

JANUSZ FRYDECKI  
Instytut Geologiczny

## PROBLEMY INTERPRETACJI I WYKORZYSTANIA MATERIAŁÓW GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

UKD 550.832.05(430+100) „312”

Śród metod badań geofizycznych stosowanych w poszukiwaniach surowców mineralnych w ostatnich latach najszybciej rozwijają się metody geofizyki wiertniczej. Najstarszą tradycję ma zastosowanie badań geofizycznych w otworach wierconych dla potrzeb poszukiwań złóż ropy i gazu ziemnego. Metodyka badań skał zbiornikowych i otaczających (uszczelniających) jest w zasadzie opracowana do najdrobniejszych szczegółów i pomimo że nie zawsze istnieją możliwości sprawdzenia wyników interpretacji, materiały geofizyki wiertniczej stanowią podstawę wyszukiwania w profilach otworów interwałów perspektywicznych i ich oceny zbiornikowej. Określenie profilu litologicznego otworu, a nawet (przez korelację) stratygraficznego, jest obecnie prawie niemożliwe bez zastosowania i wykorzystania badań geofizycznych. Stopień wykorzystania wyników badań geofizyki wiertniczej jest zależny od poziomu technicznego zakresu dokładności i standaryzacji tych badań.

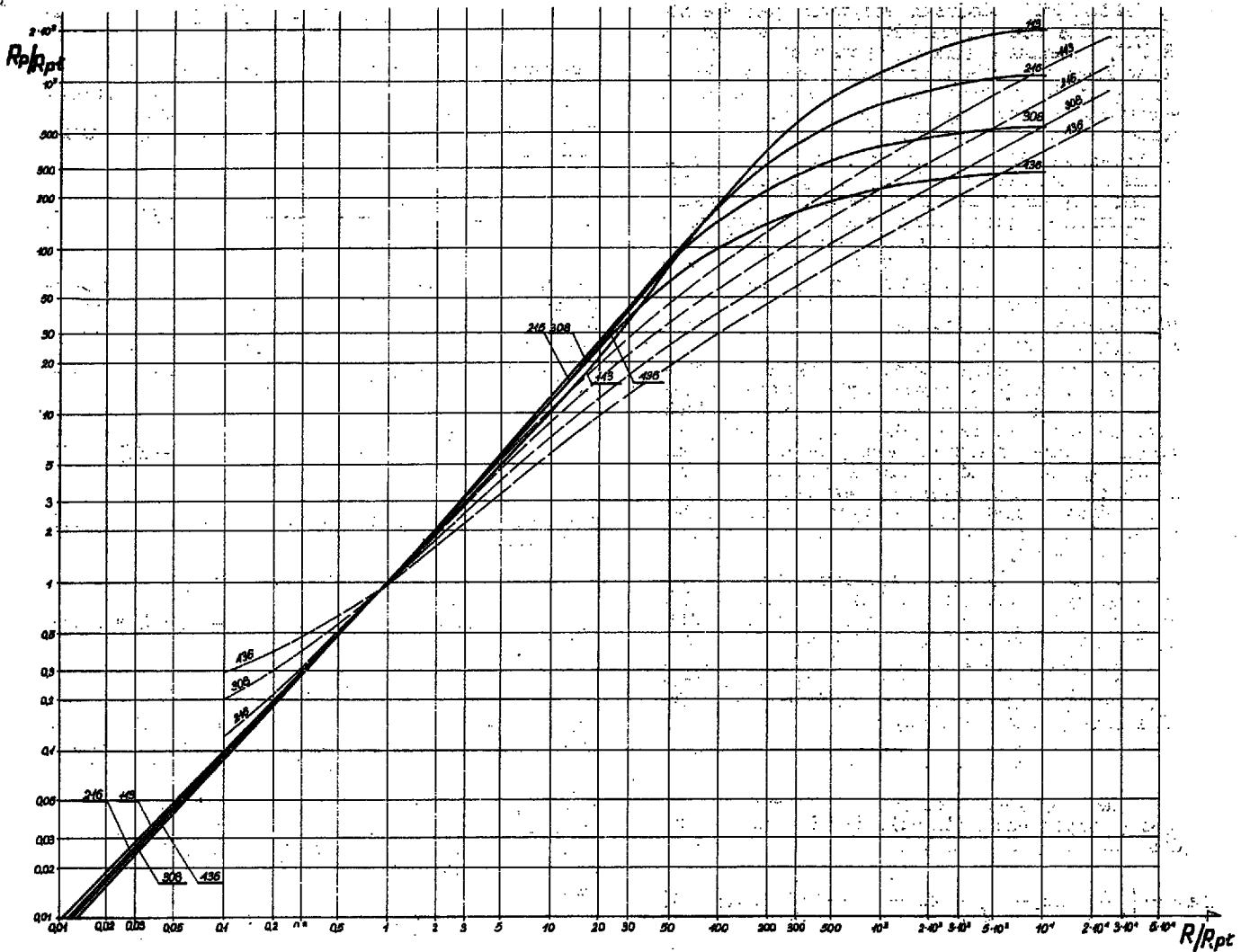
Ostatnie prace geofizyków firmy Schlumberger (5) prowadzące do określania procentowego składników litologicznych lub mineralnych skał, tworzących badany profil otworu, oraz charakterystyki struktury, nasycenia itp., co najmniej dorównują klasycznym metodom prac geologicznych wykorzystujących rdzeń wiertniczy.

