

## CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA ILOŚCIOWĄ INTERPRETACJĘ MATERIAŁÓW RADIOMETRII OTWOROWEJ

UKD 550.835:622.241

Do głównych procesów fizycznych związanych z radiometrią otworową zalicza się naturalne promieniowanie gamma, sprężyste i niesprężyste rozpraszanie neutronów i ich wychwyty, rozpraszanie oraz pochłanianie promieniowania gamma. Promieniowanie gamma skał bada się w naturalnym stanie, bez doprowadzenia czynnika fizycznego z zewnątrz, tzn. promieniowanie pochodzące od pierwiastków promieniotwórczych wchodzących w mniejszych lub większych ilościach w skład skał. Natomiast na proces oddziaływania promieniowania neutronowego na materię wpływa głównie skład chemiczny skał, a w minimalnym stopniu ich gęstość. W przypadku zaś oddziaływania promieniowania gamma, podstawowym czynnikiem jest gęstość skał.

Metody radiometrii otworowej mają niewielką głębokość zasięgu badania, a w związku z tym są czułe na wpływ parametrów technicznych otworu i pomiaru. Są to: średnica otworu, gęstość płuczki, grubość kolumny rur, grubość cementu, konstrukcja sondy i jej położenie w otworze. Opracowanie metodyki ilościowej interpretacji materiałów pomiarowych radiometrii otworowej na obecnym etapie jest ograniczone zarówno niepełną znajomością głównych procesów fizycznych leżących u podstawy tych metod, jak i niedostatecznym zbadaniem wpływu czynników otworowych. Dla rozwiązania tego problemu konieczne są dalsze studia teoretyczne oraz badania eksperymentalne.

### CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA ILOŚCIOWĄ INTERPRETACJĘ PROFILOWANIA GAMMA-GAMMA

Pomierzone wartości natężenia naturalnego promieniowania gamma są wynikiem nie tylko naturalnego składu i budowy utworów, jak: litologia, porowatość, przepuszczalność, mineralizacja wód złożowych, widmo promieniowania, czy miąższość warstw, ale także są wynikiem oddziaływania zewnętrznego takich czynników, jak:

1. Warunki pomiarowe aparatury i jej efektywność: a) uśredniające oddziaływanie komórki całkującej, b) szybkość zliczania, c) niestabilność napięcia w czasie pracy układu pomiarowego, d) rodzaj liczników i różna efektywność rejestracji.
2. Konstrukcja otworu: a) średnica otworu, b) ilość kolumn rur oraz grubość ich ścian, c) grubość cementu.
3. Rodzaj płuczki: a) gęstość, b) promieniotwórczość.
4. Położenie sondy w otworze.
5. Prędkość pomiaru, stała czasowa aparatury, głębokość zasięgu badania.

W celu określenia promieniotwórczości skał na podstawie wyników badania otworu metodą profilowania naturalnego promieniowania gamma należy uwzględnić wszystkie wyżej wymienione wpływy. Praktycznie dla punktów 2, 3a i 4 wprowadza się je, stosując w obliczeniach współczynniki poprawkowe, wyliczone na podstawie nomogramów firmy Schlumberger (7) oraz nomogramy z innych publikacji (7, 15). Współczynniki te w funkcji  $C = f(H)$  dla punktów 2, 3a oraz 4 przedstawiają ryciny 2, 3, 4 i odnoszą się do otworów: Gorzów Wielkopolski, Urzuty, Magnuszew. W wyniku analizy uzyskanych danych i profilu geologicznego można stwierdzić, że o ile sposób wprowadzania współ-

czynników poprawkowych otrzymanych na podstawie nomogramów Schlumbergera jest na ogół zadawalający dla niezarurowanych części otworów, o tyle dla części zarurowanych (zwłaszcza kilkoma kolumnami rur i zacementowanych) — uzyskane współczynniki poprawkowe są zawyżone. Zagadnienie to wymaga więc dalszych badań i opracowania teoretycznego.

### CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA ILOŚCIOWĄ INTERPRETACJĘ PROFILOWANIA GAMMA-GAMMA

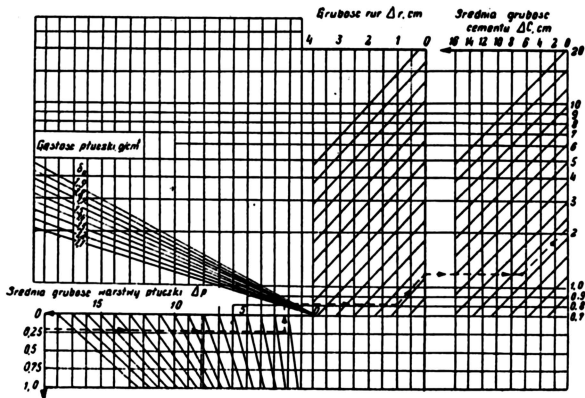
Przy wykonywaniu ilościowej interpretacji uwzględnić należy: 1) naturalne promieniowanie gamma skał, 2) promieniotwórczość płuczki, 3) moc i energię źródła promieniowania gamma, 4) długość sondy ( $L$ ) (odległość, źródło — licznik), 5) średnicę otworu, 6) gęstość płuczki, 7) gęstość skał, 8) położenie sondy w otworze, 9) plaster ilu (korek ilasty), 10) stosunek liczby atomowej do ciężaru atomowego  $\left(\frac{Z}{A}\right)$  poszukiwanego pierwiastka, 11) prędkość pomiaru i stałą czasową, 12) warunki pomiarowe aparatury i jej efektywność, 13) miąższość warstwy.

