczy wartość współczynnika zmienności ( $v = 47\%$ ) i kształt histogramu (rys. 16), który charakteryzuje się słabą asymetrią (wartość współczynnika  $g_1$  wynosi 0,68).

Semiwariogram przybliżono modelem sferycznym, którego parametry są następujące: zmienność lokalna  $C_0 = 0,0008$ , amplituda semiwariogramu  $C_0 + C = 0,0013$ , zasięg  $a = 900$  m (tab. 2, rys. 17). Względny błąd oceny ( $\varepsilon_{wi}$ ) ma wartość 0,12, a jego odchylenie standardowe 1,00. Maksymalny udział składnika nielosowego ( $w_N$ ) w zmienności zawartości fosforu w tym pokładzie wynosi 38%, a minimalny udział składnika losowego ( $w_L$ ) 62%. Przeprowadzona procedura krigingu wskazuje na wyraźnie wyższą wartość średnią badanego parametru – 0,084% (tab. 3), o 0,06% więcej niż wynosi wartość otrzymana według obliczeń statystycznych. Jest to największa różnica szacowań obiema metodami dla wszystkich pokładów.

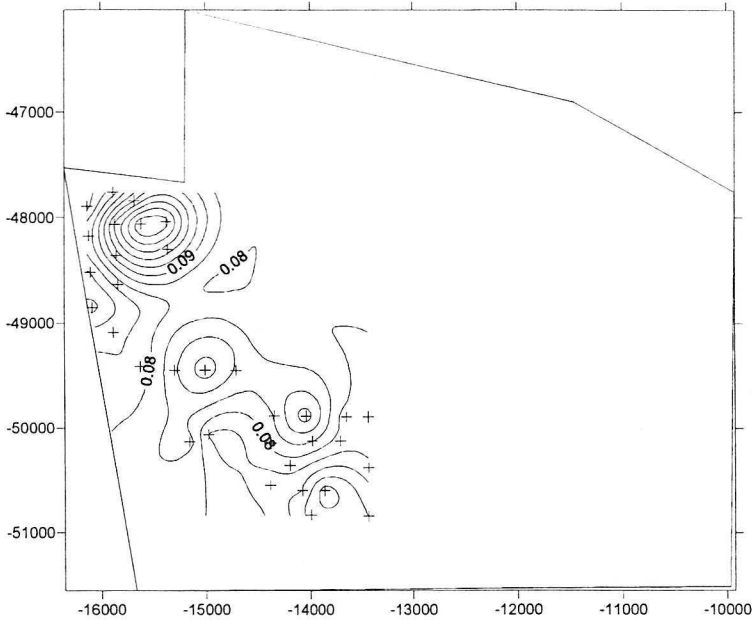
Mapa zawartości  $P^a$ , wykonana dla rozpoznanej zachodniej części złoża (rys. 18), ukazuje wyraźny wzrost wartości analizowanego parametru z południa ku północy, gdzie osiąga ona ponad 0,10%. Pełnowartościowy węgiel do produkcji koksu występuje zatem jedynie w partii południowo-zachodniej.

Rys. 16. Histogram zawartości fosforu ( $P^d$ ) dla pokładu 403/1Fig. 16. Histogram of phosphorous content ( $P^d$ ) for seam 403/1Rys. 17. Semiwariogram zawartości fosforu ( $P^d$ ) dla pokładu 403/1Fig. 17. Semi-variogram of phosphorous content ( $P^d$ ) for seam 403/1

