

Andrzej SZCZERBA

## Zależność wskazań profilowania neutron-gamma PNG od porowatości dla wapieni malmu z centralnej części Niecki Nidziańskiej

Określenie współczynnika porowatości  $Kp^1$  jest jednym z podstawowych zagadnień geofizyki wiertniczej przy badaniu własności skał zbiornikowych. W przypadku PNG jest to możliwe dzięki istnieniu zależności między wskazaniami metody a zawartością wody, którą można utożsamić z porowatością przy założeniu, że zailenie Ci skał zbiornikowych przyjmuje wartość minimalną (daje się zaniedbać). Na wartość rejestrowanego natężenia promieniowania wpływa jednak dodatkowo szereg innych czynników: typ sondy, rodzaj i moc źródła, średnica odwiertu, parametry płuczki, decentryczność ustawienia sondy, grubość cementu poza rurami, zasięg strefy filtracji, mineralizacja wody złożowej itp.

W pracy, która jest przedmiotem niniejszego artykułu, nie uwzględniano całej złożoności zjawiska, a ograniczono się do przebadania wskazań PNG w funkcji porowatości. Z badań modelowych przeprowadzonych w warunkach otworopodobnych wynika, że dla porowatości mniejszych od 25%, wartości natężenia promieniowania gamma wzbudzonego neutronami maleją wraz ze wzrostem logarytmu porowatości skał (R. Desbrandes, 1968; S. Plewa, 1972). Można zatem funkcję  $dIng = f(Kp)$  sprowadzić do uproszczonego wyrażenia (J. Frydecki, 1969b):

$$dIng = A + B \times \lg Kp \quad [1]$$

$dIng$  jest parametrem, który wyznacza się z wzoru:

$$dIng = \frac{Ing, x - Ing, min}{Ing, max - Ing, min} \quad [2]$$

gdzie:  $Ing, x$ ;  $Ing, max$ ;  $Ing, min$  oznaczają natężenia promieniowania gamma wzbudzonego neutronami, odpowiadające, odpowiednio, badanej

<sup>1</sup> Oznaczenia wg normy PN-70/G-01202.

warstwie i warstwowo o wskazaniach maksymalnych i minimalnych na rozpatrywanym odcinku otworu wiertniczego.

Przy zawężeniu rozważań do danego regionu geologicznego, rodzaju i wieku skały wielkości  $A$  i  $B$  można uważać za stałe, a ich wartości będą częściowo odbiciem pewnych cech regionalnych (struktura szkieletu skały, parametry poziomów reperowych itp.). Stałe  $A$  i  $B$  można wyznaczyć drogą statystycznego zestawiania wielkości  $dIng$  określonych z krzywej PNG i odpowiadających im porowatości wyznaczonych laboratoryjnie, stosując w tym celu analizę korelacyjno-regresyjną.

Prace tego typu prowadził m.in. J. Frydecki (1969b) w odniesieniu do wapieni jurajskich niecki warszawskiej. W niniejszym artykule autor przeprowadza podobną analizę dla utworów malmu z centralnej części Niecki Nidziańskiej. Malm jest tu reprezentowany przez dwa piętra — oksford i kimeryd — wykształcone w facji węglanowej. Są to głównie wapień krystaliczne, częściowo organodetrytyczne i oolitowe, miejscami z wkładkami margli (H. Jurkiewicz, Z. Kowalczewski, A. Wierzbowski, 1969).

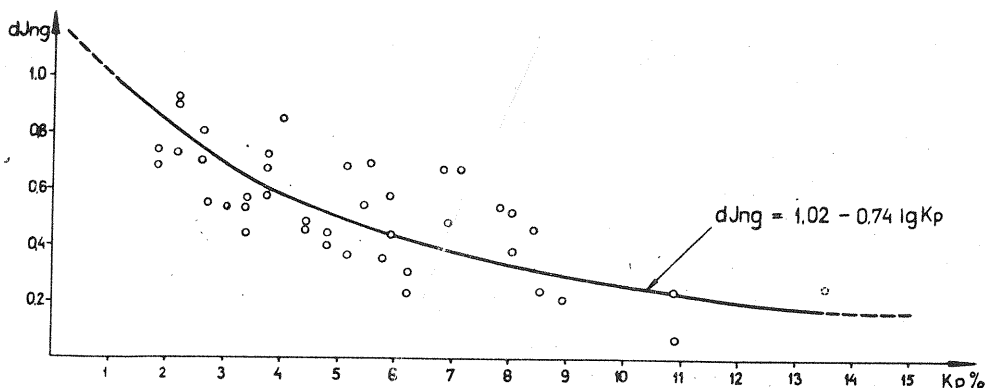


Fig. 1. Zestawienie korelacyjne  $dIng = f(Kp)$  w skali liniowej  
Correlation diagram  $dIng = f(Kp)$  on linear scale