Ten postęp rzutuje również na metodykę badań dla potrzeb poszukiwań i dokumentowania złóż surowców mineralnych stałych. Tu zastosowania metod geofizycznych ze względu na nieruchliwość minerałów są łatwiejsze, przy czym mniejsze głębokości otworów wierconych dla tych celów nie stwarzają tak dużych trudności natury technicznej, jak w przypadku głębokich otworów. Dotychczasowa tradycja dokumentowania złóż tych surowców umożliwiła zgromadzenie olbrzymiego materiału porównawczego w postaci wyników rdzeniowania (z reguły 100-procentowego w

seriach złożowych), który może posłużyć do opracowania metodyki badań i interpretacji ich wyników. Stąd też uzyskiwane efekty interpretacji są łatwo porównywalne, a różnice między wynikami interpretacji geofizycznej i badań rdzenia wiertniczego występują z reguły przy mniejszych, niepełnych uzyskach rdzenia. Przegląd najnowszych prac zagranicznych z tej dziedziny czytelnik znajdzie w szeregu ostatnich kolejnych numerów „Geologii za Granicą” (nr 1—2, 1971).

Wyniki prowadzonych w Polsce prac z zakresu geofizyki wiertniczej są znacznie skromniejsze ze względu na niedostateczne wyposażenie w aparaturę badawczą. W badaniach geofizycznych wykonywanych dla potrzeb Instytutu Geologicznego widoczny jest już jednak znaczny postęp zarówno w jakości, zakresie tych badań, jak i wykorzystywaniu ich wyników. Poczynając od 1969 r. wszystkie wyniki badań są szczegółowo interpretowane i odbiorca tych badań — geolog — oprócz diagramów pomiarowych otrzymuje szczegółowy profil litologiczny lub litostratygraficzny oraz wskazówki, co do spodziewanej produktywności poszczególnych warstw czy poziomów.

Powiększono liczbę cykli pomiarowych w otworach strukturalno-parametrycznych, z uwagi na celowość jak najszybszego badania ewentualnego zbiornika po jego przewierceniu, zmniejszając odcinki pomiarowe do 300 m, w interwałach perspektywicznych zaś nawet do 50 m. Liczba cykli pomiarowych jest regulowana w sposób elastyczny w zależności od potrzeb. Wprowadzono zasadę decydowania o kompleksie pomiarowym bezpośrednio na wiertni podczas wykonywania badań. Decyzje takie podejmują wspólnie geofizyk i geolog obecni przy badaniach. Oni też interpretują natychmiast uzyskiwane dane, aby nie zaprzepaścić szansy odkrycia najbardziej perspektywicznych poziomów, a także, aby badać profil otworu w sposób optymalny.



Ryc. 1. Uproszczone krzywe korekcyjne oporności — poprawki na wpływ płuczki i średnicy otworu wiertniczego dla sond B2.5AO.25M (krzywe przerywane) i M2.5AO.25B (krzywe ciągłe). Moduł krzywych — średnica otworu.

Fig. 1. Simplified correction curves of resistivity logs — correction for the effect of mud and diameter of drilling hole for B2.5AO.25M sonde (broken lines) and M2.5AO.25B sonde (continuous lines). Modulus of curves — drilling hole diameter.

Aby umożliwić właściwe wykorzystanie wyników badań geofizycznych do ogólnych celów podstawowych we wszystkich otworach strukturalno-parametrycznych IG obowiązuje minimalny kompleks „badań podstawowych”, wykonywanych w sposób identyczny: co zapewnia możliwość porównań i korelacji. Należą do nich badania elektryczne (PO sondami M2.5AO.25B, B2.5AO.25M, PS i pomiar oporności płuczki), radiometryczne (PG i PNG), akustyczne (PA) oraz PK, PŚr i pomiar temperatury dna odwiertu. Przewidziano tu także przyszłościowo PUw, obecnie jednak nie wykonywane ze względu na brak w Polsce odpowiedniej aparatury. Niektóre z tych pomiarów (PŚr, PS, PO sondą M2.5AO.25B), są wielokrotnie powtarzane, przy czym wykonuje się je za każdym razem na odcinku od aktualnego spodu otworu aż do buta rur. Umożliwia to przesłedzenie mechanicznej zmienności w czasie ścian otworu (PŚr), a także zmienności elektrycznej spowodowanej procesem filtracji i zmianami parametrów płuczki\*.

