

JAN SZEWCZYK  
Instytut Geologiczny

## ZWIĄZEK NATURALNEGO PROMIENIOWANIA GAMMA Z ZAIENIEM ORAZ LITOLOGIĄ NA PRZYKŁADZIE UTWORÓW DEWONU GÓR ŚWIĘTOKRZYSKICH

UKD 550.832.553/.554:552.52:552.54:551.734(438.13)

Pole naturalnego promieniowania gamma jest jednym z rodzajów naturalnych pól fizycznych, towarzyszących występowaniu skał. Pomiarów tego pola znalazły szerokie zastosowanie w prospekcji geologicznej, dostarczając wielu bardzo cennych informacji o badanych utworach. Jak dotychczas najszersze zastosowania geologiczne znalazły odwiertowe profilowania naturalnego promieniowania gamma (PG), będąc również jedną z najstarszych i najpowszechniej stosowanych metod geofizyki wiertniczej. Pomiarów tego typu mają podstawowe znaczenie dla określania litologii, zailenia oraz prowadzenia korelacji geofizycznych. Jak wykazuje jednak wieloletnia praktyka, uzyskiwane wyniki mają w bardzo wielu przypadkach charakter niejednoznaczny. Typowym przykładem wieloznaczności mogą być np. wyniki wyróżniania takich skał nieilastych, jak: wapienie, dolomity, piaskowce, anhydryty itd.

Dalszy konsekwentny postęp w metodyce pomiarów gamma, pozwalający na znaczne podniesienie ich efektywności, stanowi wprowadzenie spektrometrycznej metody rejestracji, dającej możliwość selektywnego określenia udziału U, Th i K w obserwowanym promieniowaniu gamma. Informacje tego typu stwarzają, według danych z literatury, możliwość dokładnego określenia typu litologicznego skał, zailenia, charakteru pochodzenia utworów (lądowe, czy morskie), dokładnej korelacji stratygraficznej, a także mają duże znaczenie dla poszukiwań złóż uranu oraz badań geotermicznych. Należy zaznaczyć, że odwiertowy wariant powyższej metody znajduje się obecnie na etapie prac doświadczalnych, praktyczne zastosowanie metody napotyka na trudności natury technicznej. Jedne z pierwszych znanych przykładów efektywnego zastosowania powyższej metody w badaniach odwiertowych można znaleźć w pracy Locka i Hoyera (6).

### I. NATURALNE EMITERY PROMIENIOWANIA GAMMA

Podstawowy udział w naturalnym promieniowaniu gamma, obserwowanym w skałach, mają izotopy dwóch podstawowych rodzin promieniotwórczych  $U^{238}$  oraz  $Th^{232}$ . Porównywalną, do nich ilość promieniowania gamma wytwarza jedyny niestabilny izotop potasu —  $K^{40}$ . Udział pozostałych naturalnych emiterów gamma, ze względu na ich nieznaczne koncentracje w skałach, jest nieistotny z praktycznego punktu widzenia (2).

### Związek między zaileniem a naturalną promieniotwórczością gamma skał

Zailenie jest jednym z najważniejszych parametrów określających właściwości kolektorskie skał osadowych, jak np. ich porowatość oraz przepuszczalność, a także wpływających w bardzo silnym stopniu na oporność właściwą skał, wskazania metod neutronowych, prędkość fal akustycznych i właściwie w większym lub mniejszym stopniu na wyniki wszystkich metod geofizyki wiertniczej. Możliwość oceny zailenia oraz wielkości jego wpływu na pomiary geofizyczne jest jednym z najważniejszych zadań stawianych przed geofizyką wiertniczą. Dla określenia tego parametru wykorzystuje się najczęściej wyniki profilowań naturalnego promieniowania gamma (PG) lub też niekiedy, i to głównie

w przekrojach piaszczysto-ilastych, profilowań potencjałów samoistnych (PS).

Metody powyższe dają na ogół zadowalające wyniki przy jakościowej ocenie tego parametru, gdy próby ilościowego rozwiązania tego zagadnienia narażają na poważne trudności, a uzyskiwane rozwiązania mają bardzo ograniczone i przeważnie jedynie lokalne zastosowania. Dokładniejsze badania w tym zakresie wykazują, że związek między sumarycznym promieniowaniem gamma a zaileniem wykazuje złożony charakter.