W oparciu o dane z 10 otworów wiertniczych zestawiono 40 par wielkości  $dIng$  i  $Kp$  (fig. 1). Po sprawdzeniu metodą krzywych wariacyjnych przy zastosowaniu kryterium Kołmogorowa (N. B. Dortman, M. L. Ozierskiej i in., 1962; N. W. Smirnow, J. W. Dunin-Barkowski, 1969) rozkładów doświadczalnych  $dIng$  i  $Kp$  z rozkładem normalnym, przystąpiono do wyznaczania wartości współczynnika korelacji  $r$  oraz stałych  $A$  i  $B$ .

Potrzebne wartości określono następująco:

$$\overline{dIng \cdot \lg Kp} = \frac{\sum_{i=1}^{i=40} (Ing, i \cdot \lg Kp, i)}{40} = 0,3264$$

$$\overline{dIng} = 0,5387; \overline{\lg Kp} = 0,3593$$

$$\sigma_{\lg Kp} = \sqrt{\lg Kp^2 - (\lg Kp)^2} = 0,2112$$

$$\sigma_{dIng} = \sqrt{dIng^2 - (dIng)^2} = 0,1972$$

Współczynnik korelacji  $r$  pomiędzy  $dIng$  i  $\lg Kp$ :

$$r = \frac{\overline{dIng \cdot \lg Kp} - \overline{dIng} \cdot \overline{\lg Kp}}{\sigma_{\lg Kp} \cdot \sigma_{dIng}} \quad [3]$$

przyjął wartość  $r = -0,79$ , a więc korelacja istnieje. Dla oceny jego wiarygodności policzono wyrażenie:

$$\sigma_r = \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}} = 0,060$$

$$\frac{|r|}{\sigma_r} = 13,2$$

Z porównania ostatniej wartości z tablicami całki prawdopodobieństwa widać, że  $\varphi > 0,99$ , a więc korelacja podwójna  $\lg Kp$  i  $dIng$  istnieje, zaś równanie regresji prostoliniowej wiązać będzie dane w sposób prawdziwy, z prawdopodobieństwem większym niż 0,99 i zależność nie może być tłumaczona wpływami przypadkowymi.

W oparciu o współczynnik korelacji z próby  $r$  przy danej liczebności  $n$  i przy przyjętym poziomie istotności  $\alpha$  wyznaczyć można przedział ufności ( $\varrho_1, \varrho_2$ ) dla współczynnika korelacji w populacji generalnej (R. Zieliński, 1972). Dla populacji wapieni malmu z omawianego rejonu mieści się on w przedziale  $-0,89 \leq \varrho \leq -0,65$  przy przyjętym poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ ; a więc mamy dalsze potwierdzenie istnienia korelacji z prawdopodobieństwem większym od 0,95.

$A$  i  $B$  wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów, otrzymując równanie regresji:

$$dIng = 1,02 - 0,74 \cdot \lg Kp \quad [4]$$

Obliczono względny błąd, z jakim można określać współczynnik porowatości  $Kp$ ; wynosi on 28,8%, tzn., że dla uzyskanej np. z interpretacji wartości  $Kp = 10\%$  wartość prawdziwa znajduje się w przedziale 7—13%. Ta niezbyt zadowalająca dokładność wyniku z przeprowadzenia uproszczonej korelacji podwójnej.

Utwory malmu z Niecki Nidziańskiej zawierają miejscami wkładki margliste o wyraźnym zaileniu  $C_i$ , które wyznaczyć można na podstawie wskaźań  $Ig$  profilowania gamma PG. Uwzględniono je wprowadzając do równania [1] poprawkę na zailenie:

$$dIng = A + B \cdot \lg(Kp + Kp,e) \quad [5]$$

gdzie:  $Kp,e = wC_i$ ;  $Kp,e$  — porowatość ekwiwalentna ilów,  $w$  — zawodnienie ilów. Przy założeniu modelu uproszczonego regresji liniowej funkcja  $Ig = f(C_i)$  przybierze postać następującą (J. Frydecki, 1970):

$$k \cdot dIg = C_i \quad [6]$$

gdzie:  $k$  — współczynnik zależny od zailenia horyzontu reperowego:

