

Zbigniew KOKESZ

Instytut Hydrogeologii
i Geologii Inżynierskiej
Akademia Górniczo-Hutnicza
Kraków

METODA GEOSTATYSTYCZNA W OPTYMALIZACJI STRATEGII ROZPOZNAWANIA ZŁÓŻ WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie. W artykule zwrócono uwagę na możliwość wykorzystania metody geostatystycznej w optymalizacji strategii rozpoznawania złóż węgla kamiennego. Metoda ta pozwala ustalić właściwą gęstość i konfigurację sieci rozpoznawania złoża z punktu widzenia oceny jego podstawowych parametrów (miąższości, parametrów jakościowych kopaliny, zasobów). Przedstawiono możliwy zakres wykorzystania tej metody, podając odpowiednie formuły obliczeniowe. Na bazie wyników geostatystycznej oceny zmienności wybranych pokładów węgla dokonano analizy gęstości sieci rozpoznawczej. Przeprowadzone badania umożliwiły sformułowanie ogólnych wymagań odnośnie do zagęszczenia punktów opróbowania oraz pomiarów miąższości pokładów w wyrobiskach górniczych. Jak wynika z badań, zalecane w poszczególnych kategoriach rozstawy punktów rozpoznawczych zapewniają na ogół dostatecznie dokładną ocenę zasobów oraz wartości opałowej węgla, nie są jednak wystarczające do poznania zróżnicowania zawartości popiołu oraz zawartości siarki w węglu. Parametry te są rozpoznawane ze znacznie niższą dokładnością. Dowodzi to istnienia potrzeby zagęszczenia sieci rozpoznawczych lub przyjęcia niższych wymagań odnośnie dokładności oceny zawartości popiołu oraz zawartości siarki w węglu.

1. METODYKA ROZPOZNAWANIA ZŁÓŻ WĘGLA KAMIENNEGO

Metodyka rozpoznawania złóż węgla kamiennego określona jest Przepisami o Ustalaniu Zasobów Złóż Kopalin Stałych i wynika z wymaganej gęstości sieci rozpoznawczej. W wyniku nowelizacji przepisów w roku 1980 zmienione zostały obowiązujące rozstępy otworów rozpoznawczych (tab. 1). W myśl nowych przepisów zalecane są nieco mniejsze odległości między punktami rozpoznawania. Zwiększono wymagania odnośnie do rozpoznawania górniczego w kategoriach B i A.

Jak wykazała praktyka, stosowane odległości między punktami stwierdzeń przy dokumentowaniu złóż węgla kamiennych nie spełniają wymagań stawianych przez górnictwo. Otrzymywany na etapie rozpoznawania obraz budowy złoża bardzo często nie znajduje potwierdzenia w danych uzyskiwanych

Tabela 1

Wymagane i proponowane zagęszczenia wyrobisk geologiczno-rozpoznawczych dla udokumentowania złóż węgla kamiennego

Grupa złóża	Kategoria rozpoznania			
	C ₂	C ₁	B	A
Zalecane w myśl Przepisów o Ustalaniu Zasobów obowiązujących od 1980 r.				
I	4000-3000	3000-1500	1500-1000	wyrob. górń. w odległ. do 500 m
II	3000-1500	1500-1000	1000-500 w tym co najmn. 1 wyrob. górń.	wyrob. górń. w odległ. do 300 m
III	1500-1000	1000-500	wyrob. górń. 500-250 m	jw.
wg A. Musiała i J. Bednarza (1976)				
I ^x	1500-1000	1000-500	do 500	wyrob. górń. z trzech stron
II ^x	1000-700	700-500	do 500 wyr. górń. z dwóch stron	jw.
wg M. Niecia (1986)				
I ^{xx}	5600 ^{xxx}	2800	1000	wyrob. górnice
II ^{xx}	2800	1400	500	jw.
III ^{xx}	1000	500	wyr. górń.	jw.

I^x - złoża o tektonice uskokowej,

II^x - złoża o tektonice fałdowo-uskokowej,

xx - podział na grupy w zależności od złożoności tektoniki,

xxx - maksymalne odległ. między otworami.

z późniejszych robót górniczych. Stosowanie systemów ścianowych wymaga szczegółowszego rozpoznawania złoża, rejestrowania nawet niewielkich na pozór zaburzeń tektonicznych czy sedymentacyjnych, które mogą zaburzać planowany rozwój eksploatacji.

