

ZMIENNOŚĆ I ROZPOZNANIE ZŁOŻA SIARKI

UKID 553.661.1.003:553.042:311.2(438.35)

Analiza statystyczna faktów geologicznych rejestrowanych w czasie prac rozpoznawczych pozwala zazwyczaj na obiektywną ocenę wyników rozpoznania złoża. Na podstawie bogatego materiału obserwacyjnego uzyskanego w czasie prac rozpoznawczych na złożu siarki w Machowie, autorzy rozpatrzyli na tle zmienności złoża zagadnienie reprezentacyjności jego rozpoznania i niektóre aspekty metodyki prac rozpoznawczych.

Złoże zostało rozpoznane regularną siatką otworów wiertniczych w kat. C₂, C₁ i B. Złoże tworzy pokład osiarkowanych wapieni i lokalnie margli oraz ilów górnego tortonu. Strop stanowią utwory margliste i ilaste (margle pektenowe oraz ily krakowieckie) zaliczane do górnego tortonu i sarmatu, zaś spąg piaski i lokalnie piaskowce (warstwy baranowskie) tortonu dolnego. W tych utworach spagowych spotyka się niekiedy nieregularne osiarkowanie, nie przedstawiające jednak wartości przemysłowej. Za złożo uważane są osiarkowane wapienie, margle oraz ily, gdy miąższość ich jest większa od 0,5 m, a zawartość siarki przekracza 5%. Złoże zapada pod kątem 3—5° ku SE (ryc. 1).

Miąższość złoża (*m*), procentowa zawartość siarki (*p*) jak i wydajność siarki z 1 m² powierzchni złoża (*q*) są zmienne. Między parametrami *m* i *p* nie można zaobserwować określonej kierunkowości w zmianach miąższości, zawartości siarki i wydajności. Z analizy map izolinii, jak również z analizy przekrojów wynika, że zmienność poszczególnych parametrów ma charakter asytuacyjny (2), zatem wyniki wierceń można traktować jako niezależne, zmienne, losowe. Spełniony jest więc podstawowy warunek dla stosowania metod statystycznych.

Wyniki wierceń w kat. B posłużyły do zestawienia krzywych rozkładu dla miąższości, procentowej zawartości siarki i wydajności siarki z 1 m² powierzchni złoża (ryc. 2a, b, c). Zawartość siarki *p* w otworze obliczano wzorem [1] jako średnią ważoną

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n a_i p_i}{m} \quad [1]$$

gdzie *a_i* — długość kolejnego opróbowywanego odcinka rdzenia,

p_i — zawartość siarki w opróbowywanym odcinku rdzenia,

m — miąższość złoża w danym otworze.

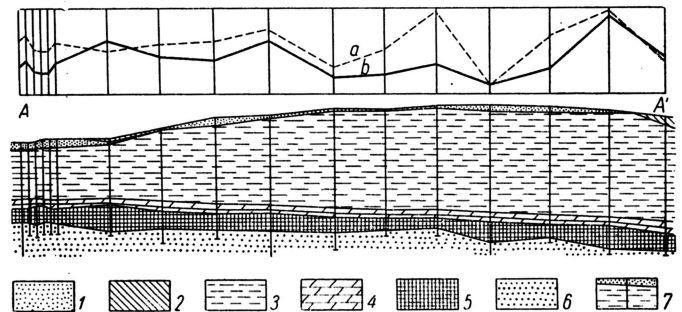
Wydajność określono wzorem $q = m \cdot p \cdot \gamma$, przy przyjęciu stałego ciężaru objętościowego $\gamma = 2,26 \text{ t/m}^3$.

Krzywe rozkładu dla *m* i *p* są zbliżone do normalnej (kontrolę przeprowadzono na siatce probabilistyczno-regularnej). W przedziale $\pm 2s$ znajduje się odpowiednio 95% i 94% obserwacji. Krzywa dla *q* wykazuje skośność dodatnią.