Co do profilowań oporności obiema sondami, wykonywanych w ramach badań podstawowych, należy zauważyć, że wydzielenie interesujących warstw i po-

ziomów następuje niejednokrotnie na podstawie porównania oporności właściwej strefy nienaruszonej i ewentualnie strefy filtracji, co uzyskuje się przez interpretację tych oporności z SO lub PO wykonanego sondami o różnym zasięgu\*\*. Przed kilku laty przemysł naftowy wprowadził tzw. SOpg (lub SOu) za pomocą trzech sond o wymiarach anglosaskich; do których istniały nomogramy interpretacyjne firm zachodnich. W kompleksie podstawowym, wprowadzonym dla potrzeb IG, przyjęto najdawniej i najczęściej stosowane rozstawy sond (aby umożliwić korelację z wynikami dawnych badań otworów; sondy te mają układ wymiarowy metryczny, co ułatwia ich stosowanie). Dla celów interpretacji autor opracował nomogram, analogiczny do nomogramów zachodnich, umożliwiający szybko wprowadzanie poprawki na wpływ płuczki i średnicy otworu dla obu podstawowych sond (ryc. 1). Interpretację — korekcję przeprowadza się w sposób analogiczny do wykonywanej za pomocą nomogramów B-2 i B-4 (18). Krzywe ciągłe dotyczą sondy M2.5AO.25B, krzywe przerywane —

\* W czasie przygotowania do druku kompleks badań podstawowych uległ modyfikacji. W miejsce PNG wprowadzone PNNt oraz dodatkowo PGGg (przyp. aut.).

\*\* W czasie przygotowywania artykułu do druku Instytut Geologiczny wprowadził tzw. metodę ilorazową POst/mPOst, która w zasadzie obowiązuje we wszystkich otworach głębokich IG. W sprzyjających warunkach daje ona obraz zbliżony do tzw. „wykresu ruchomej ropy” (przyp. aut.).

sondy B2.5AO.25M. Modułem krzywych jest średnica otworu. Dla obu przypadków oblicza się stosunek  $Rp/Rp_i^{***}$ , następnie odcina się tę wartość na osi pionowej wykresu i rzutuje poziomo do przecięcia z krzywą ciągłą (sonda gradientowa) lub przerywaną (sonda potencjałowa) odpowiadającą danej średnicy. Na osi poziomej odczytuje się wartość  $R/Rp_i$ .

W badaniach IG końcowe opróbowanie otworów strukturalno-parametrycznych, np. za pomocą perforacji, jest programowane na podstawie danych geofizyki wiertniczej, przy uwzględnieniu oczywiście i wszelkich innych przesłanek. Wszystkie głębokie otwory, ukończone w 1969 r. i później, miały opracowane projekty opróbowania głównie na podstawie danych geofizyki wiertniczej. W ich opracowaniu brali udział geofizycy IG i interpretatorzy z przedsiębiorstw wykonujących badania.

Zarówno interpretacje odcinkowe, jak też projekty prób i dokumentacje końcowe, wykonywane po zakończeniu głębienia i badania otworów, mają jednak praktycznie nadal charakter jakościowy. Wykonuje się oczywiście również interpretacje mające na celu ocenę ilościową, np. porowatości, zailenia, nasycenia wodą, jednak aktualny stan fizycznego regionalnego rozpoznania badanych skał zbiornikowych i uszczelniających jest zbyt skromny, aby mógł stanowić podstawę do interpretacji ilościowej.

Dla niektórych podstawowych związków i zależności, wiążących parametry zbiornikowe skał z ich własnościami fizycznymi (12), przedstawiono niżej ocenę błędów przeprowadzoną pod kątem błędu maksymalnego. Zastosowano tu wzór Taylora, w którym błąd bezwzględny funkcji równa się błędowi mierzonej wielkości pomnożonemu przez pochodną tej funkcji. Dla funkcji wielu zmiennych:

$$A = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad [1]$$

wykorzystano do oceny błędów różniczkę zupełną  $dA$ , zastępując odpowiednio różniczki  $dA$ ,  $dx_1$ ,  $dx_2$ , ...,  $dx_n$  błędami  $\Delta A$ ,  $\Delta x_1$ ,  $\Delta x_2$ , ...,  $\Delta x_n$ :

$$\Delta A = \pm \left( \left| \frac{\partial f}{\partial x_1} \right| \Delta x_1 + \left| \frac{\partial f}{\partial x_2} \right| \Delta x_2 + \dots + \left| \frac{\partial f}{\partial x_n} \right| \Delta x_n \right) \quad [2]$$

Oczywiście, jak widać, uzyska się w ten sposób błąd maksymalny w najbardziej niekorzystnych układach, gdyż realnie błędy cząstkowe będą się częściowo znosić dzięki przypadkowej różnicy znaków, co bliżej nie jest możliwe do przewidzenia.