### Pokład 404/2

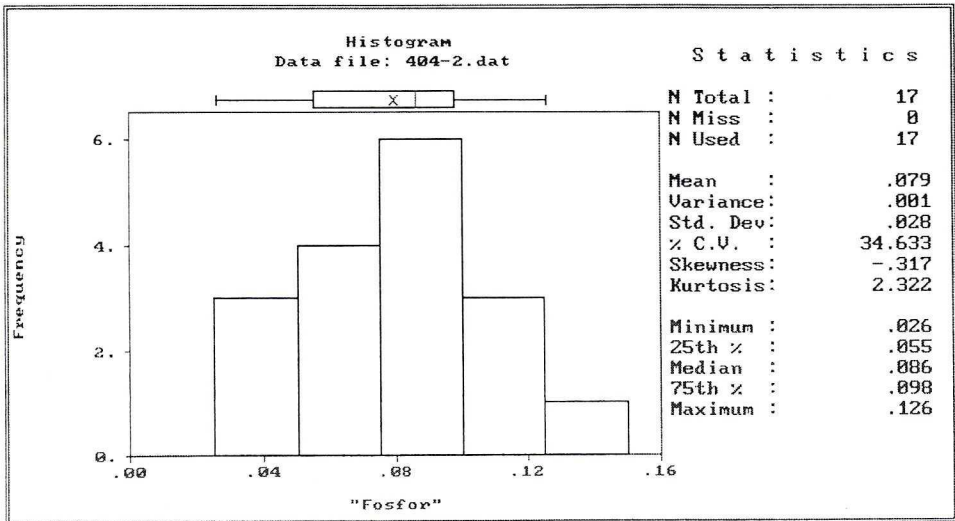
W przypadku pokładu 404/2 badaniami objęto wyniki analiz wykonanych na 16 próbkach pochodzących z jedynej udostępnionej – SW części złoża. Na tym stosunkowo małym obszarze wartość parametru wykazuje niewielkie zróżnicowanie. Wynosi ona od 0,026 do

0,126% (tab. 1). Średnia wartość parametru jest wysoka i wynosi 0,079% ( $s = 0,028\%$ ). Współczynnik zmienności osiąga wartość 35%, co oznacza przeciętną zmienność według klasyfikacji Baryszewa. Histogram ma regularny, symetryczny kształt, z trzema równo-