Ze względu na to, że intensywność rozproszonego promieniowania gamma jest o wiele większa niż naturalne promieniowanie skał i płuczki, to ostatnie może nie być brane pod uwagę. W przypadku utworów ilastych wpływ naturalnego promieniowania gamma na wyniki profilowania gęstościowego wynosi poniżej 2%. W celu uzyskania dobrych wyników pomiarowych należy dobrać taką moc źródła, aby średnia wartość rejestrowanego rozproszonego promieniowania gamma nie mniej niż 10 razy przewyższała naturalne promieniowanie gamma skał. Dla zabezpieczenia licznika przed bezpośrednim promieniowaniem pochodzącym od źródła umieszcza się między źródłem a licznikiem odpowiednio grubą przegrodę ołowianą.

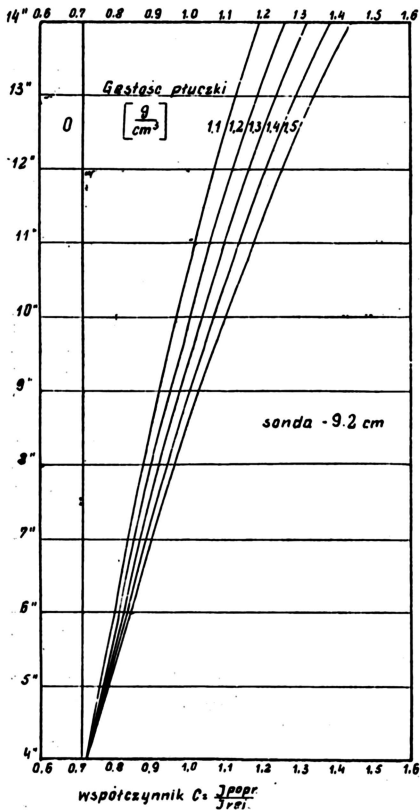
Obliczenia teoretyczne wykazują, że dla przykładu jednorodnego środowiska przy małych długościach sondy ( $L$ ) zależność intensywności rozproszonego promieniowania gamma od gęstości skał jest zbliżona do liniowej. Szczególnie dotyczy to utworów w zakresie niskich wartości gęstości. Ze zwiększeniem długości sondy zależność ta zbliża się do wykładniczej. Jednak czułość metody w zakresie dużych i małych wartości gęstości jest niejednakowa. Biorąc pod uwagę fakt, że zastosowanie większych sond wiąże się z zastosowaniem źródeł o większej mocy, w praktyce zależności od wymaganej dokładności badania stosowane są długości sond w przedziale 25 — 60 cm. Zwiększając energię wysyłanych kwantów gamma z 1,25 MeV do 2,62 MeV — zasięg głębokości badania zwiększa się w przybliżeniu dwukrotnie.

Występujące kawerny na ścianach odwiertu posiadają duży wpływ na wyniki pomiaru. Dla uwzględnienia poprawki na wpływ kawern potrzebne jest wykonanie pomiaru średnicy otworu.

Gęstość płuczki jest na ogół mniejsza od gęstości skał. Zatem jej wpływ na wynik profilowania gęstościowego będzie tym większy im większa będzie gęstość skały i tym mniejszy im większa będzie gęstość płuczki. W celu zmniejszenia wpływu płuczki zaleca się, aby sonda w czasie pomiaru przesuwana była po ścianie odwiertu, a od strony przeciwnej ekranowana ołowiem. Wpływ obecności plastra ilowego (korka ilastego) na ścianie otworu jest tym większy im jest on



Ryc. 1a



Ryc. 1b

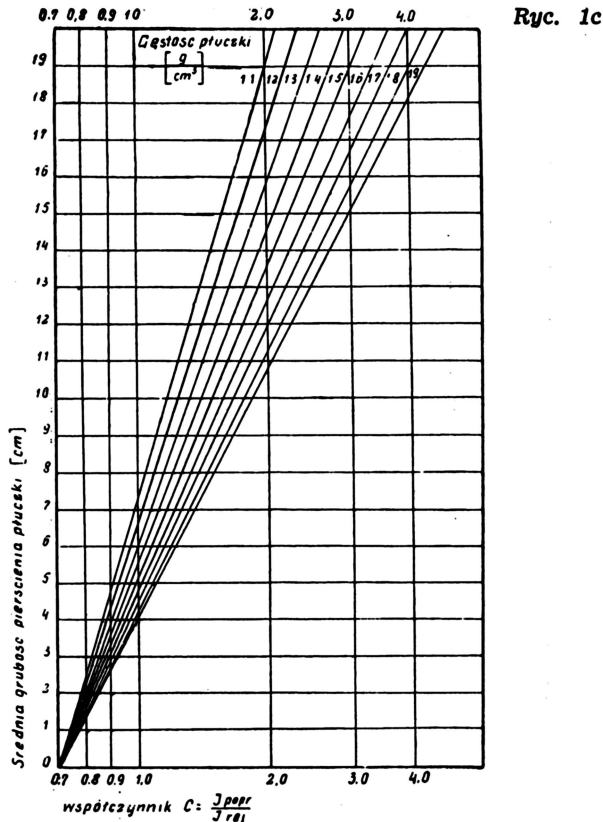
Ryc. 1. Nomogramy do wyznaczania współczynnika poprawkowego C.

a — nomogram do wyznaczania współczynnika C dla otworu zarurowanego, b — nomogram do wyznaczania współczynnika C dla otworu niezarurowanego przy założeniu, że sonda podczas pomiaru przesuwana się po ścianie odwiertu, c — nomogram do wyznaczania współczynnika C przy uwzględnieniu wpływu grubości pierścienia płuczki