Podstawowe znaczenie ma obecnie w radiometrii różnicowej parametr względnego natężenia  $dI$ , który oparty jest na dwóch wzorcowych reperach jako poziomach odniesienia i poziomach redukcji tła:

$$dI = \frac{I - I_1}{I_2 - I_1} \quad [3]$$

Różniczkując ten wzór otrzymamy:

$$\Delta dI = \frac{1}{I_2 - I_1} \Delta I + \frac{I_2 - I_1}{(I_2 - I_1)^2} \Delta I_1 + \frac{I - I_1}{(I_2 - I_1)^2} \Delta I_2 \quad [4]$$

Przekształcając równanie [4] ze względu na  $dI$  otrzymamy:

$$\Delta dI = \frac{\Delta I_1}{I_2 - I_1} + \frac{\Delta I}{I_2 - I_1} + \frac{\Delta I_2 - \Delta I_1}{I_2 - I_1} \cdot dI \quad [5]$$

Te trzy składniki równania zależą w różny sposób od  $dI$  (zob. ryc. 2). Składnik pierwszy jest niezależny od  $dI$  i zachowuje swą wartość w całym przedziale zmienności  $dI$ . Składnik drugi poprzez wartość  $\Delta I$ , zależną od  $I$ , zmienia się w miarę zmian  $dI$  w sposób nieliniowy, gdyż:

\*\*\*) Oznaczenia według J. Frydeckiego (9).

$$\Delta I \approx \sqrt{I} = \sqrt{I_1 + dI(I_2 - I_1)} \quad [6]$$

Składnik trzeci zmienia się liniowo wraz z  $dI$ .

Ryc. 2 ilustruje zmiany poszczególnych składników w funkcji  $dI$ , zmianę błędu całkowitego w funkcji  $dI$ , według wzoru [5] oraz przybliżenie liniowe tych ostatnich zmian w postaci wzoru:

$$\Delta dI = \frac{2\Delta I_1}{I_2 - I_1} + \frac{2(\Delta I_2 - \Delta I_1)}{I_2 - I_1} \cdot dI \quad [7]$$

którego wykorzystanie jest tu najprostsze. Równanie [7] ma całkowicie charakter liniowy typu  $y = a + bx$ . Miejsce występowania największej różnicy wartości obliczonych z wzoru [7] i [5] określono przez przyrównanie do zera pochodnej [5] względem  $dI$ . Wielkość tego odchylenia  $\xi$  ma postać:

$$\xi = \frac{2}{I_2 - I_1} [(1 - dI) \Delta I_1 + dI \cdot \Delta I_2 - \Delta I] \quad [8]$$

Dla założonych wartości typowych dla PG:  $I_1 = 400$ ;  $I_2 = 2500$ ; otrzymano:

$$\xi_{max} = 0,00153 \text{ przy } dI = 0,393$$

oraz dla typowych wartości PNG:  $I_1 = 900$ ;  $I_2 = 16900$ ; otrzymano:

$$\xi_{max} = 0,000975 \text{ przy } dI = 0,344$$

Stąd wynika wniosek, że maksymalne odchylenie  $\xi$  ma znikomo małą wartość dlatego wystarczy określenie błędu według wzoru liniowego [7]. Jak widać z przytoczonych rozważań nie można tu podać generalnego błędu względnego w procentach z uwagi na typ zmienności błędu bezwzględnego. Obliczono tu przedział wielkości błędu dla założonych wyżej wartości  $I_1$  i  $I_2$ . W przypadku PG błąd zmienia się w granicach:

$$0,019 \leq \Delta dI_g \leq 0,048$$

$$\text{przy } 400 \leq I_g \leq 2500$$

oraz w przypadku PNG:

$$0,0038 \leq \Delta dI_{ng} \leq 0,016$$

$$\text{przy } 900 \leq I_{ng} \leq 16900$$

Z przytoczonych liczb wynika, że wpływ wielkości różnicy  $I_2 - I_1$  decyduje w sposób bardzo istotny o wielkości błędów. W miarę wzrostu tej różnicy wielkość błędu bardzo szybko maleje. Wynika stąd wniosek o konieczności przyjmowania do określenia parametru  $dI$  możliwie najszerszej bazy.

