

W dniach od 24 do 26 I 1974 r. na AGH odbyło się II sympozjum naukowe poświęcone zastosowaniu metod matematycznych w geologii. Spośród wielu wygłoszonych referatów „Przegląd Geologiczny” drukuje trzy, które wzbudziły szczególnie duże zainteresowanie.

JERZY GÓRECKI, MAREK NIEĆ

Akademia Górniczo-Hutnicza

## WYZNACZANIE GĘSTOŚCI SIECI ROZPOZNAWCZEJ METODĄ PORÓWNIANIA MAP

UKD 553.3/.6.04:519.2:550:822.2+622.14+580.8:528:622.366.12:622.277.6

Gęstość sieci otworów rozpoznawczych wyznacza się zazwyczaj przez analogię do wcześniej rozpoznanych złóż lub partii złoża. Za wystarczające uważa się rozpoznanie za pomocą sieci otworów (lub innych wyrobisk rozpoznawczych), które pozwala na obliczenie zasobów z żądaną dokładnością lub z dokładnością możliwą do osiągnięcia przy danej zmienności złoża.

Podstawą rozważań na temat dokładności szacowania zasobów jest najczęściej probabilistyczny model zmienności parametrów złożowych. Dokładność można szacować wówczas za pomocą prostych wzorów statystyki matematycznej (1, 2). Wyraża ją wzór:

$$\varepsilon = \frac{t \cdot V}{\sqrt{n}} \quad [1]$$

gdzie:  $t$  — statystyka Studenta,  
 $V$  — współczynnik zmienności,  
 $n$  — ilość obserwacji.

Przyjmując określoną dokładność  $\varepsilon$ , jaką mamy osiągnąć w wyniku rozpoznania, można po prostym przekształceniu wzoru [1] wyliczyć niezbędną ilość punktów rozpoznania.

Metoda ta ma dwie wady: po pierwsze nie definiuje obszaru, na jakim ma być dokonane rozpoznanie, po drugie zmienność zasobności złoża często nie jest losowa, lecz na tle przypadkowych jej wahań można prześledzić systematyczne jej zróżnicowanie.

Informacji o przestrzennej zmienności zasobności dostarczają mapy zasobności złoża. Mapa izolinii może być uważana za graficzny obraz funkcji opisującej zmienność zasobności, traktowanej jako zjawisko nielosowe, a więc funkcji, którą można opisać symbolicznie:

$$q = f(x, y) \quad [2]$$

gdzie:  $x, y$  — współrzędne położenia punktów rozpoznawczych.

Jeśli na podstawie danych z otworów rozpoznawczych można skonstruować mapę zasobności nie różniącą się w sposób istotny od mapy sporządzonej na podstawie informacji uzyskanych w trakcie eksploatacji (lub rozpoznania eksploatacyjnego — wyrobiskami udostępniającymi i przygotowawczymi), wówczas rozpoznanie takie można uznać za wystarczające. Porównanie map zasobności sporządzonych przy różnej gęstości otworów rozpoznawczych wydaje się najlepszym sposobem oceny stopnia rozpoznania zasobów złoża. P. Wasilew (4) uważa, że wystarczające jest porównanie wizualne takich map. Metoda taka nie jest jednak w pełni zadowalająca, z uwagi na jej dużą subiektywność. W związku z tym podjęto próbę rozwiązania tego zagadnienia na podstawie metod statystyki matematycznej.

Badania przeprowadzono w dwóch wybranych rejonach złoża siarki, eksploatowanego metodą podziemnego wyciągania. W obu rejonach złożo zostało rozpoznane regularną gęstą siecią otworów rozpoznawczych, o boku  $a$  m. Zastosowano metodę sztucznego rozrzedzania sieci. Dla każdego stopnia rozrzedzenia (kolejno od siatki  $a$  m do  $2a, 3a$  i  $4a$  m) opracowano mapę zasobności (ryc. 1 a—d). Przyjęto, że siecią dostatecznego rozpoznania jest taka, na podstawie której można opracować mapę zasobności złoża, nie różniącą się w sposób istotny od uzyskanej na podstawie siatki otworów eksploatacyjnych.

