

ZAGADNIENIE DOKŁADNOŚCI ROZPOZNAWANIA ZŁOŻ

UKD 553.3/.9.04+622.3.002.2]:519,25

Przez dokładność rozpoznania złoża rozumiemy różnicę, jaka może wystąpić między oceną cech złoża dokonaną w wyniku jego rozpoznania a rzeczywistymi jego cechami, które poznajemy w trakcie eksploatacji. Tak rozumiana dokładność jest równa maksymalnemu błędowi, jaki można popełnić w trakcie rozpoznawania złoża (9), z pewnym przyjętym prawdopodobieństwem.

Ocena dokładności rozpoznawania złóż jest jednym z najważniejszych zagadnień geologii kopalnianej. Wyniki prac rozpoznawczych przedstawiane w dokumentacji geologicznej są podstawą do projektowania i budowy zakładu górniczego, a następnie do planowania eksploatacji złoża. Wymaga się zatem, by były one dokładne. Zagadnienie to ma dwa aspekty: jeden — to sprecyzowanie wymagań odnośnie do dokładności rozpoznania, drugi — to wypracowanie metod pozwalających tę dokładność ocenić.

Wymagania związane z dokładnością rozpoznawania złóż powinny wynikać z potrzeb praktyki górniczej. Nie ma na ten temat jednoznacznie sprecyzowanych poglądów. Proponowane wymagania zestawiono w tab. I. Dotyczą one przede wszystkim zasobów złoża. W praktyce można się spotkać z ostrzejszymi wymaganiami niż podane w tabeli, zwłaszcza w odniesieniu do kat. A. Żąda się tu niejednokrotnie rozpoznania średnich parametrów złoża (przede wszystkim zawartości składnika użytecznego) i zasobów z dokładnością nawet $\pm 5\%$.

Dokładność rozpoznania złoża jest uzależniona od:

- 1) błędów pomiaru parametrów złoża (miąższości, zawartości składnika użytecznego itp.), zwanych błędami technicznymi,
- 2) błędów popełnianych przy ocenie średnich wartości parametrów złoża, zwanych błędami reprezentacyjności rozpoznania,
- 3) poprawności i dokładności interpretacji budowy złoża (tzw. błędów analogii i geometryzacji).

Błędy pomiaru parametrów złoża są niewielkie, jeśli dysponuje się odpowiednią techniką ich pomiaru. Jeśli są to błędy przypadkowe, to wpływają one nieznacznie na ocenę całego złoża, jeśli zaś są to błędy systematyczne i duże, to ich rola uwydatnia się przy ocenie zasobów i interpretacji budowy złoża.

Błędy pomiaru parametrów złożowych są stosunkowo łatwe do wykrycia, jeżeli dysponuje się odpowiednio przeprowadzonymi pomiarami kontrolnymi. Na ogół też nie przekraczają one $\pm 10\%$. Przykładowo w tab. II zestawiono błędy pomiaru para-

metrów złóż siarki rodzimej. Rolę błędów systematycznych można ograniczyć przez wprowadzenie odpowiednich współczynników poprawczych, obliczanych na podstawie pomiarów kontrolnych.

Znacznie poważniejsze są błędy reprezentacyjności. Dokładność oceny średnich wartości parametrów złoża (ε) jest uzależniona od liczby punktów rozpoznawczych (n) i zmienności złoża (V).

$$\varepsilon = f(V, n) \quad [1]$$

Warto zauważyć, że na obserwowaną zmienność złoża składa się zmienność naturalna i zmienność wynikająca z popełnianych przypadkowych błędów obserwacji, zatem zostają tu częściowo uwzględnione błędy pomiaru parametrów złożowych.

Jeśli zmienność parametrów złoża jest losowa, to ε można ocenić na podstawie prostych formuł statystyki matematycznej. W odniesieniu do oceny dokładności względnej, mierzonej w stosunku do średniej wartości badanego parametru, mamy (5):

$$\varepsilon_w = \frac{tV}{\sqrt{n}} \% \quad [2]$$

gdzie t jest parametrem prawdopodobieństwa, z jakim dokonuje się oceny dokładności, a V — współczynnikiem zmienności (dla prawdopodobieństwa $\alpha = 95\%$ i $n \geq 30$, $t = 2$).