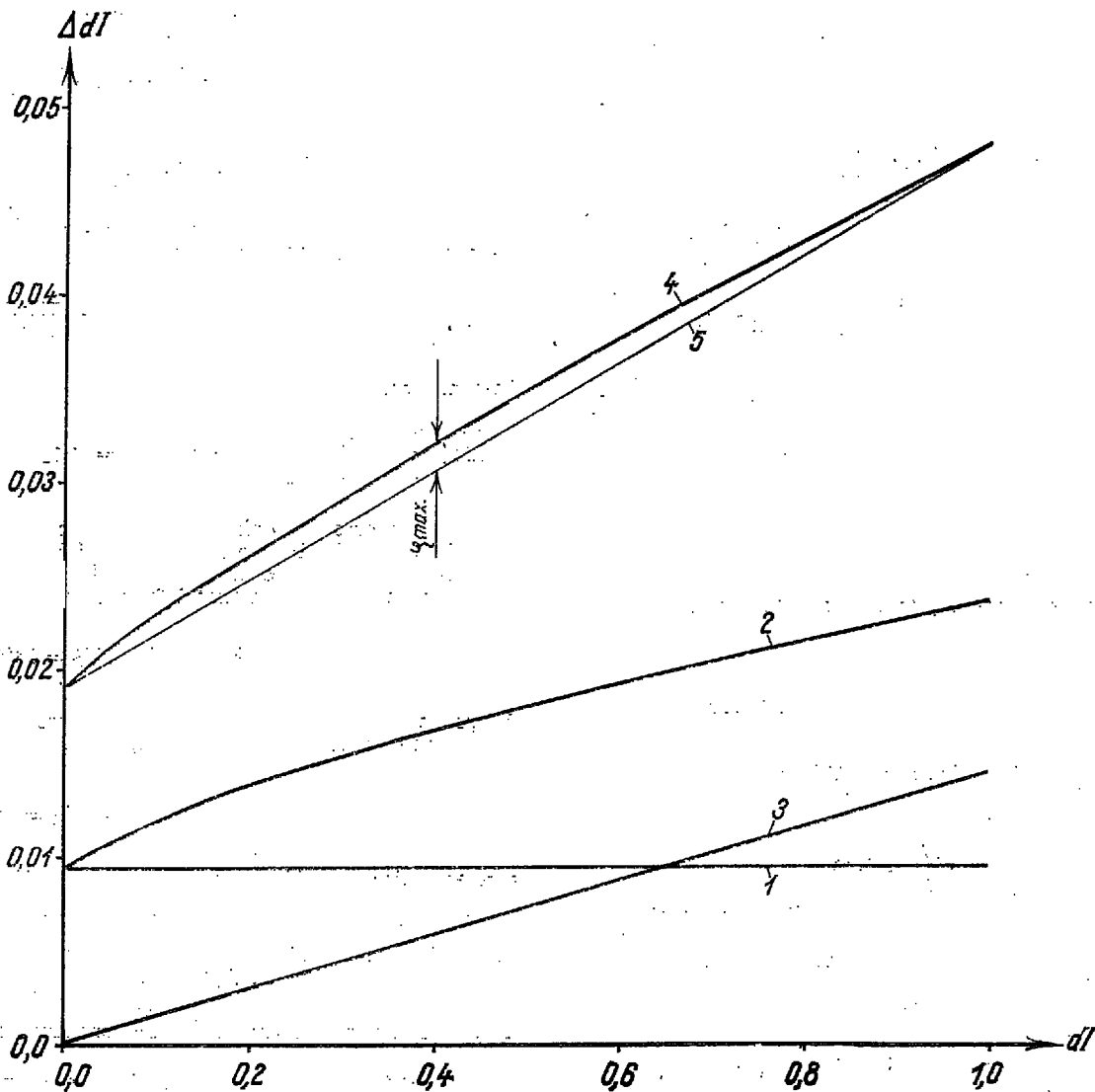
Badania radiometryczne PG stosuje się najczęściej do określania koncentracji minerałów promieniotwórczych bądź materiału elastego  $C_i$ . Wzór podstawowy dla obydwu przypadków jest analogiczny. Rozważono błąd określenia zailenia  $C_i$ :

$$k dI_g = C_i^k \quad [9]$$

Względny błąd określenia  $C_i$  obliczony metodą różniczkową wynosi:

$$\frac{\Delta C_i}{C_i} = \frac{1}{a} \cdot \frac{\Delta dI_g}{dI_g} + \frac{\Delta k}{k} + \frac{\Delta a}{a} \cdot \ln C_i \quad [10]$$

Obliczoną z równania [10] wielkość błędu  $C_i/C_i$  zanalizowano dla dwóch przypadków: gdy dokładne wielkości  $a$  i  $k$  nie są znane i określa się je na podstawie przesłanek jakościowych oraz gdy wartości te



Ryc. 2. Wpływ poszczególnych składników względnego parametru różnicowego  $dI$  na jego błąd.