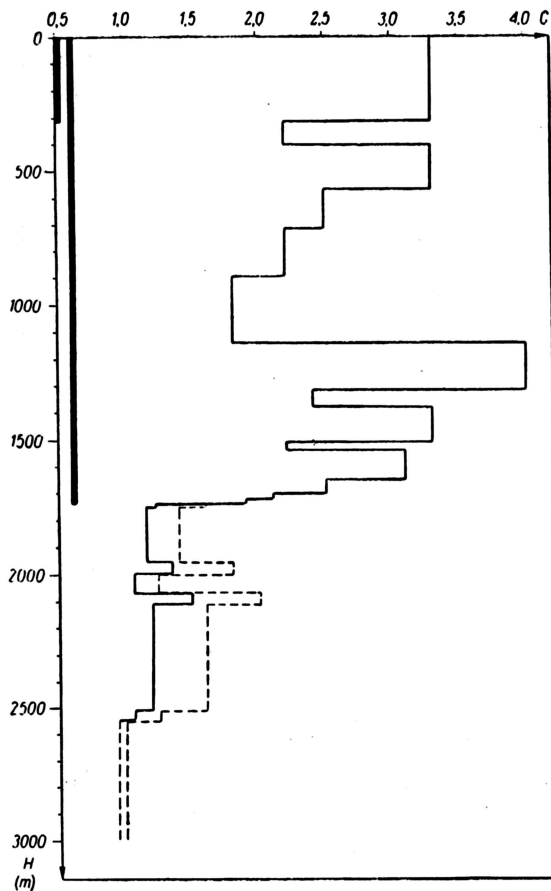
grubszy oraz im mniejsza jest jego gęstość w stosunku do gęstości skały. Wpływ ten może być pominięty, jeżeli różnica między gęstością plastra łożowego i gęstością skały nie jest zbyt duża, a jego grubość nie przekracza 6 mm.

Uwzględnienie błędów wywołanych przez różnice w wartościach  $\left(\frac{Z}{A}\right)$  dla różnych skał jest potrzebne tylko przy bardzo dokładnej interpretacji materiałów profilowania gamma-gamma.

Prędkość pomiaru przy profilowaniu gamma-gamma powinna być dostosowana do warunków technicznych i geologicznych. Prędkość ta nie powinna jednak przekraczać 450 m/godz. W przypadku większych prędkości sonda nierównomiernie odchyła się od skały ściany odwiertu, po których powinna się przesuwać.

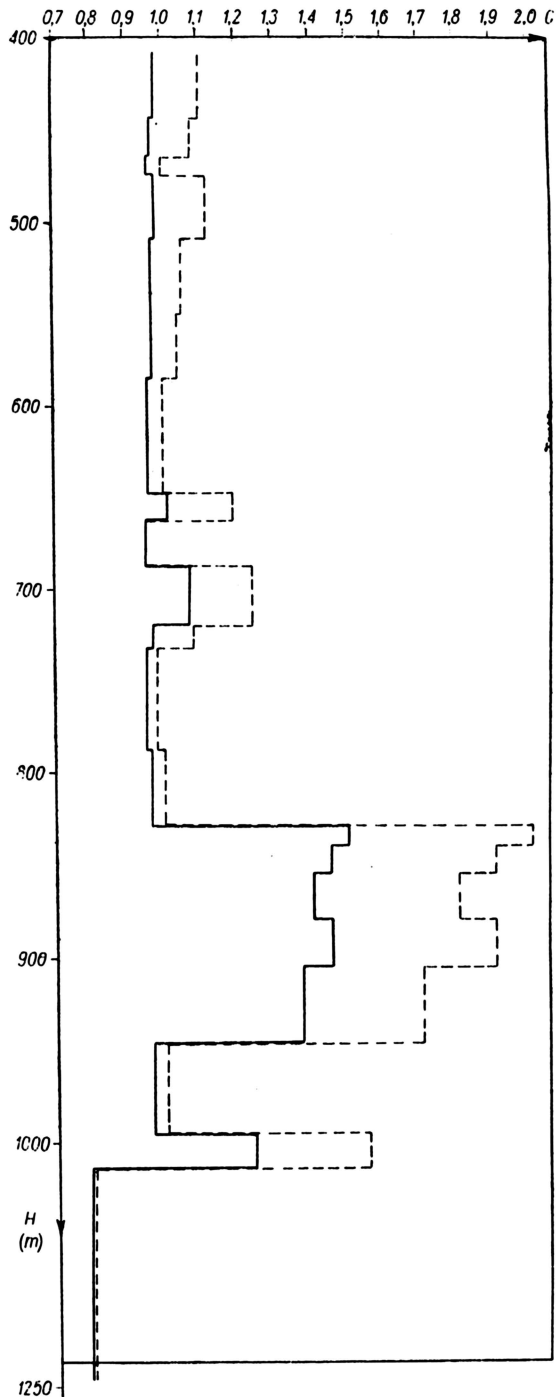


Ryc. 1c



Ryc. 2. Wykres  $C = F(H)$  dla otworu Gorzów Wlk.

— wykres wykonany na podstawie dwóch nomogramów Schlumbergera, ryc. 1a, 1b. - - - wykres wykonany na podstawie nomogramu Schlumbergera, ryc. 1a



Ryc. 3. Wykres  $C = F(H)$  dla otworu Urzuty. Zarzucie do głębokości 408,2 m -  $\Phi 9''$ .