Już w roku 1962 T. Kozubski wykazał, że zalecane odległości między otworami, zwłaszcza w kat. C_1 , są zbyt duże, aby można było na ich podstawie interpretować tektonikę złóż w sposób jednoznaczny. W roku 1976 A. Musiał i J. Bednarz [11] zwrócili uwagę, że z punktu widzenia potrzeb projektowania górniczego zagęszczenie otworów rozpoznawczych powinno być większe niż zalecane. Wyszli z założenia, że w kat. B powinny być rozpoznane elementarne pola eksploatawane w ciągu jednego roku, a w kat. C_2 pola eksploatawane w okresie pięciu lat. Każde takie pole, przy założeniu jego formy kwadratowej, powinno być rozpoznane czterema otworami odwierconymi w jego narożach. Przy powyższych założeniach i danych dotyczących długości ścian i ich postępu przyjmowanych przy projektowaniu kopalni określili odległości między otworami, jakie powinny być stosowane przy rozpoznawaniu złóż węgla kamiennego (tabela 1). Zwraca uwagę niemal dwukrotnie większe zagęszczenie otworów w stosunku do aktualnie zalecanych.

Inne nieco wymagania odnośnie do gęstości sieci rozpoznawczej zawiera propozycja M. Niecia [12]. W opracowanej strategii rozpoznawania złóż węgla kamiennego jako podstawowy czynnik determinujący gęstość sieci autor przyjął stopień skomplikowania tektoniki (tab. 1), proponując podział złóż na grupy w zależności od jej złożoności. Gęstość sieci rozpoznawczej i układ otworów sieci powinny być wg M. Niecia dobierane w zależności od oczekiwanej lub stwierdzonej tektoniki złoża.

Obowiązujące w myśl przepisów zasady rozpoznawania złóż w sposób nie- zbyt precyzyjny formułują wymagania dotyczące dokładności rozpoznania w poszczególnych kategoriach. Brak jest mierników ilościowych oceny dokładności rozpoznania złoża. Mówi się o zasobach "ustalonych", budowie geologicznej "wyjaśnionej w sposób jednoznaczny". Wprowadza to pewną dowolność w interpretacji dokładności rozpoznania złoża. Poważną trudność przy wyborze gęstości sieci rozpoznawczej sprawia zwykle ustalenie grupy zmienności złoża, gdyż podział oparty jest na klasyfikacji opisowej. Ocena jest więc w pewnym stopniu subiektywna.

Przedstawione uwagi odnośnie do obowiązującej metody dokumentowania złóż węgla kamiennego skłaniają do kontynuowania badań w zakresie wypracowania optymalnej strategii ich rozpoznawania. Pomocne tu mogą być metody geostatystyczne.

2. GEOSTATYSTYCZNA PROCEDURA OPTIMALIZACJI ROZPOZNAWANIA ZŁÓŻ

Zasadniczym celem prac rozpoznawczych jest zbadanie warunków geologicznych, w jakich będzie prowadzona przyszła eksploatacja złoża, okreś-

lenie jakości kopaliny oraz oszacowanie zasobów. Za miarę dokładności zbadania złoża przyjmuje się zwykle dokładność oszacowania parametrów złoża, zwłaszcza tych, których znajomość jest niezbędna dla planowania i prowadzenia eksploatacji.

W przypadku parametrów złoża dających się określić w sposób ilościowy dokładność ich rozpoznania można ocenić na podstawie posiadanej informacji o ich zmienności.

Dokładność oszacowania średniej wartości parametru w przypadku losowego jego zróżnicowania można ocenić na podstawie zależności [5]:

$$\epsilon = \frac{t \cdot V}{\sqrt{n}}, \quad (1)$$

gdzie:

t - parametr prawdopodobieństwa, z jakim dokonuje się oceny dokładności (zwykle przyjmuje się dla prawdopodobieństwa 95%, $t = 2$),

V - współczynnik zmienności parametru,

n - ilość punktów rozpoznawczych (otworów, próbek).

Badania przeprowadzone w polskich złożach węgla kamiennego wskazują w większości przypadków na wzajemne skorelowanie parametrów pokładów, przede wszystkim miąższości oraz zasiarczenia węgla [8], [10]. W tych warunkach do określenia dokładności oceny średnich wartości parametrów złożowych bardziej przydatna jest metoda geostatystyczna uwzględniająca nielosową zmienność parametrów geologicznych. W metodzie tej do opisu zmienności parametrów złożowych wykorzystuje się funkcję $\gamma(h)$, wyrażającą strukturę ich zmienności (tzw. semiwariogram), ustaloną ze wzoru

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

gdzie:

z_{i+h}, z_i - wartości parametru złożowego we wszystkich punktach pomiarowych oddalonych o "h",

n_h - liczba par pomiarów odległych o "h".

Metoda geostatystyczna umożliwia oceniać dokładność szacowania średnich wartości parametrów złoża (a tym samym zasobów) w dowolnym jego fragmencie. Do oceny dokładności niezbędna jest znajomość postaci modelu semiwariogramu opisującego zmienność badanego parametru. Metoda ta pozwala oceniać dokładność szacowania prowadzonego prostą metodą średniej arytmetycznej jak również metodami średnich ważonych (met. odwrotnych odległości, kwadratów odwrotnych odległości) oraz procedurą kriginu.