Rys.18 Mapa zawartości fosforu ( $P^a$ ) dla pokładu 403/1

Fig. 18 Map of phosphorous content ( $P^a$ ) for seam 403/1

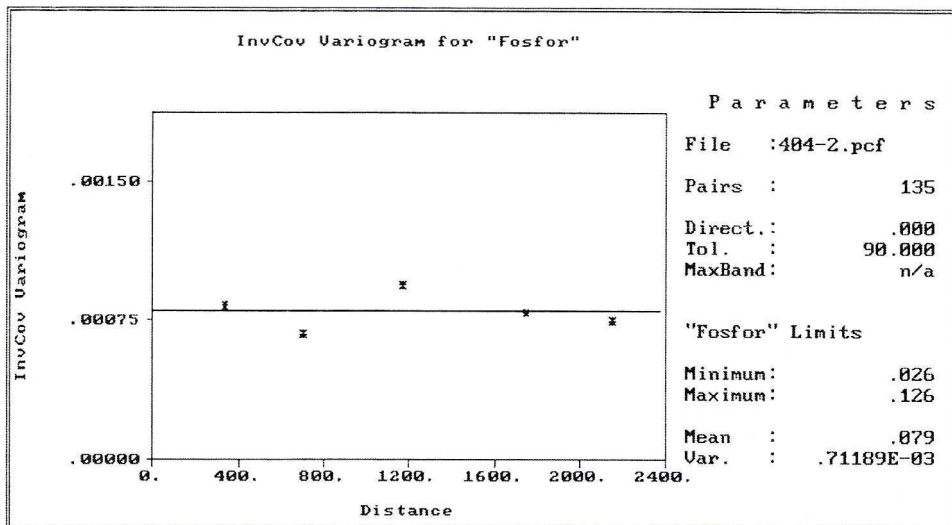


Rys.19 Histogram zawartości fosforu ( $P^a$ ) dla pokładu 404/2

Fig. 19 Histogram of phosphorous content ( $P^a$ ) for seam 404/2

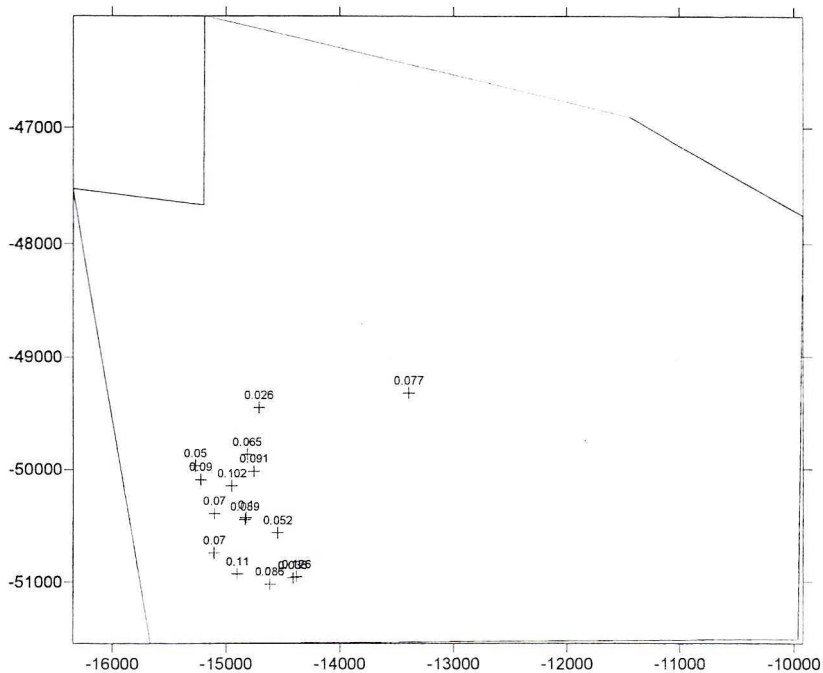


licznymi przedziałami klasowymi w jego środkowej części (rys. 19). Współczynnik asymetrii  $g_1$  osiąga wartość  $-0,32$ .



Rys. 20. Semiwariogram zawartości fosforu ( $P^a$ ) dla pokładu 404/2

Fig. 20. Semi-variogram of phosphorous content ( $P^a$ ) for seam 404/2



Rys. 21. Mapa opróbowania pokładu 404/2 z oznaczeniami zawartości fosforu ( $P^a$ )

Fig. 21. Map of seam 404/2 sampling with determinations of phosphorous content ( $P^a$ )

Semiwariogram aproksymowano modelem losowym, dla którego wariancja ( $C_0$ ) wynosi 0,0007 (tab. 2, rys. 20). Względny błąd oceny ( $\varepsilon_{wi}$ ) ma wartość 0,05, a jego odchylenie standardowe 1,03, co świadczy o dobrym dopasowaniu. Średnia zawartość fosforu obliczona metodą krigingu wynosi 0,081% (tab. 3).

Ze względu na losowy model semiwariogramu, mapy dla pokładu 404/2 nie wykonano. Analiza mapy opróbowania (rys. 21), jak również wartości parametrów statystycznych, wskazują na niewielką zmienność  $P^a$  w rozpoznanej części złoża, przy wysokiej wartości średniej i stosunkowo niskim współczynniku zmienności. Cechy te sugerują, że występujący tam węgiel odznacza się mniejszą przydatnością do koksowania. Należy wszakże zauważyć, że jest to pokład jedynie częściowo rozpoznany, i to na podstawie niewielkiej liczby próbek. Pełniejsza ocena jakości węgla w pokładzie będzie możliwa po przeprowadzeniu dalszych prac rozpoznawczych i zwiększeniu liczby oznaczeń  $P^a$ .

### Podsumowanie i wnioski

Zawartość fosforu w popiele w badanych pokładach KWK Pniówek zmienia się w szerokim zakresie od 0,006 do 0,220%. Średnia zawartość wynosi od 0,051 do 0,079%. Wartość współczynnika zmienności zmienia się natomiast od 35 do 100%. Na tej podstawie, według klasyfikacji Baryszewa, zmienność zawartości fosforu można określić jako dużą, a jedynie w przypadku najstąbiej rozpoznanego pokładu 404/2 – jako przeciętną. Wartość współczynnika asymetrii  $g_1$  wynosi od  $-0,32$  do  $1,43$ , świadcząc o asymetrii rozkładu od słabej do umiarkowanej.

Struktura zmienności zawartości fosforu wykazuje w badanych pokładach dwójaki charakter. Pierwszą grupę stanowią pokłady, w przypadku których semiwariogramy uśrednione aproksymowano modelem liniowym, sferycznym lub też złożeniem modelu sferycznego i Gaussa (pokłady 357/1, 360/1, 361, 401/1 i 403/1). Drugą grupę stanowią pokłady, dla których semiwariogram uśredniony przybliżono modelem losowym (pokład 363 i 404/2).