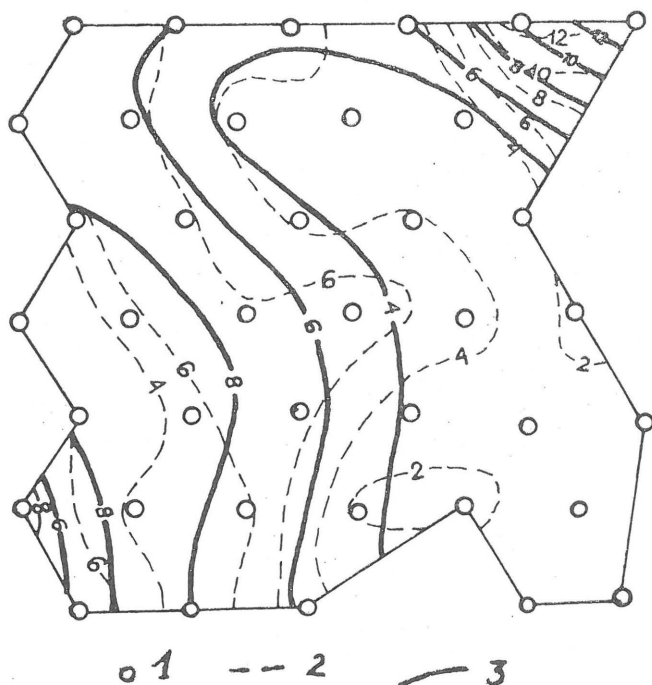
Jeśli występują prawidłowości zróżnicowania wartości parametrów na obszarze złoża, ocena dokładności musi uwzględniać istnienie tych tendencji, zwykle opisywanych za pomocą funkcji matematycznych aproksymujących dane obserwacyjne trendu (ryc. 1). Dokładność rozpoznania można wówczas ocenić na

Tabela I
PROPONOWANE WYMAGANIA ODNOŚNIE DO
DOKŁADNOŚCI ROZPOZNAWANIA ZASOBÓW ZŁOŻ

Kategoria rozpoznania	Wymagana dokładność $\pm \%$	
	wg R. Krajewskiego (5)	wg G. B. Fettweisa (2)
C ₂	40	60
C ₁	25	40
B	15	20
A	10	10

BŁĘDY POMIARU PARAMETRÓW ZŁOŻA SIARKI RODZIMEJ

Parametr	Średni błąd przypadkowy	Maksymalny błąd systematyczny
Miąższość m	$\pm 0,2$ m	
Zawartość siarki w próbce $p\%$ w otworze $po\%$	$\pm 4,5\%$ do $\pm 1-2\%$	do około -10%
Gęstość przestrzenna γ_0	$\pm 0,04-0,06$ t/m ³	do $\pm 0,4$ t/m ³
Zasobność q	$0,07-0,89$ t/m ² w zależności od zasobności średniej	w zależności od błędów systematycznych p i γ_0



Ryc. 1. Przykład mapy trendów, zasobność fragmentu złoża siarki.

1 — otwory wiertnicze, 2 — izolinie zasobności, 3 — izolinie powierzchni trendu aproksymowanej wielomianem trzeciego stopnia.

Fig. 1. An example of map of trends of resources for a part of sulfur deposit.

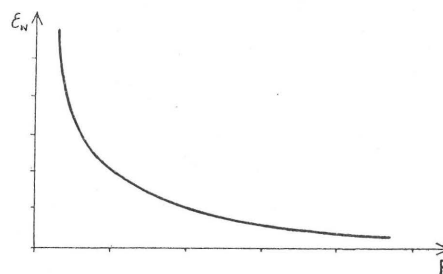
1 — boreholes, 2 — isolines of resources, 3 — isolines of trend surface approximated by polynomial of the third order.

podstawie wielkości wahań rzeczywistych wartości parametrów w stosunku do oczekiwanych ze względu na prawidłowości zróżnicowania. Wówczas:

$$\varepsilon_w = \frac{tV\sqrt{1-\eta}}{\sqrt{n}} \% \quad [3]$$

gdzie: η — współczynnik determinacji trendu, określający jaki jest udział zmienności nielosowej w zróżnicowaniu badanego parametru.

W obu wypadkach ocena dokładności zależy tylko od ilości punktów rozpoznawczych, zatem przy stałej odległości d między nimi będzie maleć w miarę zmniejszania obszaru złoża (ryc. 2). Zjawisko to jest określane jako regresja stopnia rozpoznania złoża (lub kategorii zasobów) (1). Formułując wymagania odnośnie do dokładności rozpoznania złoża, konieczne jest zatem zdefiniowanie obszaru złoża F , jakiego ta dokładność ma dotyczyć. Można tu wyjść na przykład z założenia, że zasoby złoża w tym obszarze



Ryc. 2. Zależność dokładności rozpoznania (prawdopodobnego maksymalnego błędu) od obszaru badanego złoża, przy stałym rozstawie sieci otworów rozpoznawczych.