Pojedynczy błąd oceny średniej wartości parametru wyrażony wariancją (σ_E^2) ma postać [2]:

$$\sigma_E^2 = 2 \sum_{i=1}^n a_i \cdot \bar{\gamma}(S_{V_i}, V) - \bar{\gamma}(V, V) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \cdot a_j \cdot \bar{\gamma}(S_{V_i}, S_{V_j}) \quad (3)$$

gdzie:

- n - liczba otworów (punktów opróbowania złoża) uwzględnionych przy ocenie,
- a_i - wagi przypisane poszczególnych obserwacjom,
- $\bar{\gamma}(S_{V_i}, V)$ - średnia wartość semiwariogramu dla wszystkich możliwych odcinków łączących punkt rozpoznania S_{V_i} z analizowanym fragmentem złoża V (oceniającym blokiem),
- $\bar{\gamma}(V, V)$ - średnia wartość semiwariogramu dla wszystkich możliwych odcinków zawartych w analizowanym fragmencie złoża (oceniającym bloku),
- $\bar{\gamma}(S_{V_i}, S_{V_j})$ - średnia wartość semiwariogramu dla wszystkich odcinków łączących punkty rozpoznania złoża S_{V_i} i S_{V_j} .

W przypadku estymatora - średniej arytmetycznej - poprzedni wzór przyjmuje postać [2]:

$$\sigma_E^2 = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \bar{\gamma}(S_{V_i}, V) - \bar{\gamma}(V, V) - \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \bar{\gamma}(S_{V_i}, S_{V_j}) \quad (4)$$

Zminimalizowany przez zastosowanie kriginu błąd oceny średniej wartości parametru wynosi [2]:

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \bar{\gamma}(S_{V_i}, V) + \lambda - \bar{\gamma}(V, V), \quad (5)$$

gdzie:

λ - mnożnik Lagrange'a,

- pozostałe symbole jak we wzorze (3).

Jeśli złożo rozpoznane jest regularną siecią otworów, geostatystyczna ocena dokładności oszacowania parametru sprowadza się do wyliczenia błędu oceny wartości średniej parametru w bloku przypisanym zgodnie z metodą wieloboków pojedynczym otworom (σ_{θ}). Błąd ten traktowany jest jako

błąd "przeniesienia" wartości stwierdzonej w otworze na przypisany mu blok. Jego wielkość wylicza się ze wzoru (4). Z uwagi na niewielkie rozmiary otworu, w stosunku do objętości przypisywanego mu bloku (V), otwór można traktować jako punkt pomiaru x_0 . Wówczas błąd "przeniesienia" wyrażony wariancją wynosi:

$$\sigma_0^2 = 2\bar{\gamma}(x_0, V) - \bar{\gamma}(V, V) \quad (6)$$

Względną dokładność oszacowania średniej wartości parametru w złożu (ocenionym bloku) rozpoznany "n" otworami wiertniczymi można ocenić na podstawie zależności (2):

$$\delta = \frac{t \cdot \sigma_0}{\bar{x} \cdot \sqrt{n}} \cdot 100\% \quad (7)$$

gdzie t , n , \bar{x} - jak we wzorze (1).

W odróżnieniu od metody statystycznej przy geostatystycznej ocenie dokładności oszacowania wartości średniej parametru uwzględniana jest geometria sieci rozpoznania i geometria złoża (ocenianego bloku), ich wzajemne położenie, struktura zmienności analizowanych parametrów oraz sposób szacowania. Metoda geostatystyczna umożliwia dzięki temu w sposób dokładniejszy prognozować wielkość błędu oceny wartości średniej parametru; tym samym pozwala na precyzyjną ocenę stopnia rozpoznania złoża. Porównywanie wielkości błędów oceny średnich parametrów złożowych przy różnych sieciach rozpoznawczych pozwala na wybór najkorzystniejszego z punktu widzenia minimalizacji błędu oceny oraz minimalizacji nakładów na rozpoznanie złoża, wariantu rozpoznania (gęstości i geometrii sieci rozpoznawczej otworów wiertniczych oraz sieci opróbowań wyrobisk górniczych).

W przypadku złóż wielopokładowych, jakimi są złoża węgla kamiennego, zmienność podstawowych parametrów (mięszszości, cech jakościowych kopaliny) może przedstawiać się różnie w poszczególnych pokładach. W przypadku tego typu złóż zagadnienie wyboru metodyki rozpoznania staje się w pełni zadaniem typu optymalizacyjnego.