Dla poszczególnych partii złoża, jak i całości jego obszaru rozpoznanego w poszczególnych kategoriach obliczono współczynniki (wskaźniki) zmienności,

$$v = \frac{s_x}{\bar{x}} 100\% \quad [2]$$

gdzie \bar{x} — wartość średnia parametru,
s_x — średnie odchylenie (*x* dla miąższości złoża, zawartości siarki lub wydajności siarki z 1 m² powierzchni złoża).

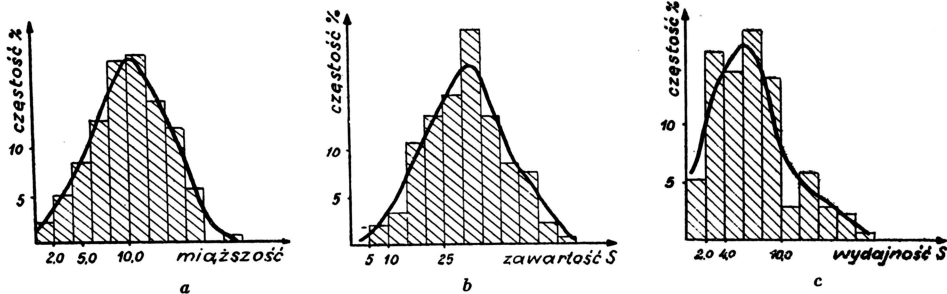


Ryc. 1. Przekrój przez złożo.

Czwartorzęd: 1 — piaski, 2 — gliny, miocen, 3 — ily krakowieckie, 4 — margle pektenowe, 5 — złożo, 6 — piaski baranowskie, 7 — otwory wiertnicze. a — procentowa zawartość siarki, b — wydajność siarki z 1 m² powierzchni złoża.

Fig. 1. Cross section through the deposit.

Quaternary: 1 — sands, 2 — tills, Miocene, 3 — Krakowice clays, 4 — Pecten marls, 5 — deposit, 6 — Baranów sands, 7 — bore holes. a — percentage contents of sulphur, b — sulphur productivity on 1 m² of the deposit



Ryc. 2. Histogramy i wyrównane krzywe rozkładu: a — dla miąższości, b — dla procentowej zawartości siarki, c — dla wydajności siarki.

Fig. 2. Histograms and levelled curves of distribution: a — for the thickness, b — for the percentage contents of sulphur, c — for the sulphur productivity.

Tabela I

ZESTAWIENIE WSPÓLCZYNNIKÓW ZMIENNOŚCI PARAMETRÓW ZŁOŻOWYCH DLA CAŁOŚCI ZŁOŻA

Kategoria rozpoznania	Ilość otworów	v_m	v_p	v_q
C ₂	29	55,0	40,4	66,9
C ₁	49	44,3	35,6	54,9
B	142	38,5	33,8	55,6

Tabela III

ZESTAWIENIE WSPÓLCZYNNIKÓW ZMIENNOŚCI PARAMETRÓW ZŁOŻOWYCH CZĘŚCI ZŁOŻA ROZPOZNANEJ REGULARNIE ZAGĘSZCZONĄ SIATKĄ WIERCEŃ

Kategoria	n	v_m	v_p	v_q
C ₂	12	58,7	47,9	74,0
C ₁	34	38,8	32,6	54,6
B	115	34,0	35,05	53,1

Tabela II

ZESTAWIENIE WSPÓLCZYNNIKÓW ZMIENNOŚCI PARAMETRÓW ZŁOŻOWYCH DLA POSZCZEGÓLNYCH CZĘŚCI ZŁOŻA ROZPOZNANYCH W RÓŻNYCH KATEGORIACH

Kategoria	n	v_m	v_p	v_q
C ₂	20	52,7	57,0	64,8
C ₂	12	53,3	38,2	62,9
C ₁	21	44,2	41,9	54,6
C ₁	21	43,4	35,0	62,7
C ₁	21	49,1	33,9	58,3
B	54	33,3	26,8	44,7
B	53	28,0	37,2	48,0