Porównanie map przeprowadzono dwoma sposobami. Sposób pierwszy zastosowany dla jednego z rejonów złoża — polegał na zestawianiu i porównywaniu rozkładów zasobności otworów opracowanych na podstawie rozpoznania siatkami:  $a, 2a, 3a$ , i  $4a$  m. Dla siatek rozrzedzonych zasobność w punktach, w których znajdują się otwory eksploatacyjne, wyinterpolowano z odpowiednich map izolinii zasobności. Uzyskane rozkłady zasobności (ryc. 2) porównano za pomocą testu D (Smirnowa — Kołmogorowa). Test zakłada, że rozkłady można uznać za istotnie różne, jeśli bezwzględna różnica skumulowanych częstości klas porównywanych zbiorów obserwacji przekracza — przy pewnym poziomie istotności — określoną krytyczną wartość  $D_{kryt}$ . Dla poziomu istotności 0,05, najczęściej przyjmowanego w praktyce, wzór na obliczenie krytycznej wartości  $D_{kryt}$  przedstawia się następująco (3):

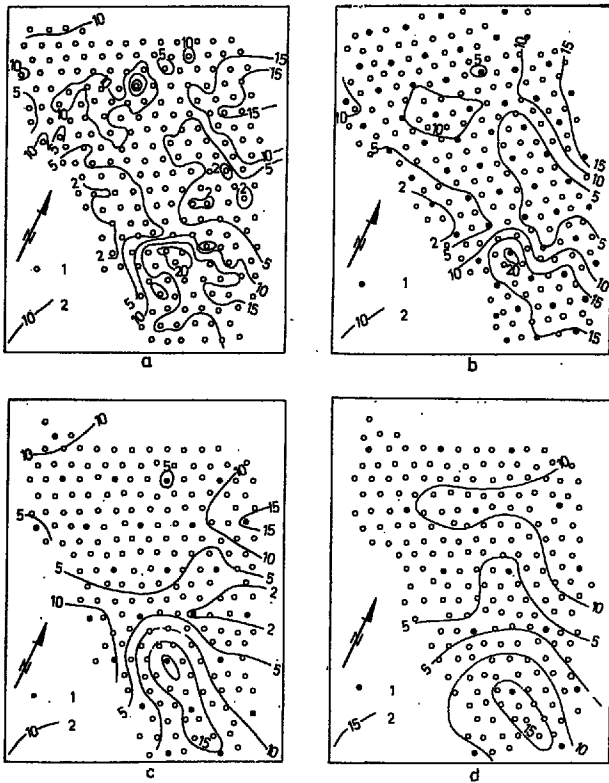
$$D_{kryt} = 1,358 \sqrt{\frac{n_x + n_y}{n_x n_y}} \quad [3]$$

gdzie:  $n_x, n_y$  — ilość danych w obu porównywanych zbiorach.

Dla porównywanych zbiorów (211 otworów eksploatacyjnych) krytyczna wartość  $D$  wynosi 0.132.

W wyniku analizy podobieństwa poszczególnych rozkładów zasobności okazało się, iż w przypadku rozkładów zestawionych dla siatek  $2a$  i  $3a$  m nie ma podstaw do twierdzenia, że różnią się one w sposób istotny od rozkładu zasobności w siatce eksploatacyjnej (maksymalne różnice częstości skumulowanych wynoszą bowiem odpowiednio 0.043 i 0.087). Wobec tego obserwowane różnice między wielkościami zasobności można uznać za nieistotne (tab. I).

Porównanie rozkładu zasobności dla siatki  $4a$  m z rozkładem dla siatki  $a$  m wykazało natomiast istotne różnice (maksymalna różnica częstości skumulowanych wynosi 0.166 i jest większa od krytycznej wartości  $D$ ). Oznacza to, że rozpoznanie zasobności siatką otworów w odstępach  $4a$  m nie określa już w sposób wystarczający zasobności pól eks-



Ryc. 1. Mapy zasobności zestawione na podstawie danych:

a — z otworów w siatce a m, b — siatka 2a m (rozrzedzona), c — siatka 3a m (rozrzedzona), d — 4a m (rozrzedzona). 1 — otwory (czarną kropką zaznaczono otwory w siatce rozrzedzonej), 2 — izolnie zasobności.