Za pomocą metody geostatystycznej można rozwiązywać następujące zadania z zakresu optymalizacji metodyki rozpoznawania złóż:

1. Ustalanie wymaganego zagęszczenia punktów rozpoznawczych przy z góry założonej konfiguracji sieci. Tego typu zadania realizowane są najczęściej przy optymalizacji sieci rozpoznania złoża w niskich kategoriach C_2 , C_3 ewentualnie kat. B; sposób realizacji obliczeń przedstawiono w dalszej części artykułu.

2. Wybór optymalnej (tzn. takiej, która gwarantuje osiągnięcie wymaganej dokładności oceny złoża przy najmniejszych nakładach poniesionych

na wykonanie rozpoznania) metody rozpoznania drogą porównywania wielkości błędów ocen złoża uzyskanych dla różnych wariantów rozpoznania (otworami wiertniczymi, wyrobiskami górniczymi); zadanie to dotyczy przede wszystkim optymalizacji metodyki rozpoznawania złoża w wysokich kategoriach, tj. B i A; informacje na temat sposobu obliczeń znaleźć można w publikacji J. Muchy [9].

3. Wskazywanie lokalizacji nowych punktów rozpoznania (odwiertów) tak, aby maksymalny błąd oszacowania w danym bloku złoża nie przekroczył ustalonej (dopuszczalnej) wartości. W tym zakresie przewiduje się wdrożenie metod geostatystycznych do optymalizacji metodyki rozpoznawania złóż węgla kamiennego w Centralnym Ośrodku Informatyki Górniczego (COIG) w Katowicach; prace realizowane są w ramach Skomputeryzowanego Systemu Gospodarki Złożem i Ochrony Powierzchni I - GZOP [6].

3. ANALIZA GĘSTOŚCI SIECI WYMAGANEJ DLA ROZPOZNAWANIA PARAMETRÓW POKŁADÓW WĘGLA

Przez pojęcie gęstości sieci rozpoznawczej rozumie się bądź liczbę wyrobisk przypadających na jednostkę powierzchni, bądź odległość między wyrobiskami. Gęstość sieci rozpoznawczej zależy od założonej dokładności rozpoznania złoża, a także od jego naturalnej zmienności. Za miarę dokładności zbadania złoża przyjmuje się zazwyczaj dokładność oszacowania średnich wartości parametrów złoża (zasobów).

Jeśli zmienność parametrów złożowych ma charakter losowy, ilość otworów (n), niezbędną dla oceny średnich ich wartości z żadaną dokładnością, określić można z zależności (1).

Dla wyznaczenia gęstości sieci rozpoznawczej konieczne jest zdefiniowanie obszaru F , na którym ma być rozpoznane złożo z oczekiwaną dokładnością [5]. Odległości między punktami rozpoznawczymi rozmieszczonymi w regularnej siatce kwadratowej ujmujemy wzór:

$$d = \frac{\varepsilon}{t \cdot V} \sqrt{F}, \quad (8)$$

gdzie t , V , ε - jak we wzorze (1).

Nielosowe zróżnicowanie parametrów złożowych uzasadnia stosowanie do oceny gęstości sieci rozpoznawczej metody geostatystycznej. W metodzie tej ilość otworów niezbędną dla oceny średnich wartości parametrów złoża określa się ze wzoru:

$$n = \frac{t^2 \cdot b_{\sigma}^2}{\varepsilon^2 \cdot \bar{x}^2} \cdot 100^2, \quad (9)$$

gdzie t , b_{σ} , ε , \bar{x} - jak we wzorze (7).

Przy ocenie wykorzystuje się informacje o wzajemnym skorelowaniu obserwacji, które ilustruje wariogram. Zgodnie ze wzorem (6) błąd popełniany wskutek "przenoszenia" wartości parametru, stwierdzonej w otworze na otaczającą go strefę wpływu (σ_e), jest funkcją rozstawu otworów d . W miarę zwiększania się odległości pomiędzy otworami, rozmieszczonymi w regularnej siatce, zwiększają się rozmiary stref wpływu, a tym samym wzrasta wartość popełnianego błędu oszacowania wartości średniej parametru. Dla kwadratowej sieci rozpoznawczej przy liniowym modelu wariogramu parametru, zdefiniowanym równaniem $\gamma(h) = C_0 + b \cdot h$, zależność ta przyjmuje postać następującą (9):

$$\sigma_e = C_0 + 0,244 b \cdot d \quad (10)$$

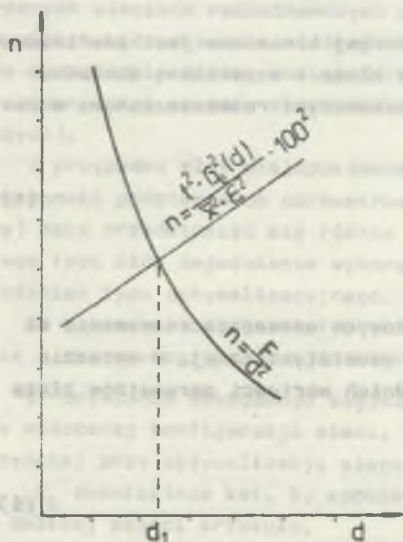
Optymalne zagęszczenie punktów rozpoznawczych (d) określa wzór:

$$d = \frac{C_0 \cdot \bar{x}}{100 \cdot t \cdot (C_0 + 0,244 b \cdot d)} \cdot \sqrt{F} \quad (11)$$

Wielkość "d" ze wzoru (11) najłatwiej określić graficznie [7] w sposób przedstawiony na rys. 1.