— wykres wykonany na podstawie nomogramu Schlumbergera, ryc. 1b. - - - wykres wykonany na podstawie nomogramu Schlumbergera, ryc. 1a

Stałą czasową dobiera się o takiej najmniejszej wartości, dla której błąd wywołany przez fluktuacje statystyczne nie przekracza wielkości dopuszczalnej. Niżej podana tabela, wzięta z pracy L. Romana, przedstawia zależności między wielkością stałej czasowej, prędkością pomiaru i minimalną miąższością warstwy, zaznaczającej się na krzywej z dopuszczalnymi skażeniami.

Metoda rozproszonego promieniowania gamma przecechowana w jednostkach gęstości skal daje najlepsze wyniki ze wszystkich metod radiometrii. Tłumaczy się to tym, iż metoda opracowana jest na podstawie

Stała czasowa (sek)	Minimalna miąższość warstw zaznaczających się na krzywej o dopuszczalnym skażeniu (m)			
	0,5	1	2	4
	Prędkość pomiaru m/godz.			
6	150	300	600	1200
12	100	200	300	600
18	50	100	200	400

pomiaru pojedynczego procesu fizycznego — rozpraszania kwantów gamma, przy czym położenie sondy w otworze powinno być stałe.

#### CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA ILOŚCIOWĄ INTERPRETACJĘ KAROTAZU GAMMA-GAMMA SELEKTYWNEGO

Karotaż gamma-gamma selektywny jest odmianą karotazu gamma-gamma. Pomiar zjawiska polega na wykorzystaniu istniejącej zależności między absorpcją fotoelektryczną wielokrotnie rozproszonych kwantów gamma, a liczbą atomową  $Z$  atomów ośrodka materii. Jako źródło promieniowania stosuje się izotopy emitujące promieniowanie gamma o niskiej energii. Karotaż selektywny gamma-gamma powinien znaleźć duże zastosowanie przede wszystkim przy poszukiwaniu i określaniu procentowej zawartości złóż rud metali ciężkich.

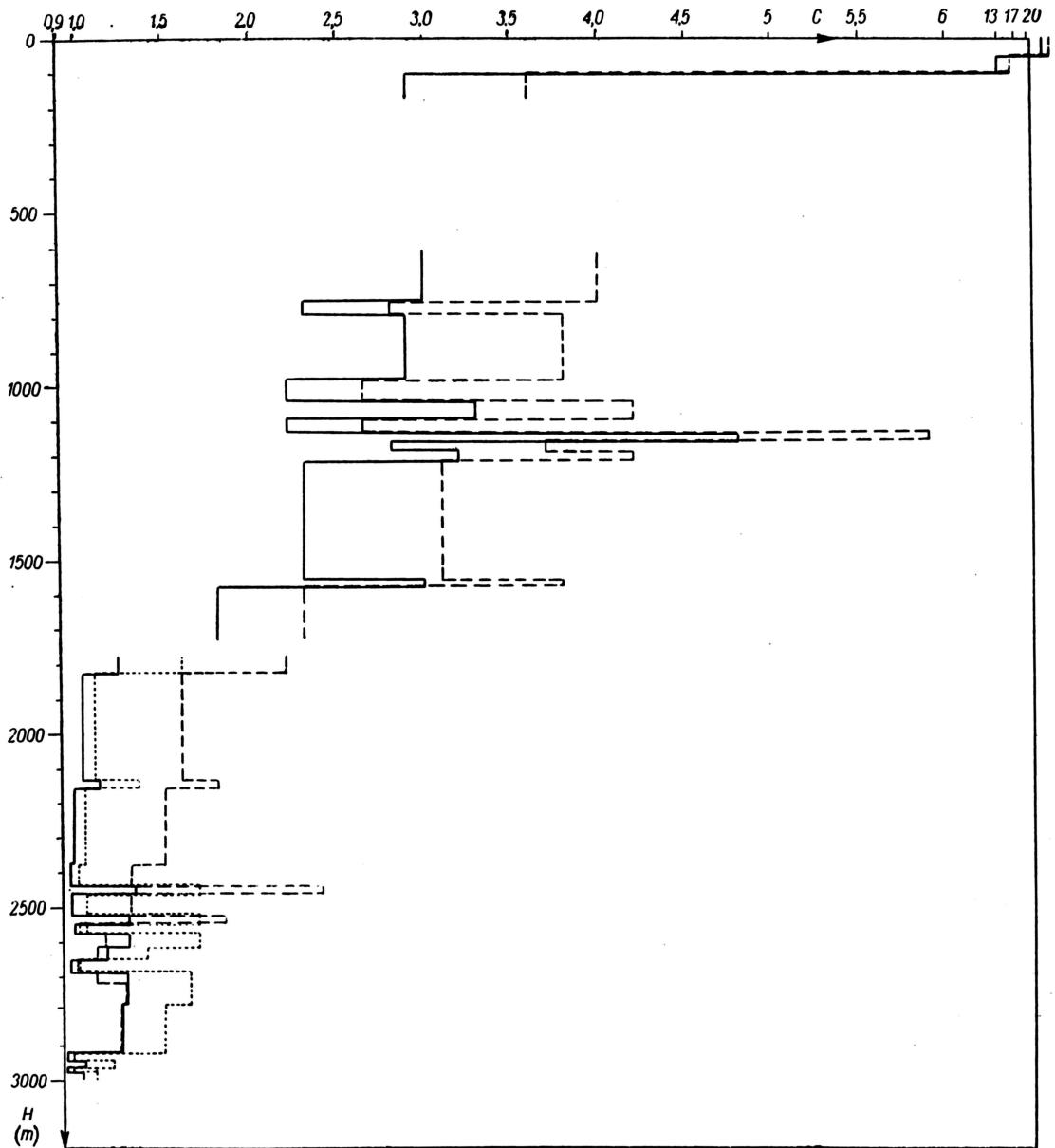
Na wyniki profilowania selektywnego wpływają następujące czynniki: 1) średnica otworu, 2) promieniowanie otworu, 3) zmiana ośrodka otaczającego, 4) zmiana gęstości skal wywołana różną koncentracją kruszcu, 5) zniekształcenia amplitudy anomalii, 6) moc i energia źródła, 7) długość sondy, 8) położenie sondy w otworze, 9) płuczka i plaster łożowy, 10) prędkość pomiaru i stała czasowa, 11) warunki pomiarowe aparatury oraz jej efektywność, 12) miąższość warstw.