Fig. 2. The effect of particular components of relative differential parameter,  $dI$ , on its error.

$$1 - \frac{\Delta I_1}{I_2 - I_1}; \quad 2 - \frac{\Delta I}{I_2 - I_1}; \quad 3 - \frac{\Delta I_2 - \Delta I_1}{I_2 - I_1} \cdot dI;$$

$$1 - \frac{\Delta I_1}{I_2 - I_1}; \quad 2 - \frac{\Delta I}{I_2 - I_1}; \quad 3 - \frac{\Delta I_2 - \Delta I_1}{I_2 - I_1} \cdot dI;$$

4 — błąd całkowity — wartość sumaryczna według wzoru [5]; 5 — przybliżenie liniowe błędu całkowitego ze wzoru [7].

4 — total error, summative value from the formula [5], 5 — linear approximation of total error calculated according to the formula [7].

są ustalone na podstawie badań laboratoryjnych. Przy założonych przykładowo danych:

Błąd jest więc bardzo wysoki i załnienie  $C_i$  zawiera się w granicach:

$$12\% \leq C_i \leq 100\%$$

W przypadku znajomości stałych regionalnych, przy błędach:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta k = 0,01 \\ \Delta \alpha = 0,01 \end{array} \right\} = >$$

$$\left. \right\} = > \frac{\Delta C_i}{C_i} = (0,060 + 0,011 + 0,0058) \cdot 100\% = 7,7\%;$$

W przypadku nieznanności stałych regionalnych otrzymujemy:

ostateczny wynik interpretacji wyniesie:

$$C_i = 0,56 \pm 0,04$$

A więc w tym przypadku załnienie  $C_i$  zawiera się w granicach:

$$52\% \leq C_i \leq 60\%$$

Tak więc przy tych samych danych wyjściowych błędy związane z wielkościami typu „tabelarycznego” mogą zaprzepaścić w ogóle wynik interpretacji.

$I_{g1} = 400$

$I_{g2} = 2500$

$I_g = 1700$

$$\left. \begin{array}{l} I_{g1} = 400 \\ I_{g2} = 2500 \\ I_g = 1700 \end{array} \right\} = > \left. \begin{array}{l} dI_g = 0,62 \\ k = 0,9 \\ \alpha = 1,0 \end{array} \right\} = > C_i = 0,56$$

W przypadku nieznanności stałych regionalnych otrzymujemy:

$\Delta k = 0,4$

$\Delta \alpha = 0,5$

$\Delta dI_g = 0,037$  (według wzoru [7]).

Zatem błąd względny wynosi:

$$\frac{\Delta C_i}{C_i} = (0,06 + 0,44 + 0,29) \cdot 100\% = 79\%$$

zaś ostateczny wynik interpretacji:

$$C_i = 0,56 \pm 0,44$$

Wyniki badań radiometrycznych wykorzystuje się do interpretacji porowatości, stosując zależność:

$$\Phi = w \left[ \left( \frac{\Phi_1}{w} \right)^{d \ln g} - C_i \right] \quad [11]$$

Bezwzględny błąd określenia  $\Phi$ , obliczony metodą różniczkową zupełną, wynosi:

$$\begin{aligned} \Delta \Phi = & \left[ \frac{\Phi}{w} - d \ln g \cdot \left( \frac{\Phi_1}{w} \right)^{d \ln g} \right] \Delta w + \\ & + d \ln g \left( \frac{\Phi_1}{w} \right)^{d \ln g - 1} \cdot \Delta \Phi_1 + w \cdot \Delta C_i + \\ & + w \left( \frac{\Phi}{w} \right)^{d \ln g} \cdot \ln \frac{\Phi_1}{w} \cdot \Delta d \ln g \end{aligned} \quad [12]$$

Przy założonych przykładowo danych:

$$\left. \begin{aligned} \ln g_1 &= 900 \\ \ln g_2 &= 16\,900 \\ \ln g &= 2\,500 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} d \ln g &= 0,10 \\ w &= 0,40 \\ \Phi_1 &= 0,025 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Phi = 0,08$$

$$\Delta d \ln g = 0,005 \quad C_i = 0,56$$

W przypadku nieznaności stałych regionalnych otrzymamy:

$$\begin{aligned} \Delta w &= 0,2 \\ \Delta \Phi_1 &= 0,025 \\ \Delta C_i &= 0,44 \quad (\text{z poprzedniego przykładu}). \end{aligned}$$

oraz wielkość błędu:

$$\Delta \Phi = 0,065 + 0,030 + 0,176 + 0,0042 = 0,275,$$

czyli

$$\frac{\Delta \Phi}{\Phi} = 344\%$$

Wynik analizy błędów dyskwalifikuje tu praktycznie wszelką interpretację. W przypadku znajomości stałych regionalnych mamy przykładowo do czynienia z błędami:

$$\begin{aligned} \Delta w &= 0,01 \\ \Delta \Phi_1 &= 0,001 \\ \Delta C_i &= 0,04 \quad (\text{z poprzedniego przykładu}). \\ \Delta \Phi &= 0,00325 + 0,00122 + 0,016 + 0,0042 = 0,0247, \end{aligned}$$

czyli

$$\frac{\Delta \Phi}{\Phi} = 30,8\%$$

Ostateczny wynik interpretacji:

$$\Phi = 0,08 \pm 0,025$$

czyli wynik mieści się w przedziale

$$5,5\% \leq \Phi \leq 10,5\%$$

Z przykładu widać, że wpływ błędu oceny zaillenia na wielkość obliczonego błędu całkowitego jest znaczny. W przypadku znajomości stałych regionalnych obliczone wyniki są dostatecznie dokładne. Przy większych wartościach  $\Phi$  i mniejszym zailleniu błąd znacznie maleje, np. dla  $\Phi = 20\%$ ,  $C_i = 10\%$  błąd względny  $\frac{\Delta \Phi}{\Phi}$  wynosi 9,6%, tj.

$$18,1\% \leq \Phi \leq 21,9\%$$

Z przedstawionych przykładów wynika wniosek, że ocena porowatości  $\Phi$  za pomocą metod radiometrii jest możliwa pod warunkiem prawidłowego doboru (a więc znajomości) regionalnych stałych charakterystycznych. W tym przypadku wpływ błędu popełnionego z racji zaillenia zbiornika na wielkość błędu sumarycznego jest znaczny. To stwierdzenie wyklucza możliwość stosowania interpretacji  $\Phi$  bez uwzględnienia zaillenia,  $C_i$ .

Jedną z najbardziej powszechnych metod interpretacji z zakresu elektrometrii jest metoda oceny mineralizacji (oporności) wody złożowej na podstawie danych uzyskanych z PS. Podstawowy wzór przedstawia się następująco:

$$EPS = -K_{ps} \lg \frac{R_f}{R_w} \quad [13]$$

Błąd względny wyniku interpretacji  $R_w$ , uzyskany metodą różniczkową zupełną, ma postać:

$$\frac{\Delta R_w}{R_w} = \frac{\Delta R_f}{R_f} + \ln \frac{R_f}{R_w} \left( \frac{\Delta EPS}{EPS} + \frac{\Delta K_{ps}}{K_{ps}} \right) \quad [14]$$

Założmy przykładowo wartości:

$$\left. \begin{aligned} EPS &= -140 \text{ mV} \\ K_{ps} &= 70 \text{ mV} \\ R_f &= 1 \Omega \text{ m} \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_w = 0,01 \Omega \text{ m}$$

Przy nieznanoci regionalnej  $K_{ps}$  można popełnić błąd  $\Delta K_{ps} = 20$ , błędy względne  $EPS$  i  $R_f$  zaś kształtują się na poziomie oceny dokładności pomiarowej i można je założyć w wysokości  $\sim 5\%$ . Stąd:

$$\frac{\Delta R_w}{R_w} = (0,05 + 0,23 + 1,32) \cdot 100\% = 160\%$$

W przypadku znajomości regionalnej wartości  $K_{ps}$  błąd odpowiednio maleje: dla  $\Delta K_{ps} = 1$

$$\frac{\Delta R_w}{R_w} = (0,05 + 0,23 + 0,066) \cdot 100\% = 35\%$$

a więc  $\Delta R_w = 0,0035 \Omega \text{ m}$ .

Przytoczony przykład obliczony dla przyjętej wartości jaskrawo uwidacznia w tym przypadku potrzebę rozpoznania regionalnego. W ogólnym bilansie błędu widać duży wpływ elementu związanego z  $\Delta EPS$ , który w iloczynie z  $\ln \frac{R_f}{R_w}$  znacznie zwiększa

ogólny błąd. Błąd wyraźnie maleje dla większych wartości  $R_w$ , a więc mniejszych mineralizacji: i tak dla  $R_w = 0,1$ :

$$\frac{\Delta R_w}{R_w} = 23\%$$

Należy też sądzić, że istnieje możliwość obniżenia wartości składowego błędu  $\Delta K_{ps}$  do mniejszej wartości niż 1 mV, co odpowiednio obniży błąd sumaryczny.