Naturalna radioaktywność skał osadowych wiąże się głównie z obecnością w ich składzie minerałów zawierających potas-uran i tor, wraz z produktami ich rozpadu. Powszechnie obserwowane podwyższenie radioaktywności w skałach ilastych spowodowane jest następującymi dwoma czynnikami:

- 1) podwyższoną absorpcją uranu, toru oraz potasu na cząstkach występujących we frakcji ilastej;
- 2) obecnością minerałów zawierających uran, tor oraz potas.

Do najpowszechniej występujących w skałach minerałów ilastych należą:

illit —  $KAl_2 [(OH)_2 Si_4O_{10}] \cdot nH_2O$ ,

kaolinit —  $Al_2 [(OH)_2 Si_4O_{10}]$

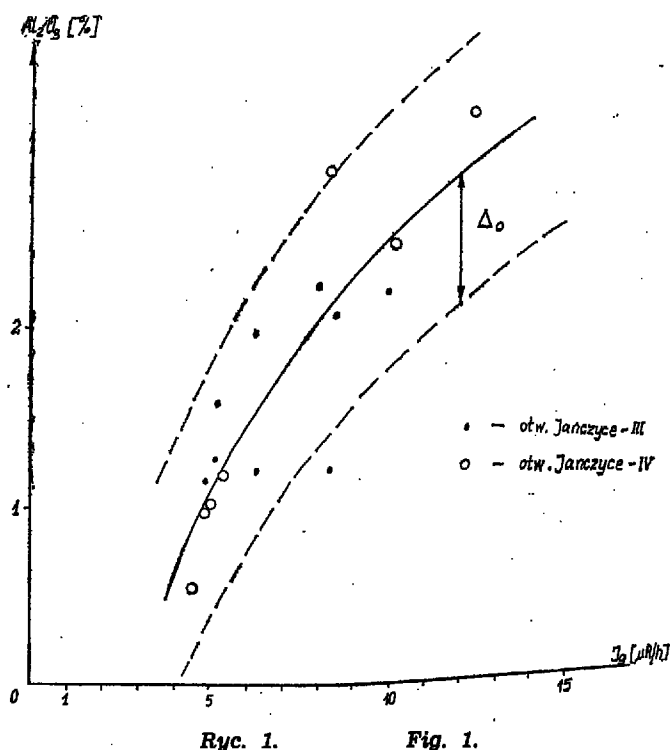
montmorylonit —  $Al_2 [(OH)_2 Si_4O_{10}] \cdot nH_2O$ .

Względna zawartość frakcji ilastej minerałów ilastych jest wielkością zmienną, zależną głównie od ich rodzaju. I tak np. wg Ferronskiego (4) montmorylonit ma średnio ok. 80% cząstek o frakcji mniejszej niż 0,001 mm (w tym ok. 60% cząstek koloidalnych), gdy illity mają najczęściej 20—25% cząstek ilastych (5—10% cząstek koloidalnych).

We frakcji ilastej obok minerałów ilastych mogą występować niejednokrotnie również minerały nieilaste, co czyni dodatkowo charakter związków między zaileniem a naturalną promieniotwórczością skał bardziej złożony. Uzyskanie ilościowych informacji o zaileniu skał jest możliwe przy istnieniu określonych warunków i to jedynie w odniesieniu do ustalonych, krótkich okresów stratygraficznych, w ramach których zarówno skład mineralny, jak i rozwój facjalny pozostaje możliwie stały oraz kiedy w badanych skałach nie występuje mineralizacja uranowa czy torowa.

### Wyniki badań z zastosowaniem pomiarów sumarycznego promieniowania gamma

Jako obiekt badań wybrano węglanowe utwory dewonu środkowego rejonu Gór Świętokrzyskich. W zakres prac doświadczalnych weszły odwiertowe badania naturalnej radioaktywności gamma (PG) oraz szeroki kompleks badań laboratoryjnych, obejmujący badania: chemiczne, granulometryczne, spektrometryczne i petrofizyczne (7). Posiadany materiał doświadczalny niestety nie zawsze zabezpieczał możliwość ścisłego matematycznego opracowania otrzymanych wyników, niemniej nie stanowiło to przeszkody w wyciągnięciu względnie pewnych wniosków o charakterze jakościowym. Na ryc. 1 przedstawiono otrzymaną zależność między zawartością  $Al_2O_3$ , będącą miernikiem koncentracji minerałów ilastych, a natężeniem sumarycznego promieniowania gamma, określonego na podstawie pomiarów wykonanych w odwiertach J-III i IV. Stwierdzono, że między tymi wielkościami istnieje stosunkowo do-