Ponadto mają również wpływ błędy związane z określaniem intensywności promieniowania (łącznie z błędami cechowania aparatury) odczytywanej z diagramów pomiarowych. Błędy promieniowania otworowego można sprowadzić do minimum, stosując ekranowanie licznika ołowiem od strony odwiertu. Również urządzenie decentralizujące sondę w otworze zmniejsza, a niekiedy likwiduje błędy spowodowane zmienną średnicą. Niemniej jednak w przypadku małych kłówn, i to urządzenie nie chroni od błędów.

Wpływu zmiany ośrodka otaczającego w zasadzie nie można wydzielić z anomalii. W przypadku konkretnego złoża odpowiednia ocena tego efektu powinna zdecydować, czy w danym przypadku zastosowanie karotazu selektywnego jest celowe. Przy ilościowej interpretacji profilowania selektywnego poważne błędy mogą być wniesione obecnością baru w skale. W takim przypadku określić można tylko sumaryczną miąższość strefy zawierającej poszukiwany metal i bar oraz sumaryczną zawartość tych pierwiastków.

#### CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA ILOŚCIOWĄ INTERPRETACJĘ METOD NEUTRONOWYCH

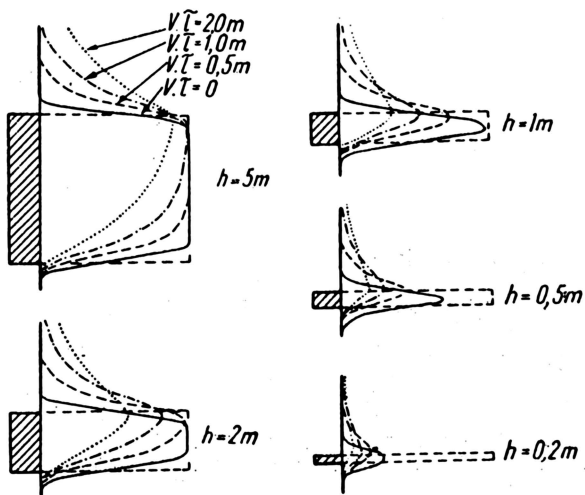
Do czynników wpływających na omawianą interpretację zalicza się: 1) skład chemiczny skal (nasyconie wodą, przekrój czynny rozpraszania i wychwyty neutronów szybkiej oraz ciepłej, efekt radiacyjny), 2) gęstość skal, 3) gęstość płuczki i jej skład chemiczny, 4) średnica otworu, 5) grubość rur i cementu, 6) położenie sondy w otworze, 7) długość sondy, 8) moc źródła i jego charakterystyka widmowa, 9) efekt rozproszonego promieniowania gamma w metodzie neutronowej, 10) stała czasowa i prędkość pomiaru, 11) warunki pomiarowe aparatury i jej efektywność, 12) głębokość zasięgu badania, 13) miąższości warstw.



Ryc. 4. Wykres  $C = F(H)$  dla otworu Magnuszew.

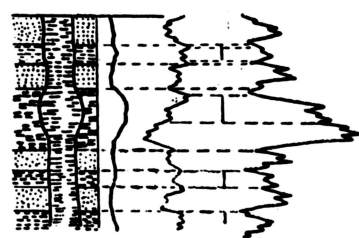
—  $C = F(H)$  wg nomogramu dla odcinka w rurach, ryc. 1a, 1b oraz dla niezarurowanej części otworu, ryc. 1b.

.....  $C = F(H)$  dla odcinka niezarurowanego wg nomogramu, ryc. 1a. —  $C = F(H)$  dla diagramu wykonanego 7 I 1959 r. (rury do głębokości 2712 m, zacementowanie do 2547 m)



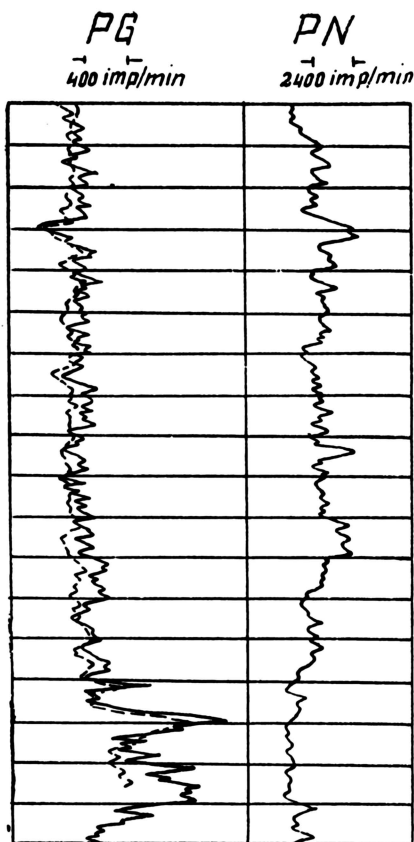
Ryc. 5. Wpływ prędkości pomiaru  $V$  (m/sek) i stałej czasowej komórki całkującej  $\tau$  (sek) na kształt krzywej intensywności naturalnego promieniowania gamma pomierzonej w otworze (przy stałej długości licznika).  
 — krzywa statyczna  $V \cdot \tau = 0$ , —  $V \tau = 0,5$ , - - -  $V \tau = 1$ , ....  $V \tau = 2$