Fig. 2. Dependence of accuracy of recognition (possible maximum error) on area of the studied deposit, when the spacing of exploration drilling network is fixed.

muszą gwarantować uzyskanie określonej produkcji w pewnym okresie, np. roku, pięciu lat itp.

Ponieważ:

$$n = \frac{F}{d^2} \quad [4]$$

wobec tego po wstawieniu do wzoru [2] i przekształceniu otrzymamy:

$$F = \frac{t^2 V^2 d^2}{\varepsilon_w^2} \quad [5]$$

Przy obliczaniu zasobów na tym obszarze trzeba się liczyć z tym, że rzeczywista ich wielkość Q , może się różnić od ustalonej (Q_0) o $\pm \varepsilon_w\%$, z prawdopodobieństwem określonym przez parametr t .

Bezwzględną wielkość maksymalnego błędu, jaki można popełnić przy ocenie zasobów ε_Q najłatwiej określić, jeśli zasoby oblicza się metodą średniej zasobności*:

$$Q = \bar{q}F \quad [6]$$

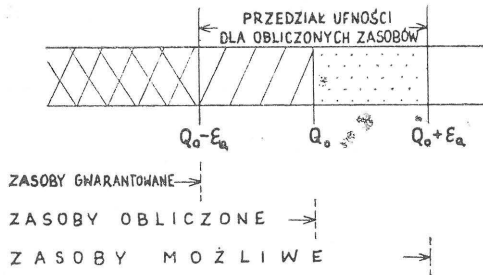
gdzie: \bar{q} — średnia arytmetyczna zasobności określonej w poszczególnych punktach rozpoznawczych.

Wówczas:

$$\varepsilon_Q = \frac{tVq}{q\sqrt{n}} F \quad [7]$$

gdzie: V_q — jest współczynnikiem zmienności zasobności.

* Zasobność: iloczyn miąższości (m), gęstości przestrzennej (γ_0), zawartości składnika użytecznego (p) $q = 0,01$ m³ op. Jest to ilość zasobów na 1 m² powierzchni złoża.



Ryc. 3. Przedział ufności obliczanych zasobów.
Fig. 3. Confidence interval of estimated resources.

Zawsze można oczekiwać, że zasoby rzeczywiste będą się różniły od obliczonych. Z prawdopodobieństwem określonym przez parametr t , różnica ta nie powinna być większa od ϵ_Q (8). Wartość ϵ_Q wyznacza zatem przedział, w którym będzie zawarta rzeczywista wielkość zasobów (ryc. 3).

$$(Q_0 - \epsilon_Q) < Q_{rz} < (Q_0 + \epsilon_Q) \quad [8]$$

z prawdopodobieństwem określonym przez parametr t . Ze względu na niepewność, jaka zawsze towarzyszy obliczaniu zasobów, słuszne wydaje się (6) wyróżnienie zasobów gwarantowanych

$$Q_{gw} = Q_0 - \epsilon_Q \quad [9]$$

to jest takich, które zawsze można w złożu stwierdzić, mimo popełnionych błędów ich oceny. Zarazem można też oczekiwać, że zasoby rzeczywiste będą większe od obliczonych. Zatem zasoby możliwe mogą wynieść:

$$Q_m = Q_0 + \epsilon_Q \quad [10]$$

W zasadzie podstawą planowania produkcji kopalni powinny być zasoby gwarantowane a nie obliczone, zapewnią to bowiem zawsze realizację zadań planowych. Przyjmując za podstawę planowania Q_0 , trzeba się liczyć z tym, że rzeczywiste zasoby mogą być mniejsze, a zatem wykonanie zadań planowych może być utrudnione z przyczyn naturalnych.

Zasoby obliczone na jakimś obszarze F powinny zapewnić uzyskanie produkcji

$$P = \bar{q}F\eta_z \quad [11]$$

gdzie:

η_z — współczynnik wykorzystania złoża

Wyrażając P za pomocą produkcji rocznej (P_r) realizowanej w ciągu k lat ($P = P_r k$), otrzymamy ze wzoru [5] i [11]:

$$k = \frac{t^2 V^2 d^2 \eta_z \bar{q}}{P_r \epsilon_Q^2}$$

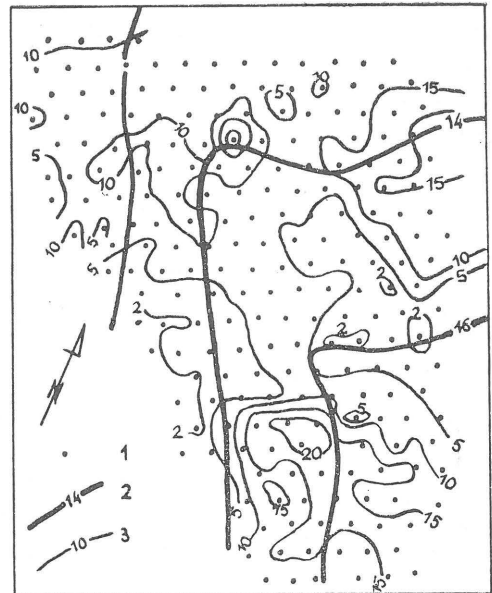
a zatem czas (w latach), po którym powinno nastąpić zbilansowanie zasobów stwierdzonych w czasie eksploatacji i obliczonych na podstawie wcześniejszych prac rozpoznawczych. W okresach krótszych od k trzeba się liczyć, z tym, że obserwowane różnice między nimi mogą przekroczyć wartość ϵ_Q .

Jeśli się weźmie pod uwagę zasoby gwarantowane, produkcja gwarantowana powinna wynieść:

$$P_{gw} = \eta_z (Q - \epsilon_Q)$$

Najtrudniejszym zagadnieniem w ocenie dokładności rozpoznania złoża jest ocena błędów związanych z interpretacją jego budowy, nie dysponujemy bowiem w tym wypadku kryteriami ilościowymi.

Poprawność i dokładność tej interpretacji jest uzależniona od liczby punktów rozpoznawczych oraz doświadczenia i umiejętności geologa interpretującego. Czynnika subiektywnego nie można tu wyeliminować. Ilościowa ocena dokładności jest w tym wypadku



Ryc. 4. Przykład porównania map izolinii zasobności złoża siarki sporządzonych na podstawie otworów rozpoznawczych w kat. C_1 i A.

1 — otwory wiertnicze, 2 — izolinie zasobności w kat. C_1 (otwory poza obszarem mapy), 3 — izolinie zasobności wyznaczone na podstawie danych z otworów eksploatacyjnych (przedstawionych na mapie).

Fig. 4. Comparison of maps of isolines of resources of sulfur deposit, made on the basis of exploration drillings in the Polish mining categories C_1 and A.

1 — boreholes, 2 — isolines of resources in the category C_1 (boreholes situated beyond the area of map), 3 — isolines of resources drawn on the basis of exploitation borehole data (boreholes shown in the map).

niemożliwa. Może być jedynie dokonana przez analogię w stosunku do części złoża już wyeksploatowanych, na których przeprowadzono porównanie interpretowanego obrazu budowy złoża ze stwierdzonym w trakcie eksploatacji. Wynikające z tego obliczenia błędy nazywamy „błędami analogii”.

O dokładności interpretacji budowy złoża informuje też pośrednio możliwość wykonania jej w wielu wariantach. Warianty takie powinny być zawsze przedstawione w dokumentacji geologicznej (zwłaszcza dotyczącej tektoniki złoża; 4). O dokładności interpretacji decydują również błędy pomiaru parametrów złożowych, szczególnie jeśli są to błędy systematyczne, oraz typ zmienności parametrów złożowych. Prawidłowości zróżnicowania parametru ilustrują mapy izolinii. Zatem niewłaściwe jest przykładowe wykonywanie map izolinii parametrów zróżnicowanych w sposób losowy na obszarze złoża.

Bardzo często w początkowych etapach badania złoża (w kat. C_2 , C_1) rzadka siatka otworów nie zezwala na poznanie prawidłowości zróżnicowania parametrów złożowych. Wykonywane wówczas mapy izoliniowe tych parametrów nie tylko nie dostarczają informacji o ich zróżnicowaniu na obszarze złoża (7), lecz mogą nawet dać fałszywe informacje (ryc. 4). Wykonanie map izoliniowych powinno zatem być poprzedzone zawsze badaniem typu zmienności parametru, który mają przedstawiać.

Przyjęta koncepcja budowy złoża jest wykorzystana przy obliczaniu zasobów w dwojaki sposób:

- 1) przy podziale złoża na bloki obliczeniowe,
- 2) przy wyborze metody obliczenia zasobów.