Tabela IV

Złoże	Kategoria	n	v_m	v_p	v_q
Piaseczno	C ₂	10	56,7	33,8	
Piaseczno	C ₁	13	52,2	28,5	
Piaseczno	B	51	45,9	26,2	
Piaseczno	A	155	38,6	28,2	
Grzybów	C ₂	17	51,7	35,6	69,1

Niektóre wyniki zestawiono przykładowo w tabl. I i II. Ponadto wykonano obliczenia v dla części złoza rozpoznanej regularnie zagęszczoną siatką wierceń we wszystkich trzech kategoriach (C₂ C₁ i B), (tab. III).

Dla porównania w tab. IV przytoczono wartości v dla złoza w piasecznie (wg J. Piątkowskiego — 5) i w Grzybowie.

Z przedstawionych powyżej zestawień wynika, że zmienność oceniana na podstawie rzadkiej siatki wierceń w kat. C₂ jest większa niż oceniana na podstawie wyników wierceń rozpoznawczych w siatce zagęszczonej. W przypadku rozpatrywanego złoza jest to spowodowane znacznym wpływem w kat. C₂ otworów usytuowanych w brzeźnych partiach złoza, gdzie następuje jego wyklinowanie i gdzie staje się ono uboższe. Jak wielki jest ten wpływ przekonano się obliczając wartości v po odrzuceniu otworów brzeźnych. Wyniki zestawiono w tab. V.

Wpływ otworów brzeźnych znajduje również wyraz w wielkości wartości średnich poszczególnych parametrów, które oceniane na podstawie wyników wierceń w kat. C₂ są niższe od pozostałych (tab. VI).

W wyższych kategoriach wpływ otworów brzeźnych staje się coraz mniejszy. Na małych obszarach rozpoznanych gęstą siatką otworów (kat. B) zmienność jest niższa niż na dużych obszarach.

Wartości współczynników zmienności poszczególnych parametrów określone dla różnych obszarów złoza są na ogół zbliżone. Wahania spowodowane są lokalnym zróżnicowaniem mineralizacji i budowy złoza. Złoże odznacza się stosunkowo równomierną mineralizacją. Zmienność miąższości jest większa niż zmienność zawartości siarki. Również $v_q > v_m > v_p$.

Podobne wartości v do obliczonych podaje A.I. Otrzeszko (4) dla złożeń środkowowolżańskich, mających zbliżoną budowę geologiczną i genezę podobną do opisywanych. Jedynie dla niektórych, zwłaszcza małych złożeń, otrzymywał wartości v_m znacznie wyższe 80–150%. Również i dla tych złożeń $v_m > v_p$.

Na podstawie znanych wartości v można określić przedział ufności dla każdej z estymowanych wartości średnich wyrażony w procentach wartości średniej parametru złożowego posługując się wzorem

$$m = \frac{ts_x}{x\sqrt{n}} \cdot 100\% = \frac{tv}{\sqrt{n}}\% \quad [3]$$

gdzie t — statystyka Studenta,
 n — ilość obserwacji,
 m — tolerancja (błąd względny),

a pozostałe oznaczenia jak we wzorze [2]. Wartości m obliczone na poziomie ufności (z prawdopodobieństwem) 0,95 dla poszczególnych parametrów złoza w Machowie przedstawiono w tab. VII.

Tak więc dla części złoza udokumentowanej w kat. B wartości średnie poszczególnych parametrów obliczone zostały z dokładnościami odpowiednimi dla miąższości $\pm 6,5\%$, dla $p \pm 5,6\%$, dla $q \pm 9,3\%$. (Dla przykładu obliczono średnią miąższość 10 m. Zatem przy dokładności $\pm 6,5\%$ rzeczywista średnia miąższość zawierać się będzie w prawdopodobieństwie 0,95 w granicach od 9,35 do 10,65. Istnieje prawdopodobieństwo 0,05, że miąższość ta jest mniejsza od 9,35 lub większa od 10,65. Przedział od 9,35 do 10,65 jest właśnie przedziałem ufności.) W przypadku wydajności przedział ufności musi być traktowany z pewną rezerwą, gdyż rozkład wydajności nie jest normalny.