PSr PG PN



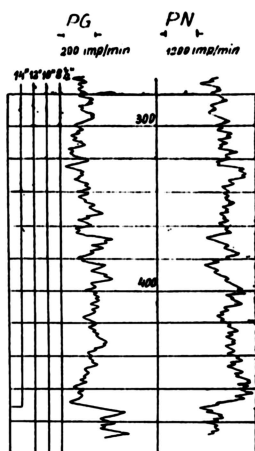
Ryc. 6. Przykład wpływu średnicy otworu na amplitudy zarejestrowanych krzywych.

P. śr. — profilowanie średnicy otworu, PG — profilowanie gamma, PN — profilowanie neutronowe



Ryc. 7. Zmiany krzywej natężenia naturalnego promieniowania gamma po zarurowaniu i zacementowaniu otworu.

PG — profilowanie gamma, PN — profilowanie neutronowe

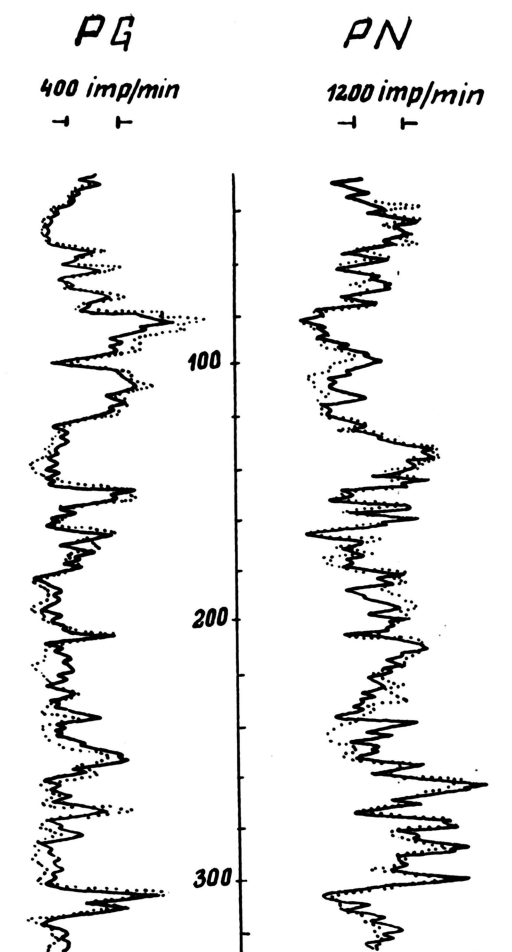


Ryc. 8. Pochłanianie promieniowania gamma przez kolumnę rur.

PG — profilowanie gamma, PN — profilowanie neutronowe

Wybierając tę lub inną metodę radiometrii otworowej do badań ilościowych należy uwzględnić wyżej przedstawione czynniki. Np. do badania współczynnika porowatości skał należy zastosować taki pomiar neutronowy, w którym najbardziej jednoznacznie będzie zachodzić reakcja na neutrony nadtermiczne (szybkie). Pozwala to na uwolnienie się od szeregu niepożądanych wpływów trudnych do określenia i eliminacji w czasie badań.

Wpływ czynników wymienionych w punktach 2 — 8 powinien być znany lub utrzymany jako stały. Jeśli idzie o wpływ rozproszonego promieniowania gamma przy metodach neutronowych, to powinien on być sprowadzany do minimum, szczególnie dotyczy to wyznaczania współczynnika porowatości według danych pomiarowych metodą neutron-gamma.



Ryc. 9. Wpływ mineralizacji płuczki na dane pomiarowe karotażu promieniotwórczego.

PG — profilowanie gamma, PN — profilowanie neutronowe  
— przy płuczce zasolonej, - - - - przy płuczce niezasolonej