Semiwariogramy zawartości fosforu odznaczają się niską zmiennością lokalną ( $C_0$ ) od 0,0006 do 0,0032. Zasięgi wynoszą od 900 do 5000 m, świadcząc o dużym zakresie autokorelacji między obserwacjami.

Maksymalny udział składnika nielosowego w całkowitej zmienności badanego parametru jest najwyższy w przypadku pokładu 357/1 i sięga 60%. W przypadku pokładów 360/1, 361, 401/1 i 403/1 składnik nielosowy ma zawsze niższy udział niż losowy (maksymalnie od 30 do 48%).

Średnia zawartość fosforu obliczona metodą krigingu jest dla każdego pokładu bardzo zbliżona do średniej wartości statystycznej. Maksymalna różnica w obliczeniach obiema metodami wynosi 0,006% (pokład 403/1). Oszacowanie metodą krigingu daje dla większości badanych pokładów wyższą wartość średnią.

Przeprowadzona analiza zmienności wartości  $P^a$  wykazuje, że w badanych pokładach występuje węgiel o stosunkowo wysokiej, niekorzystnej przy produkcji koksu zawartości

fosforu. Najlepszymi parametrami odznacza się węgiel występujący w pokładach 357/1, 360/1 i 401/1, jednak i one, wobec istnienia stref o podwyższonej zawartości fosforu, powinny być eksploatowane selektywnie.

Rozpatrując wszystkie badane pokłady, nie da się wychwycić żadnego ogólnego trendu w zmienności zawartości  $P^a$  – ma ona dla każdego z nich odrębny charakter. Biorąc pod uwagę fakt, że reprezentują one to samo ogniwo litostratygraficzne – warstwy załęskie, serii mułowcowej, nie można powiązać modelu zmienności zawartości fosforu z przynależnością stratygraficzną.

Potwierdzono przydatność stosowania semiwariogramu *Inverted Covariance*, w sytuacji nieregularnego opróbowania złoża i występowania prawoasymetrycznych rozkładów wartości badanego parametru złożowego. Otrzymane dla poszczególnych pokładów semiwariogramy tego typu były regularne, a przez to łatwe do interpretacji i w doborze prawidłowego modelu zmienności, co potwierdziła procedura testu krzyżowego (*cross-validation*).

#### LITERATURA

- Batorek-Giesia N., Sobolewski A., Gładych-Winnicka G., 2001 – Analiza porównawcza metod oznaczania zawartości fosforu w węglach i koksach. *Karbo* 2, 61–65.
- Burger K., Gabzdyl W., Ryszka J., 1997 – Phosphorus concentration in limnic deposits of Silesian Formation (Upper Carboniferous) in the Upper Silesian Coal Basin. *Prace PIG CLVII*, część 2, 313–317.
- Dolik M., Kokesz Z., Nieć M., 1988 – Sens i bezsens map izolinii. *Mat. Sem. nt.: Metodyka rozpoznawania i dokumentowania złóż kopalin stałych*. Karpacz, Wyd. AGH, 216–219.
- Dzedzej C., Mikrut J., 1986 – Geostatystyka – przegląd zastosowań w górnictwie. *Przegl. Górn.* 9, 274–277.
- Dzedzej C., Kotulski L., 1990 – Geostatystyczna analiza zmienności parametrów jakościowych węgla i grubości pokładu 405 w kopalni „Staszic”. *Prace GIG, III Konf. nt.: Postęp naukowy i techniczny w geologii górniczej węgla kamiennego*, 37–53.
- Jarno L., 2001 – Zabezpieczenie polskiego koksownictwa w węgiel koksowy ze szczególnym uwzględnieniem podaży z JSW S.A. *Karbo* 2, 48–52.
- Kokesz Z., Mucha J., 1987 – Prognozowanie wartości parametrów złóż węgla metodą krigingu w warunkach LZW. *Zesz. Nauk. Pol. Śl.*, s. *Górnictwo*, z. 155, 91–106.
- Kokesz Z., 1990 – Struktura zmienności parametrów wybranych pokładów węgla z KWK „Kazimierz-Juliusz”. *Gosp. Sur. Min.* t. 6, z. 1, 98–109.
- Kokesz Z., Nieć M., 1992 – Metody geostatystyczne w rozpoznawaniu i dokumentowaniu złóż oraz w ochronie środowiska. *Studia i Rozprawy z. 19, CPPGSMiE PAN*, Kraków.
- Kokesz Z., 2000 – Efektywność stosowania metody krigingu w szacowaniu zasobów złóż. *Górn. Odkr.* t. XLII nr 3–4, 77–93.
- Kokesz Z., 2003 – Kriging i jego efektywność w obliczaniu zasobów złóż. *Gosp. Sur. Min.* 19/1, 35–55.
- Kuhl J., Dąbek H., 1961 – O chlorze i fosforze w węglach kamiennych Górnego Śląska. *Przegl. Górn.* 9, s. 443–446.
- Kurdziel K., Kosewska M., 2001 – Wpływ jakości koksu na techniczne i ekonomiczne wskaźniki produkcji surowki żelaza w Hucie im. T. Sendzimiry S.A. *Karbo* 2, 57–60.
- Mahony B., Moulston I., Wilkinson H.C., 1981 – Study of the relationship between the phosphorus content of coal and coke. *Fuel* 60, 355–358.
- Michalik A., Bronny M., 2001 – Parametry jakościowe koksu spełniające wymagania procesu wielkopiecowego, a właściwości dostępnej bazy węglowej. *Karbo* 2, 53–56.