WPLYW OTWORÓW BRZEŻNYCH
NA WYNIK OBLICZENIA V

Kategoria	n	v _m	v _p	v _q	
C ₂	16	57,9	42,3	69,5	z otworami brzeżnymi bez otworów brzeżnych
C ₂	12	37,9	31,7	52,2	

Tabela VI

PORÓWNANIE WARTOŚCI ŚREDNICH *
PARAMETRÓW ZŁOŻOWYCH OBLICZONYCH NA
PODSTAWIE WYNIKÓW WIERCEŃ W RÓŻNYCH
KATEGORIACH NA TYM SAMYM OBSZARZE

Kategoria	\bar{m}	\bar{p}	\bar{q}
C ₂	89,2	71,3	64,9
C ₁	95,9	88,3	85,8
B	100,0	100,0	100,0

* W jednostkach umownych.

Dla charakterystyki reprezentacyjności rozpoznania złoża konieczne jest przyjęcie pewnych założeń wstępnych, jak: 1) poziom ufności, 2) tolerancja. Poziom ufności przyjmuje się zazwyczaj = 0,95 (możliwość błędnej oceny w sensie otrzymania wyniku poza przedziałem ufności w 5 przypadkach na 100), który zdaniem wielu badaczy w praktyce geologicznych prac rozpoznawczych jest wystarczający (2), a jednocześnie możliwy do przyjęcia z punktu widzenia kosztów rozpoznania złoża.

Wielkość tolerancji (*m*) dopuszczalnej w danej kategorii poznania złoża nie jest jeszcze definitywnie ustalona. Jej wartość może wynikać czy to z rozważań natury ekonomicznej, czy z określenia „ryzyka górnictwa” (podobnie zresztą jak i poziom ufności). R. Krajewski (2) proponuje dla *m* wartości następujące: kat. C₂ – 40%, C₁ – 25%, B – 15%, A – 10%. Zbliżone wartości proponują również i inni autorzy (2).

Jeśli znamy wartość *v* i przyjmiemy odpowiednie *m*, to możemy określić ilość otworów niezbędnych do rozpoznania złoża w danej kategorii:

$$n = \frac{t^2 v^2}{m^2} \quad [4]$$

przy danym poziomie ufności.

W tab. VIII zestawiono wyniki tych obliczeń przyjmując za *m* wartości według R. Krajewskiego i średni współczynnik zmienności wydajności *v_q* = 55%. Za podstawę obliczeń przyjęto *v_q*, gdyż zagadnienie dokładności wyznaczenia średniej wartości *q* pokrywa się z zagadnieniem dokładności ustalenia zasobów (J. Burzyński, J. Piątkowski, M. Nieć). Ponieważ *v_q* > *v_m* > *v_p*, obliczona ilość wierceń jest wystarczająca również dla wyznaczenia wartości średnich pozostałych parametrów (przy założonym poziomie ufności i tolerancji). Ilość otworów niezbędnych do rozpoznania złoża obliczona przy powyższych założeniach okazuje się znacznie mniejsza od ilości otworów odwierconych.

Wartość *n* wyznaczona metodą statystyczną nie zależy od wielkości badanego obszaru. Tak więc taka sama ilość otworów jest niezbędna dla udokumentowania* całości złoża jak i jego fragmentu. Udokumentowanie złoża np. w kat. B na całym obszarze nie jest równoznaczne z udokumentowaniem w tej kategorii jego fragmentu. Na tym ostatnim, jeżeli ilość otworów będzie zbyt niska złoża może być udokumentowane w kategorii niższej. Jeśli dla udokumentowania całości złoża w kat. B wystarcza 54 otwory (*m* = 15%, *v* = 55%),

* Przez „udokumentowanie” rozumiemy tu wyznaczenie wartości średnich poszczególnych parametrów, jak również ustalenie zasobów.