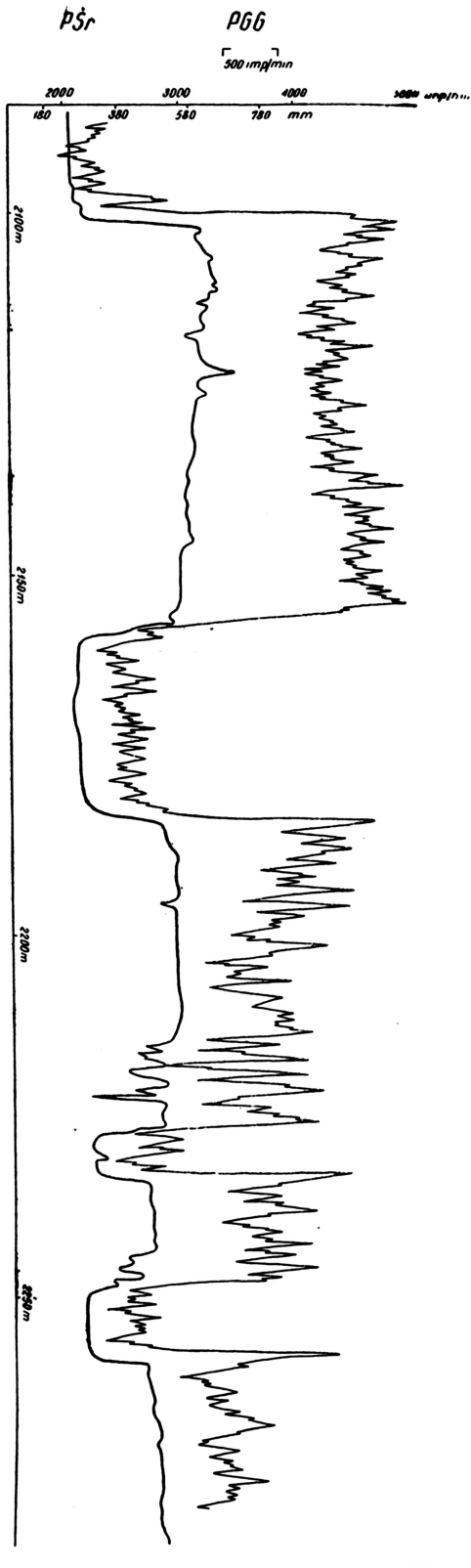
W celu określenia zawartości chloru (np. dla określenia charakteru nasycenia warstw w otworach zarurowanych) należy przeprowadzić kompleksowe badania radiometryczne, gdyż potrzebna jest tu zarówno znajomość stopnia nasycenia płynem, jak i ilość zawartego chloru. Zadanie to może być rozwiązane za pomocą którejkolwiek z niżej wymienionych kombinacji:

- 1) profilowanie neutron-neutron termiczne (ciepne) względem profilowania neutron-gamma;
- 2) profilowanie neutron-neutron termiczne względem profilowania neutron-neutron nadtermicznego;
- 3) profilowanie neutron-gamma względem profilowania neutron-neutron nadtermicznego. Każda z wymienionych kombinacji posiada pewne wady. Prawdopodobnie dla określenia zawartości chloru najlepsze byłoby połączenie wszystkich trzech metod.

#### NOWE FORMY RADIOMETRII OTWOROWEJ

Ostatnio rozwinęły się następujące metody radiometrii otworowej: 1) karotaż gamma — widmowy, 2) karotaż neutron-gamma widmowy, 3) karotaż neutronowy aktywacyjny, 4) badania za pomocą generatora neutronów.

Karotaż gamma widmowy pozwala na ilościowe rozdzielanie pierwiastków promieniotwórczych wchodzących w skład skał. Ponieważ rozpręszczenie naturalnych pierwiastków promieniotwórczych w skałach zależy od warunków, w jakich skała powstała, składu chemicznego, źródła osadu itp., dlatego ilościowe rozdzielanie różnych pierwiastków promienio-

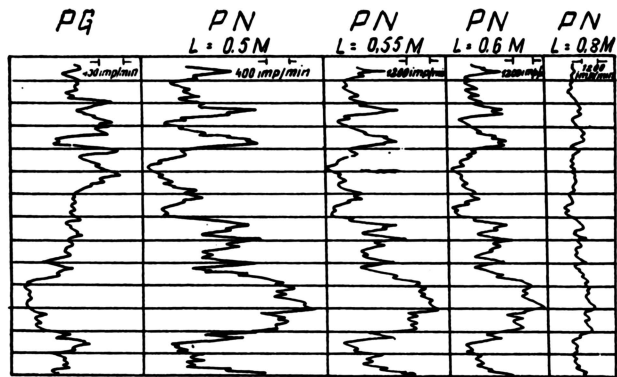


Ryc. 12. Przykład pomiarów dla określenia zawartości chloru.

a - profilowanie neutron-neutron nadtermiczne, b - profilowanie neutron-gamma

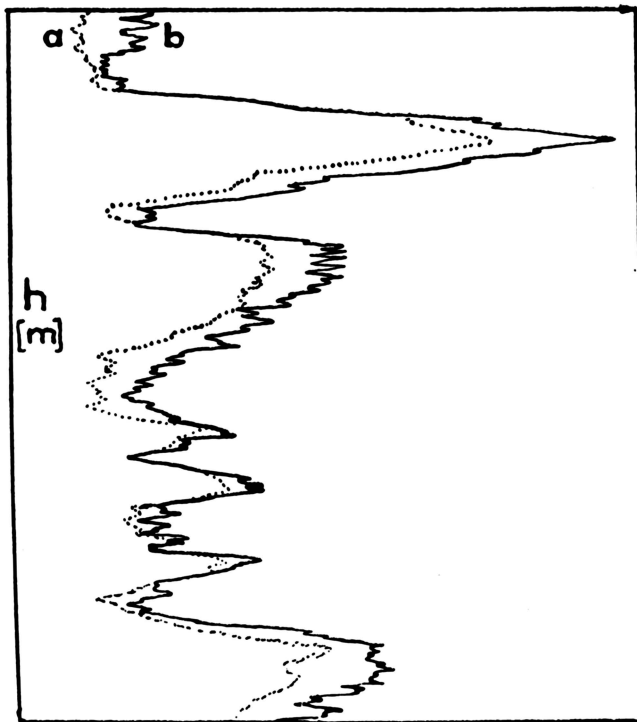
Ryc. 13. Przykład karotażu widmowego naturalnego promieniowania gamma.

I - natężeni enaturalnego promieniowania gamma, E - energia naturalnego promieniowania gamma



Ryc. 11. Zależność między długością sondy L (odległość źródło - licznik) a zróżnicowaniem krzywej profilowania neutronowego PN.