- Mucha J., Kokesz Z., 1986 – Zastosowanie geostatystyki i kriginu w ustalaniu zasobów węgla kamiennego i prognozowaniu zasobów złoża. Zesz. Nauk. Pol. Śl., s. Górnictwo, z. 149, 107–120.
- Mucha J., 1994 – Metody geostatystyczne w dokumentowaniu złóż. AGH, Kraków.
- Mucha J., 2002 – Struktura zmienności zawartości Zn i Pb w śląsko-krakowskich złożach rud Zn-Pb. Studia, Rozprawy i Monografie 108. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- Mucha J., Stala-Szlugaj K., 2002 – Struktura zróżnicowania i dokładność szacowania zawartości Pb i Zn w złożu Cu-Ag Lubin. Gosp. Sur. Min. t. 18, z. 3, 29–51.
- Nieć M., Kokesz Z., Dolik M., 1989 – Zastosowanie metod geostatystycznych w badaniu złóż kruszywa naturalnego. Przegl. Geol. 12, 592–600.
- Rożkowska A., Parzenty H., 1990 – Zawartość fosforu w węglach kamiennych Górnosląskiego Zagłębia Węglowego. Kwart. Geol. 34/4, 611–622.
- Ściążko M., 2001 – Aktualne tendencje na światowym rynku koksu. Karbo 2, 38–42.
- Watson W., Ruppert L., Bragg L., Tewart S., 2001 – A geostatistical approach to predicting sulfur content in the Pittsburgh coal bed. Int. Journal of Coal Geol. 48, 1–22.

RAFAŁ MORGA

**STRUCTURE OF VARIABILITY OF PHOSPHOROUS CONTENT IN EXPLOITED SEAMS OF BITUMINOUS COAL  
IN THE PNIÓWEK MINE**

**Key words**

Bituminous coal, phosphorous, geostatistics

**Abstract**

Coal characterized by relatively high phosphorous content ( $P^a$ ) occurs in the examined seams, which is disadvantageous during coke production. The best properties has coal in seams 357/1, 360/1 and 401/1. Phosphorous content changes in a broad range from 0.006 to 0.220%, with the mean value from 0.051 to 0.079%. Evaluation made with the use of kriging gave results differing from these values by 0.006%, at highest (seam 403/1). Variability of phosphorous content in the examined seams was determined as high, and only in the case of the most weakly recognized seam (404/2) it was determined as average. Variability structure shows twofold character. The first group comprises seams, in the case of which semi-variograms were approximated by linear, spherical or sum of spherical and Gaussian model (seams 357/1, 360/1, 361, 401/1 and 403/1). The second group consists of seams, in the case of which semi-variograms were approximated by single nugget effect model (seams 363 and 404/2).