$dI\gamma$  — względne różnicowe natężenie promieniowania gamma zdefiniowane analogicznie jak  $dI\gamma$  (wzór 2). A zatem:

$$Kp, e = w \cdot k \cdot dI\gamma \quad [7]$$

Przyjmując za W. N. Dachnowem i in. (W. N. Dachnow, 1962; B. Ju. Barsukow, N. M. Blinowa i in., 1958), że zawodnienie iłków  $w=40\%$  oraz uwzględniając wyniki obliczeń przedstawionych wyżej, otrzymujemy równanie [4] w postaci:

$$dI\gamma = 1,02 - 0,74 \cdot \lg(Kp + 40 \cdot k \cdot dI\gamma) \quad [8]$$

Stałą  $k$  wyznaczono w warunkach granicznych, tzn. przy zaileniu maksymalnym, wtedy  $dI\gamma=1$ ,  $Kp,2=22,5\%$  ( $Kp,2$  otrzymano z zależności  $\lg Kp,2 = \frac{A}{-B}$ ) (J. Frydecki, 1969b). Współczynnik zailenia horyzontu reperowego dla omawianego rejonu wynosi  $k=0,56$ , co jest wielkością możliwą do przyjęcia, zważywszy, że poziom reperowy, ze względu na brak reperu ilastego, obierany był w marglach.

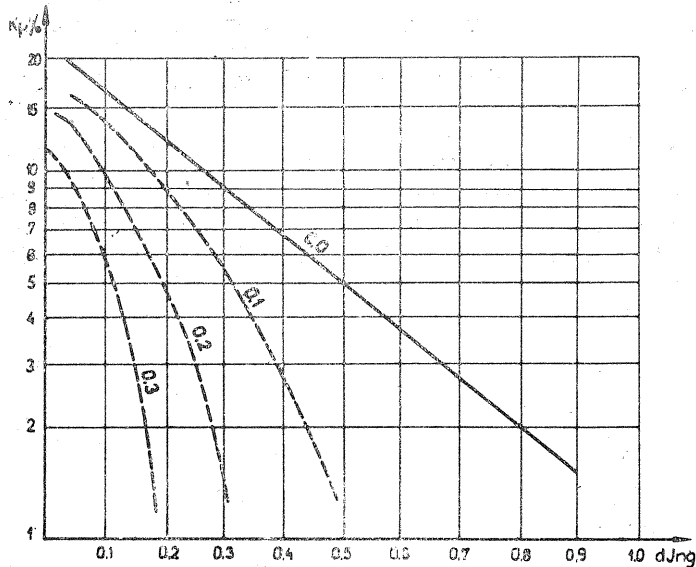


Fig. 2. Nomogram do wyznaczania porowatości według danych PNG i PG

Nomogram for porosity determination on the basis of the neutron-gamma and gamma logs

linia ciągła — brak zailenia; linia przerywana — zailenie 0,1; 0,2; 0,3; parametr krzywych — wartość  $dI\gamma$   
 solid line — no clay; broken line — clay content 0,1; 0,2; 0,3; parameter of the curves — value of  $dI\gamma$

W oparciu o równanie [8] sporządzono nomogram (fig. 2); parametrem krzywych jest iloraz różnicowy  $dI\gamma$  wyznaczony na podstawie PG, linia ciągła odpowiada wartości zerowej parametru  $dI\gamma$ , a zatem przedstawia równanie [4].

\*  
\*            \*

1. Krzywe PNG, zarejestrowane w obrębie utworów malmu na omawianym obszarze, dają wskazania minimalne, pomijając strefy skawernowane naprzeciwko margli; wskazania maksymalne wiążą się z wapieniami zwięzłymi, zbitymi, częstokroć zsylikowanymi. Jak wynika z wyżej przedstawionych rozważań, odpowiadające im porowatości neutronowe są rzędu odpowiednio 20% i 1%, które to wielkości można by wykorzystać przy szacunkowym określeniu porowatości metodą dwóch reperów.

2. W pracy tej przy poszukiwaniu zależności korelacyjnej pominięto z rozważań wszystkie te dane, które odpowiadały strefom skawernowanym, bądź co do których istniały wątpliwości w odniesieniu do prawidłowego ich dowiązania głębokościowego; pomimo to jednak wartości porowatości wyznaczone przy pomocy otrzymanego nomogramu mogą być obarczone błędem rzędu 30%. Błąd ten może być w pewnym stopniu spowodowany przyjęciem uproszczonego modelu korelacji podwójnej. A zatem droga do zwiększenia dokładności wyznaczeń  $K_p$  z PNG wydaje się prowadzić przede wszystkim przez analizę regresji z korelacją wieloraką przy użyciu e.t.o. (J. Frydecki, 1969a), która umożliwi otrzymanie precyzyjnych nomogramów.