Fig. 1. Map of resources drawn on the basis of data from:

a — boreholes in a m network, b — 2a m network (diluted), c — 3a m network (diluted), d — 4a m network (diluted). 1 — boreholes (boreholes of diluted network marked by solid circles), 2 — isolines of resources.

platacyjnych (na poziomie istotności 0.05). Można sądzić, że w celu osiągnięcia wystarczającego stopnia rozpoznania należałoby badać złożę przed rozpoczęciem eksploatacji za pomocą otworów wierconych w siatce rzadszej od 3a m, lecz gęstszej od 4a m.

Inny sposób porównania podobieństwa rozkładów zasobności, otrzymanych w wyniku rozpoznania złoża siatkami różnej gęstości, zastosowano dla rejonu II. Po rozrzedzeniu siatki eksploatacyjnej, kolejno do siatek: 2a, 3a i 4a m, obliczono bezwzględne wartości odchyłek zasobności dla poszczególnych otworów eksploatacyjnych, stosując następujące formuły:

$$Z_{2a} = |Z_{3a} - Z_{32a}| \quad [4]$$

$$Z_{3a} = |Z_{3a} - Z_{33a}| \quad [5]$$

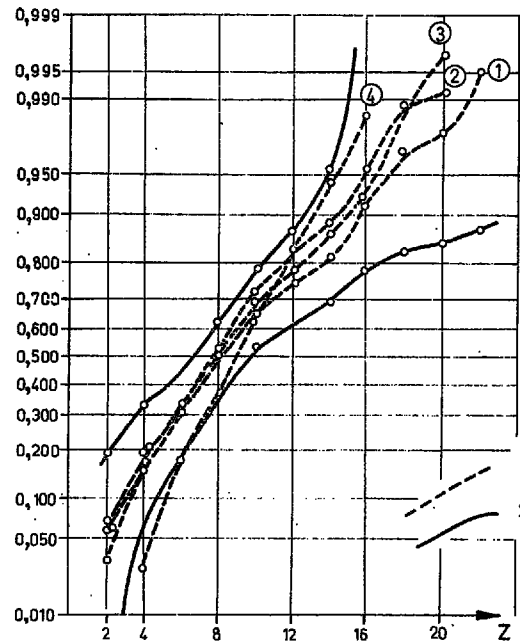
$$Z_{4a} = |Z_{3a} - Z_{34a}| \quad [6]$$

gdzie:  $Z_{3a}$  — rzeczywista zasobność otworu eksploatacyjnego,

$Z_{32a}$ ,  $Z_{33a}$ ,  $Z_{34a}$  — zasobność otworów eksploatacyjnych wyinterpolowana z map izolnie dla danej siatki rozrzedzonej,

$Z_{2a}$ ,  $Z_{3a}$ ,  $Z_{4a}$  — moduły (wartości bezwzględne) odchyłek zasobności w poszczególnych stadiach rozrzedzania siatki rozpoznawczej.

Zestawiono rozkłady wartości modułów, obliczonych w powyższy sposób na obszarze całego pola (ryc. 3). Można uznać, że rozrzedzenie siatki do 2a m nie wpłynęło praktycznie na zmianę dokładności roz-

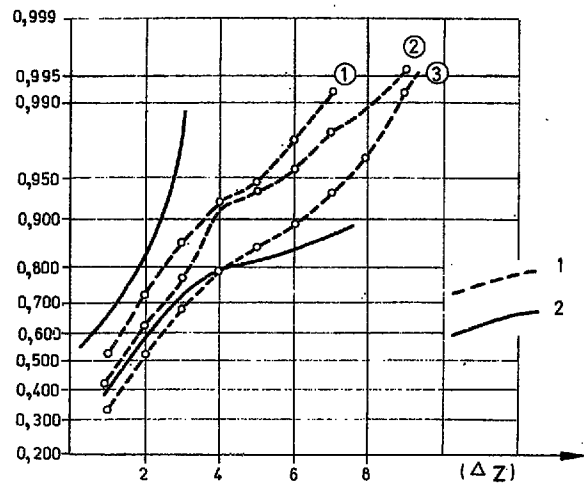


Ryc. 2. Porównanie rozkładów zasobności uzyskanych w kolejnych stadiach rozrzedzenia (wykres na siatce probabilistycznej).