Obliczenie zasobów wiąże się zawsze z przyjęciem jakiegoś modelu geometrycznego bryły złożowej, który w naszym mniemaniu jest równoważny rzeczywistej bryle złoża. Popełniamy przy tym błędy geometrycznej, o których wielkości można wnosić jedynie pośrednio, porównując wyniki obliczenia zasobów różnymi metodami. Różnice te zwykle nie przekraczają $\pm 10\%$. Niestety wielkości błędów, jakie popełniamy przy interpretacji budowy, nie można ocenić. Jest to

możliwe dopiero po wyeksploatowaniu złoża. Zatem niezmiernie ważne jest porównywanie obrazu złoża w czasie robót eksploatacyjnych z wcześniejszą interpretacją. Nagromadzone w ten sposób dane empiryczne pozwolą na zorientowanie się w wielkości błędów interpretacji (analogii) i geometryzacji.

LITERATURA

1. Birjukow W. I. — Riegresija kategorii zapasow. Izw. WUZ Geol. i Razw. 1965 nr 4.
2. Fettweis G. B. — Weltkohlenvorräte. Eine vergleichende Analyse ihrer Erfassung und Bewertung. Glückauf. Essen 1976.
3. Górecki J., Nieć M. — Wyznaczanie gęstości sieci rozpoznawczej metodą porównywania map. Prz. Geol. 1974 nr 12.
4. Kozubski F. — Zagadnienie dokładności rozpoznania tektoniki złóż za pomocą wierceń w świetle potrzeb projektowania głębokich kopalń. Ibidem 1962 nr 12.

SUMMARY

Accuracy of recognition of a deposit is understood as the difference which may be marked between estimation of deposit parameters, made during the recognition, and their actual values found in the course of exploitation. It is equal to the maximum error, determined with certain probability, which may be made in the course of deposit recognition. Up to the present, there are no requirements concerning accuracy of recognition of deposit, which would be generally accepted (Table I). The accuracy depends on errors in evaluating deposit parameters (Table II), which are usually small, and in estimating mean values of deposit parameters (representation errors) as well as in interpreting deposit structure. The errors in estimations of mean values of deposit parameters may be determined with the use of statistical methods. The methods make it also possible to determine confidence limits for the established resources. It is proposed here to introduce a notion of guaranteed resources, i.e. established resources from which the maximum estimation error has been subtracted.

Quantitative criteria for evaluation of interpretation errors are still missing. The errors, especially those made at the initial stage of deposit recognition, may be fairly large and maps made at that stage often give a false image of distribution of isolines of deposit parameters.

5. Krajewski R. — Określanie zmienności złoża i stopnia rozpoznania zasobów metodą rachunku statystycznego. [W:] Czterdzieści lat Instytutu Geologicznego 1919—1959. Pr. Inst. Geol. 1962 t. 30 cz. III.
6. Nieć M. — Analiza statystyczna złóż miedzi monokliny przedsudeckiej. Rudy i Met. Niezel. 1964 nr 6.
7. Nieć M. — Dokładność pomiaru parametrów i określenia zasobów złóż siarki. Kwart. Geol. 1976 t. 20 nr 4.
8. Pasiek K., Wiśniewski S. — Konfrontacja prognoz parametrów jakościowych węgla brunatnego złóż rejonu Konina na podstawie dokumentacji geologicznej i innych badań. Górn. Odkr. 1976 nr 5—6.
9. Piątkowski J. — Statystyczne szacowanie dokładności ustalania zasobów złóż kopalni stałych. Prz. Geol. 1966 nr 7.
10. Piątkowski J. — Elementarne metody statystyczne w rozpoznawaniu złóż kopalni stałych. Skrypt AGH nr 143.

РЕЗЮМЕ

Под понятием точности разведки месторождения подразумевается разницу, которая может выступить между оценкой свойств месторождения полученной в результате его разведки и действительными его свойствами, обнаруженными во время эксплуатации. Эта разница равна максимальной ошибке, которую можно совершить при разведке, определенной с данной вероятностью. До сих пор нет общепринятых требований по точности разведки месторождений (таб. I). Точность этой разведки зависит от: ошибок измерения пластовых параметров, обычно небольших (таб. 2), ошибок оценки средних величин пластовых параметров и ошибок интерпретации строения месторождения. Ошибки оценки средних величин пластовых параметров можно определить статистическими методами. Автор предлагает принять понятие гарантированных запасов т.е. рассчитанных запасов уменьшенных о вероятную максимальную ошибку их оценки.

Нет до сих пор количественных критериев для оценки ошибок интерпретации. Они могут быть большие, особенно в начальных стадиях исследования месторождения. Составленные тогда карты изолиний пластовых параметров дают часто ложную картину их дифференциации.