Nie jest jednak wykluczone, że na wielkość błędu wpłynęła niestabilność (pod względem porowatości) jednego z horyzontów reperowych. Tym horyzontem, w świetle danych geologicznych, mogłyby być margle. Zmiana w ich zaileniu, a tym samym naruszenie założenia o stabilności reperu pod względem porowatości neutronowej może być właśnie tym dodatkowym źródłem błędu. Wyjaśnienia tej sprawy można oczekiwać po ewentualnym zastosowaniu statystycznej normalizacji (Ja. N. Abduchalikow, S. S. Złotopolski, 1973).

Oddział Świętokrzyski  
Instytutu Geologicznego  
Kielce, ul. Zgoda 21

Nadesłano dnia 22 marca 1974 r.

## PIŚMIENICTWO

- DESBRANDES R. (1968) — Theorie et Interpretation des diagraphies. Editions Technic. Paris.
- FRYDECKI J. (1969a) — Stosowanie elektronicznej techniki obliczeniowej (e.t.o.) dla potrzeb geofizyki wiertniczej. Geologia za granicą, 10, p. 5—20, nr 1. Warszawa.
- FRYDECKI J. (1969b) — Wykorzystanie metody PNG do określenia porowatości wapieni jurajskich synklinorium warszawskiego. Geof. i Geol. naft., nr 10—11 (154—155), p. 324—330. Kraków.
- FRYDECKI J. (1970) — Geofizyczne zależności określone dla parametrów skał izolujących w synklinorium mogilneńskim. Kwart. geol., 14, p. 495—505, nr 3. Warszawa.

- JURKIEWICZ H., KOWALCZEWSKI Z., WIERZBOWSKI A. (1969) — Przekrój geologiczny przez osady permo-mezozoiczne Niecki Nidziańskiej. Kwart. geol., 13, p. 604—618, nr 3. Warszawa.
- PLEWA S. (1972) — Geofizyka wiertnicza. Wyd. Śląsk. Katowice.
- SMIRNOW N. W., DUNIN-BARKOWSKI J. W. (1969) — Kurs rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. PWN. Warszawa.
- ZIELIŃSKI R. (1972) — Tablice statystyczne. PWN. Warszawa.
- АБДУХАЛИКОВ Я. Н., ЗЛАТОПОЛЬСКИЙ С. С. (1973) — К вопросу оценки пористости продуктивных карбонатных коллекторов по данным нейтронного гамма — метода. Нефтегазовая Геология и Геофизика, вып. 3. Москва.
- БАРСУКОВ Б. Ю., БЛИНОВА Н. М., ВЫБОРНЫХ С. Ф., ГУЛИН Ю. А., ДАХНОВ В. Н., ЛАРИОНОВ В. В., ХОЛИН А. И. (1958) — Радиоактивные методы исследования нефтяных и газовых скважин. Гостоптехиздат. Москва.
- ДАХНОВ В. Н. (1962) — Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. Гостоптехиздат. Москва.
- ДОРТМАН Н. Б., ОЗЕРСКОЙ М. Л. и др. (1962) — Методическое руководство по определению физических свойств горных пород и полезных ископаемых. Госгеолтехиздат. Москва.

Анджей ЩЕРБА

#### ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАНИЙ НЕЙТРОН-ГАММА КАРОТАЖА НГК ОТ ПОРИСТОСТИ ИЗВЕСТНЯКОВ МАЛЬМА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ НИДЗЯНСКОЙ ВПАДИНЫ

##### Резюме

В статье представлены результаты корреляционно-регрессивного анализа связи пористости  $K_p$  с относительной интенсивностью гамма-каротажа, вызванного нейтронами  $dI_{ng}$ . При изучении вышеуказанной зависимости использовались результаты геофизических и лабораторных исследований карбонатных отложений мальма по 10 скважинам центральной части Нидзянской впадины.

Представлено уравнение регрессии  $dI_{ng}=f(K_p)$ , а также номограмма для определения пористости  $K_p$ , выведенные на основании показаний НГК и ГК в случае, когда необходимо ввести поправки на заиливание  $C_i$ .

Andrzej SZCZERBA

**DEPENDENCE OF THE NEUTRON-GAMMA LOG ON THE POROSITY  
OF MALMIAN LIMESTONES FROM THE CENTRAL PART  
OF THE NIDA TROUGH**

**S u m m a r y**

Results of correlation-regression analysis of the relationship of the porosity  $Kp$  to the relative intensity of neutron-induced gamma radiation  $dIng$  are reviewed. The geophysical results and laboratory tests of Malmian carbonate rocks from 10 boreholes from the central part of the Nida trough have been utilized to study this relationship.

The regression equation  $dIng = f(Kp)$  and the nomogram to determine the porosity  $Kp$  on the basis of neutron-gamma log or neutron-gamma and gamma logs, when the correction for the content is to be considered, have been also presented.