1 — wykresy rozkładów zasobności: (1) dla siatki a m, (2) dla siatki 2a m, (3) dla siatki 3a m, (4) dla siatki 4a m, 2 — granice przedziału ufności rozkładu zasobności dla siatki a m.

Fig. 2. Comparison of distributions of resources obtained at successive stages of dilution (diagram plotted on probabilistic net)

1 — diagrams of distributions of resources: (1) for a m network, (2) for 2a m network, (3) for 3a m network, (4) for 4a m network, 2 — boundaries of confidence interval of distribution of resources for a m network.



Ryc. 3. Porównanie rozkładów modułów odchyłek zasobności uzyskanych w kolejnych stadiach rozrzedzenia otworów (wykresy na siatce probabilistycznej).

1 — wykresy rozkładów modułów odchyłek zasobności w kolejnych stadiach rozrzedzenia, 2 — granice przedziału ufności rozkładu modułów odchyłek zasobności dla pierwszego stadium rozrzedzenia.

Fig. 3. Comparison of distributions of resource deviation modules obtained at successive stages of borehole network dilution (diagrams plotted on probabilistic net).

1 — diagrams of distributions of modules of deviations in resources for successive stages of dilution, 2 — boundaries of confidence interval of distribution of resource deviation modules for the first stage of dilution.

Tabela I

PORÓWNIANIE ROZKŁADÓW ZASOBNOŚCI PRZY RÓŻNYCH STOPNIACH ROZRZEDZENIA OTWORÓW

Rejon złoże	Ilość otw. ekspl.	Maksymalna różnica częstości skumulowanych rozkładów zasobności dla siatek			$D_{kryt}$
		$a, 2a$	$a, 3a$	$a, 4a$	
I	211	0,043	0,087	0,166	0,132

poznania zasobności. Odchyłki zasobności poniżej  $1 \text{ t/m}^2$ , w praktyce mało istotne, stanowią 52,6%, a odchyłki poniżej  $2 \text{ t/m}^2$  — 72,2% ogólnej liczby odchyłek. Większe wartości odchyłek trafiają się już tylko sporadycznie.

W dalszym ciągu rozważań sprawdzono, które z rozkładów odchyłek są podobne do rozkładu zestawionego dla siatki  $2a$  m. Sprawdzenia dokonano za pomocą omówionego poprzednio testu  $D$ . Okazało się, iż jeszcze tylko rozpoznanie w siatce  $3a$  m daje rozkład modułów nie różniący się istotnie od uzyskanego na podstawie rozpoznania w siatce  $2a$  m — jak można sądzić — także  $a$  m, natomiast siatka  $4a$  m zmienia go już w sposób istotny (tab. II). Tak więc również i ten sposób wyznaczenia gęstości sieci rozpoznawczej, zapewniającej rozpoznanie zasobności złoże w stopniu zbliżonym do rozpoznania otworami eksploatacyjnymi, prowadzi do wniosku, iż sieć taka powinna odznaczać się średnią odległością otworów rzędu  $3a-4a$ .

Sumując można stwierdzić, iż w celu dobrego rozpoznania warunków złóżowych na obszarze prze-

## SUMMARY

An attempt to determine density of prospecting network was carried out with the assumption of non-random differentiation in resources of a deposit. The studies were carried out in one of the sulfur deposit exploited by hot-water mining method. The network of sufficient recognition is interpreted here as a network sufficient for drawing map of resources which does not significantly differ from the map obtained on the basis of exploitational boreholes drilled in  $a$  m network. Maps drawn on the basis of borehole networks of different density (obtained by the method of artificial network dilution) were indirectly compared in two ways:

(1) The first method of comparison involved analysis of histograms of deposit resources, made at different stages of dilution of borehole network. Resources for a given point, at which exploitational borehole is localized, were read from the map of isolines of resources drawn on the basis of diluted network (Fig. 3).