Istotne jest wykorzystanie elektrometrii do określania porowatości. Wzór podstawowy według Dachnowa ma postać:

$$F = \frac{a}{m} \quad [15]$$

gdzie:

$$F = \frac{R_{pw}}{R_w} \quad [16]$$

Błąd względny określony za pomocą różniczkowej zupełnej:

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{1}{m} \left( \Delta m \cdot \ln F + \frac{\Delta R_{pw}}{R_{pw}} + \frac{\Delta R_w}{R_w} + \frac{\Delta a}{a} \right) \quad [17]$$

Zakładając przykładowo wartości (przy nieznanoci stałych regionalnych), uzyska się wielkość błędów:

7. Desbrandes R. — Théorie et interpretation des diagraphies. Editions Technique, Paris, 1968.
8. Filippow E. M. — Прикладная ядерная геофизика. Москва, 1958.
9. Frydecki J. — Oznaczenia w geofizyce. wiertniczej. Prz. geol., 1968, nr 8.
10. Frydecki J. — Przyczynki metodyczne z zakresu geofizyki wiertniczej w aspekcie poszukiwań złóż bituminów. Ibidem, 1969, nr 4.
11. Frydecki J. — Wykorzystanie metody PNG do określenia porowatości wapieni jurajskich synklinorium warszawskiego. Geofiz. i Geol. naft. 1969, nr 10—11.
12. Frydecki J. — O związkach między własnościami zbiornikowymi i uszczelniającymi skał a ich parametrami geofizycznymi. Prz. geol., 1971, nr 11.
13. Goldajskij W. I., Kucenko Ł. W., Podgoreckij M. I. — Statistika otszotow pri registracji jadernych czastic. Fizmatgiz, Moskwa, 1959.
14. Gubierman S. A., Łarionow W. W., Cholina A. I. — Wozmożnosti ispolzowanija danych radiometrii skważyn dla ocenki poristosti porod. Radioaktywne izotopy i jaderne izluczenija w narodnom chozajstwie SSSR, Tr. Wsjes. so-wieszcz., Riga, 1960, IV. Gostoptiechizdat.
15. Gubierman Sz. A., Owczinnikowa M. I. — Niektoryje wozmożnosti ispolzowanija statistycznych charakteristik geologiczeskogo razrieza. Izw. AN SSSR, S. geofiziceskaja, nr 7, Izd. „Nauka”, Moskwa, 1964.
16. Hossin M. A. — Calcul des saturation en eau par la methode du ciment argileux (formule d'Archie generalise). Bull. Ass. franc. Techn. Pétrol. Mars., 1960.
17. Komarow S. G. i in. — Sprawocznik geofizika, t. II, Gostoptiechizdat, Moskwa, 1961.
18. Krzywe interpretacje firmy Schlumberger, Well Surveying Corporation, tłum. polskie — T. Rokosz, wyd. Geofizyka i Geol. naft. Kraków, 1966.
19. Kurtiew T. I. — Koliczestwiennaja intierpretacija rezultatow radiometriczskich issledowanij glinistych piezczannikow. Razwiedocznaja Geofizika, wyp. 23, Izd. Niedra, Moskwa, 1967.
20. Łarionow W. W. — Jaderная геоология i геофизика. Gostoptiechizdat, Moskwa, 1963.
21. Mitropolskij A. K. — Tiechnika statisticeskich wycislenij. Fizmatgiz., 1961.
22. Pierkow N. A. — Intierpretacija rezultatow karotaža skważyn. Gostoptiechizdat, Moskwa, 1963.
23. Pirson S. J. — Handbook of well log analysis for oil and gas formation evaluation. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New York, 1963.
24. Wendelsztejn B. Ju. — Albom nomogramm i paletok dla intierpretacji danych geofiziceskich metodow issledowanija skważyn. Gostoptiechizdat, Moskwa, 1963.
25. Wendelsztejn B. Ju., Łarionow W. W. — Ispolzowanije danych promyslowoj geofiziki pri podszczotie zapasow niefti i gaza. Niedra, Moskwa, 1964.

## SUMMARY

The author discusses application and use of geophysical borehole data in Poland on the background of recent developments in this discipline in other countries. Systems of reading of geophysical records and the surveys of deep boreholes are characterized. It is noted that remarkable progress was recently made in geophysical borehole surveying and in interpretation and use of geophysical data. At the same time, however, geophysical borehole survey in Poland is in some points backward in comparison with techniques and methods of interpretation applied in other countries. The analysis performed showed that it is necessary to accelerate development of this discipline in our country.

## РЕЗЮМЕ

Автор анализирует состояние каротажных работ и обработки их результатов в Польше в сопоставлении с мировыми достижениями в этой области. Рассматривается система интерпретации и проведения испытаний в глубинных скважинах. Отмечается значительный прогресс в производстве испытаний, а также в обработке и использовании материалов каротажа. Одновременно указываются существенные недостатки в сравнении с современным состоянием этой дисциплины знаний в мире. Проведенный анализ указывает на необходимость значительного повышения темпов развития каротажной геофизики в Польше.