Bazując na przedstawionych formułach określono dla wybranych pokładów węgla optymalne gęstości sieci rozpoznawczej niezbędne dla oceny ich podstawowych parametrów.

Za zasadnicze parametry charakteryzujące pokład węgla przyjęto: miąższość, zawartość popiołu, wartość opałową, zawartość siarki. Obliczenia przeprowadzono w oparciu o wyniki geostatystycznej analizy zmienności



Rys. 1. Graficzny sposób wyznaczania optymalnej gęstości sieci rozpoznawczej złoża

n - liczba otworów, d - rozstaw otworów w kwadratowej sieci rozpoznawczej, d_1 - optymalny rozstaw otworów

Fig. 1. Graphic method of estimating of an exploratory grid optimal density

n - number of boreholes, d - distance between boreholes located in square grid, d_1 - optimal distance between boreholes

pokładów (omówione w pracy J. Muchy i Z. Kokesza [10]). Wybór formuły obliczeniowej uzależniony był od charakteru zmienności parametru. W przypadku losowego modelu zmienności parametru (na ogół dla zawartości popiołu i wartości opałowej) gęstość sieci ustalono na podstawie wzoru (8), natomiast przy nielosowym zróżnicowaniu parametru (dotyczyło to najczęściej miąższości pokładu i zawartości siarki) wykorzystano procedurę geostatystyczną.

Rozważania dotyczą trzech kategorii rozpoznania: C_1 , B, A. Przyjęto zaproponowane wymagania odnośnie do dokładności rozpoznania [3], [8]:

- graniczne wielkości błędów oszacowania z prawdopodobieństwem 95% dla kategorii: A - 10%, B - 20%, C_1 - 30%,
- rozpoznanie z powyższą dokładnością bloków (parcel) zapewniających wydobycie w okresie:
 - kategoria A - 1 roku
 - B - 5 lat
 - C_1 - w granicach całego obszaru górniczego - do obliczeń przyjęto wielkość obszaru $F = 10 \text{ km}^2$.

Przy tych założeniach wielkość obszaru klasyfikowanego w kat. A i kat. B definiuje wzór:

$$F = \frac{P \cdot a}{\eta \cdot \bar{m} \cdot \gamma_0}, \quad (12)$$

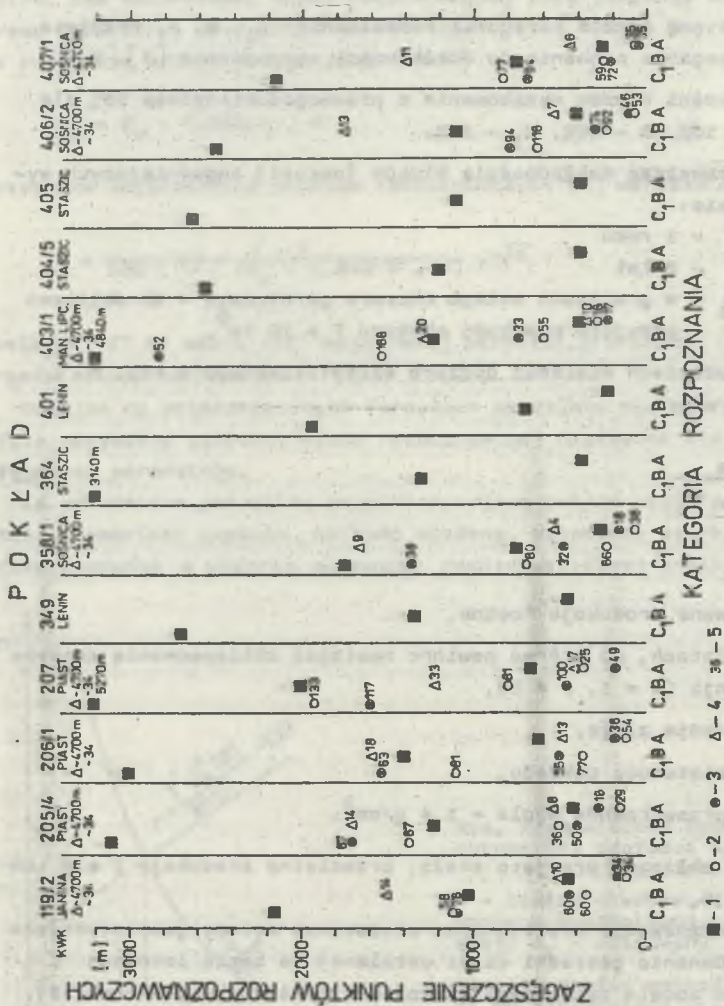
gdzie:

- P - przewidywana produkcja roczna,
- a - okres w latach, po którym powinno nastąpić zbilansowanie zasobów i produkcji ($a = 1$, $a = 5$),
- η - wykorzystanie złoża,
- \bar{m} - średnia miąższość pokładu,
- γ_0 - gęstość przestrzenna węgla = $1,4 \text{ g/cm}^3$.

Dla uproszczenia obliczeń przyjęto stałą, przeciętną produkcję 1 mln ton rocznie i $\eta = 0,8$.

W celu przeanalizowania efektywności stosowania metody geostatystycznej dokonano porównania gęstości sieci ustalonej na bazie losowego i geostatystycznego modelu zmienności miąższości pokładów węgla (tab. 3).

Ustalone dla poszczególnych pokładów optymalne gęstości sieci rozpoznawczej (rys. 2) wynikają z przyjętej dokładności oceny i uzależnione są od zmienności poszczególnych parametrów. Dowodzą konieczności różnicowania gęstości sieci w zależności od stwierdzonej lub przewidywanej zmienności parametru. Zwraca uwagę wyraźne zróżnicowanie gęstości sieci niezbędnej dla oceny poszczególnych cech pokładu. Zagęszczenie obserwacji



rys. 2. Zestawienie wyników analizy gęstości sieci rozpoznawczej

1-4 - wymiary zagęszczenia punktów rozpoznawczych dla oceny: miąższości (zasobów) pokładu (1), zawartości popiołu (2), zawartości siarki (3), wartości opałowej węgla (4), 5 - dokładności rozpoznania parametrów jakościowych węgla (w %) uzyskiwane przy sieci wymiary dla oceny zasobów (miąższości)

Fig. 2. Specification of the results of exploratory grid density analysis

1-4 - density of exploratory points indispensable for estimation of: seams thickness (reserves) (1), ash content (2), sulphur content (3), calorificity of coal (4), 5 - accuracies of coal quality parameters exploration (in %) obtained with the grid indispensable for reserves (thickness) estimation

z punktu widzenia oceny parametrów jakościowych, takich jak zapopielenie węgla, zawartość siarki winno być znacznie większe niż w przypadku oceny miąższości (zasobów) i wartości opałowej węgla. Odległości między punktami rozpoznawczymi powinny być niemal trzykrotnie mniejsze; przy rozpoznawaniu analizowanych pokładów winny wynosić odpowiednio: 1940 - 640 m w kat. C₁, 800 - 210 m w kat. B, 360 - 65 m w kat. A (tab. 2).

Tabela 2

Zbiorcze zestawienie wyników oceny gęstości sieci rozpoznawczej

Parametr	Wymagane zagęszczenia punktów rozpoznawczych dla oceny parametrów analizowanych pokładów (m)		
	kat. C ₁	kat. B	kat. A
Miąższość (zasoby)	5270 - 1740	(2000)1400 - 700	660 - 215
Wartość opałowa węgla	do ok. 4700	1760 - 1220	555 - 380
Zawartość popiołu	1940 - 640	800 - 230	360 - 70
Zawartość siarki	(2840)1700 - 690	760 - 210	270 - 65

(2000) - pojedyncza wartości ekstremalne

Z punktu widzenia oceny zasobów i wartości opałowej węgla wystarczające jest rozpoznanie pokładów rzadszą siecią wyrobisk o rozstawach odpowiednio: 5270 - 1740 m w kat. C₁, (2000) 1400 - 700 m w kat. B, 660 - 215 m w kat. A (tab. 2). Rozstawy te są zbliżone do zalecanych w przepisach o ustalaniu zasobów (tab. 1). Obowiązujące w poszczególnych kategoriach zagęszczenia punktów rozpoznawczych zapewniają na ogół odpowiednią dokładność oceny zasobów oraz wartości opałowej, jednak nie są wystarczające dla poznania z tą samą dokładnością parametrów jakościowych kopaliny w pokładzie, takich jak: zawartość popiołu, zawartość siarki. Dysponując małą ilością informacji, należy się liczyć z większym ryzykiem oceny jakości węgla. Osiągane przy tych rozstawach dokładności oceny zapopielenia i zasiarczenia węgla wynoszą odpowiednio: ok. 80% w kat. C₁, ok. 60% w kat. B, ok. 30% w kat. A (rys. 2). Sugerowałoby to potrzebę zagęszczenia wierceń badawczych, z czym wiąże się wysokie koszty rozpoznania lub przyjęcie niższych niż w stosunku do oceny zasobów wymagań dotyczących dokładności oceny parametrów jakościowych pokładu, co z kolei pociąga za sobą straty z tytułu niedostatecznego zbadania złoża. Za przyjęciem gęstszych sieci rozpoznania przemawia konieczność szczegółowszego rozpoznania tektoniki

złoża, na co zwracali uwagę między innymi T. Kozubski [4], A. Musiał, J. Badnarz [11], M. Nieć [12], A. Czekaj, A. Obtułowicz [1].