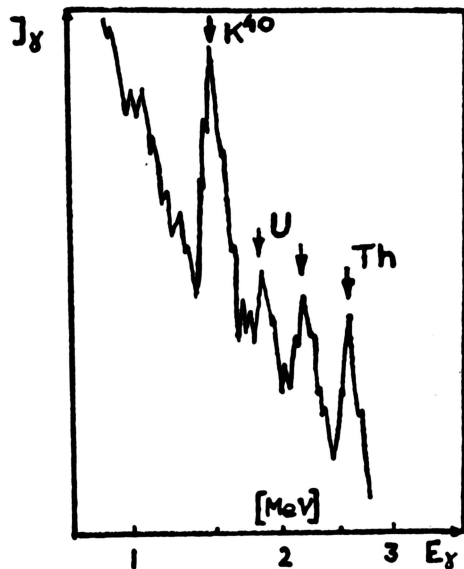
PG - profilowanie gamma



Ryc. 10 →

← Ryc. 10. Wpływ średnicy otworu na pomierzone wartości natężenia rozproszonego promieniowania gamma w otworze Koszalin.

Pśr. - profilowanie średni cy, PGG - profilowanie gamma-gamma



→

twórczych może być dodatkowo wskazówką diagnostyczną dla osadów danego typu. Znajomość rozprzestrzenienia może być pomocną przy pracach paleogeograficznych, korelacji przekrojów i rozwiązywaniu innych zadań geologicznych.

Karotaż neutron-gamma widmowy umożliwia wydzielenie takich pierwiastków, jak: Na, Ca, Al, Fe, natomiast karotaż neutronowy aktywacyjny pozwala na ilościowe określenia szeregu pierwiastków w skałach takich, jak: Al, Mn, Cu i inne. Ostatnio w wielu laboratoriach prowadzone są badania nad generatorem neutronów. Wprowadzenie takiego urządzenia niewątpliwie da początek nowym odmianom karotażu.

#### L I T E R A T U R A

1. Aleksiejew F. A. — Primićenije mietody spektrometrii gamma — izluczenija dla issledowanija skważin. Jadiennaja geofizyka, Moskwa 1959.
2. Bljumiencew A. M., Feldman I. I. — Wo-prosy koliczestwiennoj ocenki sodierżanija żelaza w rudach po danym radioaktywnego karotaża. Razw. i prom geofiz. wyp. 46, 1962.
3. Barsukow O. A., Blinowa N. M. — Radioaktywnyje mietody issledowanija nieftianych i gazowych skważin. Gostoptiechizdat, Moskwa 1958.
4. Bryant H. L. — Production Well Logging Techniques. Geoph., vol. 25, nr 4, 1960.
5. Broda E. — Postępy radiochemii. PWN, Warszawa 1956.
6. Broda E., Schonfeld T. — Zastosowanie promieniotwórczości w technice. PWN, Warszawa 1959.
7. Czubek J. A. — The influence of the Drilling Fluid on the Gamma — Ray Intensity in the Borehole. Acta geoph. pol., vol. X, nr 1, 1962.

#### S U M M A R Y

When quantitatively interpreting the measurement materials obtained in bore-hole radiometry it is necessary to make some corrections, according to the research method applied.

The authors present and discuss in detail factors influencing the interpretations made during measurements carried on by means of the following methods: a) gamma, b) density gamma-gamma, c) selective gamma-gamma and d) neutron methods.

8. Chombart L. G. — Well logs in carbonate reservoirs. Geoph., vol. 25, nr 4, 1960.
9. Dachnow W. N. — Interpretacija rezultatow geofizycznych issledowanij razriezow skważin. Moskwa 1955.
10. Dworkin I. L. — Wlijanije skważiny na pokazanija nejtronnogo gamma-karotaża. Razw. i prom geofiz. wyp. 32, 1959.
11. Dworkin I. L. — Wlijanije osolonienija cementa na rezultaty, ocenki wodoneftienosnosti kolektorow mietodami nejtronnogo karotaża. Ibidem.
12. Garkalenko I. A., Holin W. N. — O wozmożnosti primienienija radioaktywnych mietodow karotaża pri issledowanii skważin biełożerskogo rudnogo miestorożdienija. Ibidem, wyp. 41, 1961.
13. Itenberg S. S. — Promysłowaja geofizyka, Moskwa 1961.
14. Kokesh F. P. — Gamma — ray logging. The Oil and Gas Journ., July 26, 1951.
15. Lehnert K., Rothe K. — Geophysikalische Borlochmessungen. Akademie-Verlag, Berlin 1962.
16. Mardock E. S. — Radioactivity logging and its future potential. Geoph., vol. 25, nr 4, 1960.
17. Pirson S. J. — Handbook of Well Log Analysis. New York 1963.
18. Pickell J. J. — Density logging. Geoph., vol. 25, nr 4, 1960.
19. Praca zbiorowa — Sprawoznik geofizyka, t. II, Moskwa 1961.
20. Szapiro D. A. — Kontrol tiechniczeskogo so-stojanija skważin mietodom NGK. Razw. i prom. geofiz. wyp. 41, 1961.
21. Woskobożnikow G. M. — Tieoreticzeskije osnovy selektywnogo gamma-gamma karotaża. Izw. AN SSSR, Sier. giefoz., nr 3, 1957.

#### PEZIOE

Во время количественной интерпретации данных радиокаротажа возникает необходимость введения соответствующих поправок в зависимости от метода исследований. Авторы детально рассматривают факторы, влияющие на измерения методами: а) гамма, б) гамма-гамма плотности, в) гамма-гамма селективный, г) нейтронный. Кроме того упоминаются новые виды радиокаротажа.