(2) The second method involved comparison of histograms of absolute differences in resources found in a given borehole and read from the map prepared for a given stage of dilution of the network (Fig. 4).

The histograms were compared using test  $D$  of Smirnow-Kolmogorow at the significance level 0.05. The results obtained have shown that there is no case to reject the hypothesis assuming similarity of maps of resources drawn at the particular stages of dilution of exploitational borehole network. However, when the network is diluted to  $4a$  m the hypothesis assuming similarity of maps drawn on the basis of boreholes spaced in the networks,  $4a$  m and  $a$  m may be rejected.

It may be concluded that the spacing of the boreholes in the network of sufficient recognition should fall between  $3a$  m and  $4a$  m.

Tabela II

PORÓWNIANIE ROZKŁADÓW MODUŁÓW ODCHYLEK ZASOBNOŚCI DLA RÓŻNYCH STOPNI ROZRZEDZENIA SIATKI

Rejon złoże	Ilość otw. ekspl.	Różnice częstości skumulowanych		$D_{kryt}$
		$(a)2a, a-3a$	$(a)2a, a-4a$	
II	234	0,100	0,201	0,126

widzianym do eksploatacji konieczne jest wyprzedzające rozpoznanie złoże. Rozstęp otworów rozpoznawczych powinien wynosić  $3a-4a$  m. Tak dobrany rozstęp powinien zezwolić na wykrycie lokalnych zmian wykształcenia złoże, a w rejonach położonych blisko konturu złoże na wcześniejsze określenie jego przebiegu.

## LITERATURA

1. Nieć M., Niemczyk J. — Niektóre zagadnienia geometryzacji i obliczanie zasobów. Mat. Konf. Geometryzacji Ziół, Katowice, 1965.
2. Piątkowski J. — Statystyczne szacowanie dokładności ustalania zasobów ziół kopalni stałych. Pr. geol. 1966, nr 7.
3. Smirnow N. W., Dunin — Barkowski I. W. — Krótki kurs statystyki matematycznej dla zastosowań technicznych. Warszawa, 1966.
4. Wasilew P. A. — Now miedoi zaopriedielianie na optymalnata gustota na pruczwatelnata mrieža. Spisanie na BGD, t. 2, 1969.

## РЕЗЮМЕ

Авторы предприняли попытку определения требуемой густоты разведочной сетки, принимая условие, что распределение запасов полезного компонента является нестихийным. Определения производились на одном из месторождений серы, разрабатываемом методом подземной выплавки. Было принято, что сеткой удовлетворительной разведки будет считаться такая сетка, на основании которой можно составить карту запасов, не отличающуюся существенным образом от карты, составленной по сетке эксплуатационных скважин в  $a$  м. Сравнение карт, составленных по сеткам с разной густотой скважин (путем искусственного разрежения сетки), проводилось косвенным образом двумя способами.

Первый способ основывался на сравнении гистограмм запасов, составленных по данным разных стадий разрежения сетки скважин. В разреженных сетках запасы в точках эксплуатационных скважин определялись путем интерполяции по соответствующим картам изолиний запасов, составленным на основании разреженной сетки (фиг. 3).

Второй способ состоял в сопоставлении гистограмм абсолютных расхождений между величиной запасов, наблюдаемой в скважине, и величиной, полученной путем интерполяции по соответствующим картам изолиний запасов, составленным на основании разреженной сетки (фиг. 4).

Сравнение гистограмм производилось с помощью критерия Смирнова-Колмогорова при уровне значимости 0,05. Констатировано, что нет основания отбрасывать гипотезу о сходстве карт запасов, составленных по разреженной сетке эксплуатационных скважин. При разрежении же сетки скважин до  $4a$  м гипотеза о сходстве карт запасов, составленных по данным скважин, пройденных в сетках  $4a$  м и  $a$  м, может быть отброшена.

На основании полученных данных следует предполагать, что интервалы между скважинами удовлетворительной сетки разведки должны составлять величину между  $3a$  и  $4a$  м.