Ustalenie ścisłych wymagań odnośnie do zagęszczenia sieci otworów w niskich kategoriach rozpoznania jest zadaniem trudnym ze względu na wielopokładową budowę złóż węgla kamiennego. Zagadnienie to upraszcza się przy rozpoznaniu w kat. A, gdzie każdy pokład traktowany jest oddzielnie. Umożliwia to ustalanie dla każdego pokładu z osobna optymalnego kroku opróbowania oraz wymaganego rozstawu obserwacji miąższości na podstawie wyników geostatystycznej analizy zmienności parametrów pokładu, zgodnie z przedstawioną wcześniej procedurą.

Obserwuje się wyraźne różnice w ocenie gęstości sieci przy uwzględnieniu losowego i geostatystycznego modelu zmienności miąższości pokładów węgla (tab. 3).

Tabela 3

Gęstość sieci rozpoznawczej przy uwzględnieniu losowego i geostatystycznego modelu zmienności miąższości pokładów węgla

Pokład	Kopalnia	Wymagane zagęszczenia punktów rozpoznawczych (m)	
		przy założeniu losowego modelu zmienności miąższości pokładu	przy uwzględnieniu skorelowania obserwacji (met. geostatyst.)
119/2	"Janina"	420	1020
205/4	"Piaśt"	640	1220
206/1	"Piaśt"	410	1400
207	"Piaśt"	1350	2000
349	"Lenin"	790	1340
358/1	"Sońnica"	510	760
364	"Staszic"	1100	1300
401	"Lenin"	700	700
403/1	"Manif. Lipc."	1250	1250
404/5	"Staszic"	800	1200
405	"Staszic"	680	1100
406/2	"Sońnica"	930	1100
407/1	"Sońnica"	650	740

Według oceny geostatystycznej dla zapewnienia żądanej dokładności oceny zasobów wystarczające jest rozpoznanie pokładów rzadszą siecią otworów niż wynikałoby to z obliczeń metodami statystyki matematycznej. Jest to możliwe ze względu na wzajemne skorelowanie obserwacji, co uwzględnia ne-

toda geostatystyczna. Wyniki te dowodzą efektywności stosowania metody geostatystycznej w zakresie optymalizacji metodyki rozpoznawania złóż węgla kamiennego.

4. WNIOSKI

1) Wyniki badań uzasadniają wykorzystanie metody geostatystycznej przy optymalizacji rozpoznawania złóż węgla kamiennego.

2) Obowiązujące w poszczególnych kategoriach zagęszczenia wyrobisk geologiczno-rozpoznawczych gwarantują na ogół odpowiednią dokładność oceny zasobów oraz wartości opałowej węgla, jednak nie są wystarczające dla poznania z tą samą dokładnością parametrów jakościowych kopaliny, takich jak: zawartości popiołu, zawartości siarki. Dowodzi to potrzeby zagęszczenia sieci rozpoznawczych lub przyjęcia niższych wymagań odnośnie do dokładności oceny tych parametrów.

3) Gęstość sieci opróbowania i pomiarów miąższości w wyrobiskach górniczych powinna być ustalona oddzielnie dla każdego pokładu na podstawie wyników geostatystycznej oceny zmienności jego podstawowych parametrów. Jak wynika z przeprowadzonych badań, zagęszczenie sieci opróbowania winno wynosić ok. 360-65 m. Powinna to być sieć regularna, co umożliwi wykrycie prawidłowości zróżnicowania jakości kopaliny. Rozstaw punktów pomiaru miąższości pokładów węgla winien wynosić ok. 660-215 metrów.

4) Istnieje potrzeba sprecyzowania wymagań dotyczących dokładności rozpoznania tak w przypadku szacowania zasobów, jak i średnich wartości parametrów jakościowych pokładu, a także sprecyzowania wymagań odnośnie do wielkości bloków, w obrębie których złóż ma być rozpoznawane z żadaną dokładnością. Zwracano na to już uwagę [12], a przeprowadzone badania potwierdzają słuszność tych wcześniejszych propozycji.

5) Klasyfikowanie zasobów do odpowiedniej kategorii powinno być przeprowadzone na podstawie oceny dokładności rozpoznania. Umożliwia to metoda geostatystyczna.