Tabela VII

Kategoria	n	m _m	m _p	m _q
C ₂	29	21,0	15,4	25,5
C ₁	49	12,6	10,2	15,7
B	142	6,5	5,6	9,3

Tabela VIII

IŁOŚĆ OTWORÓW NIEZBĘDNA
DLA ROZPOZNANIA ZŁOŻA

Kategoria	m %	Ilość otworów	
		niezbędna	rzeczywista
C ₂	40	ok. 11	29
C ₁	25	20	49
B	15	54	142
A	10	121	

to złoża na obszarze, na którym znajdują się tylko 32 otwory, jest udokumentowane tylko w kat. C₁.

To na pozór paradoksalne zjawisko ma poważne konsekwencje praktyczne. O ile na całym obszarze możemy zagwarantować z żadaną dokładnością i prawdopodobieństwem pewne wyliczone zasoby, to w obszarze z 32 otworami wyliczone dlań zasoby na podstawie istniejących wyrobisk nie mogą być zagwarantowane w ten sposób. Konsekwencje tego paradoksu w dziedzinie planowania produkcji mogą być bardzo poważne. Wypływa stąd konieczność sprecyzowania wielkości obszaru, na którym z określoną tolerancją i na określonym poziomie ufności mają być zagwarantowane zasoby zabezpieczające planową produkcję w jednostce czasu (2, 6).

Obliczenie wartości *n* opiera się na znajomości współczynnika zmienności. Wartości *v* obliczone na podstawie siatki otworów w kat. C₂ są wyższe niż w rzeczywistości. Tak więc obliczone w tym przypadku wartości *n* wymagają korekty po odwierceniu dalszych otworów.

LITERATURA

1. Krajewski R. — Z badań nad wskaźnikiem zmienności polskich złóż kruszcowych. Zesz. Nauk. AGH, Geologia z. 1, 1956.
2. Krajewski R. — Określenie zmienności złoża i stopnia rozpoznania zasobów metodą rachunku statystycznego. Prace IG, t. XXX, cz. III, Warszawa 1962.
3. Nieć M. — Analiza statystyczna złóż miedzi na Monoklinie Przedsudeckiej. Rudy, Metale. 1964, 6.
4. Otreszko A. I. — Razwiedoczna siećka i dostawność burowej razwiedki średniowolżskich siernych miastorożdienij. Trudy GIGChS. Wyp. 6. Samorodnaja siera. Moskwa 1960.
5. Piątkowski J. — Ustalenie kryteriów opróbowania złoża siarki w Tarnobrzegu. Maszynopis. Kat. Geologii Kopalnianej AGH, Kraków 1961.
6. Wacławski M. — Analiza gęstości rozpoznawczej sieci otworów wyprzedzających w złożu siarki w Piasecznie. Techn. posz. 1963, nr 7.

SUMMARY

The article deals with the outstanding problem comprising the statistic analysis of geological facts recorded during the reconnaissance works on the deposit. Basing on the rich observation material gathered at the time of reconnaissance works conducted on the sulphur deposit at Machów, the present authors discuss the variability of the deposit and consider the

value of its recognition as well as analyse some aspects of reconnaissance work methods. The deposit was recognized by means of a regular network of bore holes in the categories C_2 , C_1 and B.

Р Е З Ю М Е

В статье рассматриваются проблемы статистического анализа геологических данных, отмеченных

во время разведывания месторождения. На основании богатого фактического материала полученного при разведке месторождения серы в местности Махув авторы обсуждают проблемы представительности разведки при данной изменчивости месторождения, а также рассматривают некоторые вопросы, связанные с методикой разведочных работ. Месторождение было разведано при помощи регулярной сети буровых скважин в категориях C_2 , C_1 и B.