LITERATURA

- [1] Czekała A., Obtulowicz A.: Problemy i kierunki postępu w dokumentowaniu geologicznym złóż węgla kamiennego Zesz. Nauk. Polit. Śl., s. Górnictwo, z. 149. Gliwice 1986.
- [2] Journel A.G., Huijbregts Ch.J.: Mining Geostatistics. London, New York, San Francisco 1978.
- [3] Kokesz Z.: Geostatystyczna metoda określania geologicznego rozpoznania złóż węgla kamiennego. Maszynopis. IHIGI AGH, Kraków. GIG, Katowice 1986.
- [4] Kozubski F.: Zagadnienie dokładności rozpoznania tektoniki złóż za pomocą wierceń w świetle potrzeb projektowania górniczego. Przegląd Geolog., 1962, nr 12.

- [5] Krajewski R.: Określenie zmienności złoża i stopnia rozpoznania zasobów metodą rachunku statystycznego. Prace IG, 1962, t. 30, cz.III.
- [6] Mikrut J.: Możliwości i korzyści ze stosowania metod geostatystycznych w geologii. Zesz. Nauk. Polit. Śl., s. Górnictwo, z. 149. Gliwice 1986.
- [7] Mucha J.: Metodyka określenia gęstości opróbowania na podstawie geostatystycznego modelu zmienności (na przykładzie rud Zn-Pb). Przegląd Geol. nr 4. Warszawa 1981.
- [8] Mucha J., Nieć M., Kokosz Z., Górecki J., Blajda R.: Geostatystyczna analiza zmienności pokładów węgla kamiennego. Maszynopis IHiGH AGH - GIG, Katowice 1984.
- [9] Mucha J.: Optymalizacja rozpoznania eksploatacyjnego i oceny parametrów złozowych. Gospod. Surowc. Mineral. t. 1, z. 2, 1985.
- [10] Mucha J., Kokosz Z.: Zastosowanie geostatystyki i kriginu w ustalaniu zasobów węgla kamiennego i prognozowaniu parametrów złoża. Zesz. Nauk. Polit. Śl., s. Górnictwo, z. 149. Gliwice 1986.
- [11] Musiał A., Bednarz J.: Ustalenie optymalnych siatek rozpoznawczych dla złóż węgla kamiennego. [w:] Optymalizacja siatek wiertniczych przy dokumentowaniu złóż surowców stałych. Warszawa 1976.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Józef BENDKOWSKI

wpłynęło do Redakcji w lutym 1987 r.

ГЕОСТАТИЧЕСКИЙ МЕТОД В ОПТИМИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ РАЗВЕДКИ ЗАЛЕЖЕЙ КАМЕННОГО УГЛЯ

Р е з ю м е

В статье обращено внимание на возможность использования геостатистического метода в оптимизации стратегии разведки залежей каменного угля. Метод этот даёт возможность установить истинную плотность и конфигурацию разведочной сети месторождения с точки зрения оценки его основных параметров (толщин, качественных параметров месторождения, ресурсов). Указаны пределы использования этого метода и представлены соответствующие расчётные формулы. На основе результатов геостатистической оценки изменчивости выбранных пластов угля, проведён анализ плотности разведочной сети. Проведённые исследования позволили сформулировать общие требования по уплотнению опробовочных пунктов и измерению толщины пластов в горной выработке.

Как показывают исследования, рекомендуемые по отдельным категориям расстояния между разведочными пересечениями, позволяют на относительно точную оценку ресурсов и калорийности угля. Не являются они однако достаточными для разведки дифференциации количества золы а также количества серы в угле. Параметры эти определены со значительно меньшей точностью. Это доказывает необходимость в уплотнении разведочной сети или же принятия меньших требований по точности оценки количества золы и наличия серы в угле.

GEOSTATISTICAL METHOD IN THE OPTIMIZATION
OF EXPLORATORY STRATEGIES FOR COAL DEPOSITS

S u m m a r y

The paper presents possibility of the use of geostatistical method in the optimization of exploratory strategies of the coal deposits. The method enables finding of the proper density and configuration for the exploratory grid from the point of view of the basic parameters estimation. Possible range of the application of the method is presented, respective calculation formulas are given. Basing on the results of geostatistical estimation of the variation of particular coal seams the analysis of the density of the exploratory grid was made. The investigations enabled formulation of general needs dealing with the sampling interval and thickness measurements of the seams in the mine workings. Distances between exploratory points as recommended in particular categories ensure in general reserves estimation accurate enough as well as good calorificity evaluation. But they are not sufficient for recognition of differentiation of ash content and sulphur content in the coal. These parameters are explored with much lower accuracy. It proves that the exploratory grid should be more dense or the assumed accuracy of the estimation of ashes content and sulphur content in the coal must be lower.