Ryc. 1. Fig. 1.

bra korelacja, opisywana następującym równaniem regresji:

$$Al_2O_3 = 2,04 \cdot \ln J_g - 2,18 \quad [1]$$

$$R = 0,864$$

$$\sigma Al_2O_3 = \pm 0,39\%$$

gdzie:

- $Al_2O_3$  — koncentracja  $Al_2O_3$  w % wagowych,
- $J_g$  — natężenie naturalnego promieniowania gamma w  $\mu R/h$ ,
- $R$  — współczynnik korelacji,
- $\sigma Al_2O_3$  — średni błąd kwadratowy pojedynczego pomiaru w % wagowych.

Dla określenia powyższej zależności wykorzystano 16 analiz  $Al_2O_3$  wykonanych na próbkach brzdowych, pochodzących z otworów J-III i IV, obejmujących średnio odcinki 10 m (przy głębokości otworów ok. 100 m). Każdemu wynikowi analizy chemicznej przyporządkowano średnią wartość geometryczną natężenia naturalnego promieniowania gamma, określoną według pomiarów PG wykonywanych sondą z detektorami typu G-M. Określone powyższym sposobem punkty doświadczalne mają, w sensie statystycznym, dużą wagę. Na ryc. 2 podano zależność ilości frakcji ilastej ( $C_{0,002 \text{ mm}}$ ) w skale od natężenia naturalnego promieniowania gamma. Związek między tymi wielkościami może być opisywany następującym równaniem liniowym:

$$C_{0,002 \text{ mm}} = 1,14 J_g - 0,53 \quad [2]$$

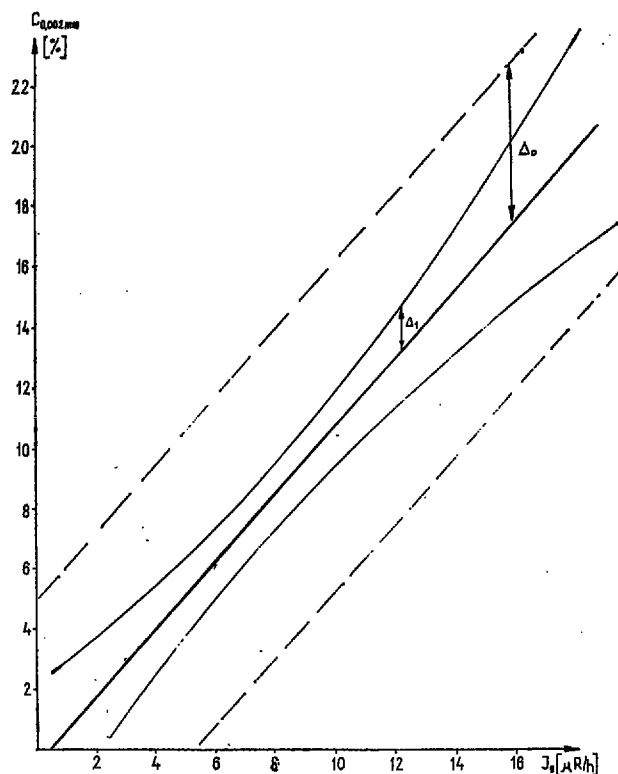
$$R = 0,861$$

$$\sigma C_{0,002 \text{ mm}} = \pm 2,7\%$$

gdzie:

- $C_{0,002 \text{ mm}}$  — koncentracja frakcji ilastej w skale w % wagowych,
- $J_g$  — natężenie naturalnego promieniowania gamma, w  $\mu R/h$ ,
- $R$  — współczynnik korelacji,
- $\sigma C_{0,002 \text{ mm}}$  — średni błąd kwadratowy pojedynczego pomiaru w % wagowych.

Wartości  $C_{0,002 \text{ mm}}$  określane były na podstawie analiz uziarnienia wykonywanych na odcinkach rdzenia o długości ok. 20 cm, skorelowanych uprzednio głębokościowo z krzywą PG. Badania powyższe wykonano dla 26 rdzeni pochodzących z otworu



Ryc. 2. Fig. 2.

T-III. Waga pojedynczych elementów tak określonego zbioru wartości ( $C_{0,002 \text{ mm}}$ ,  $J_g$ ) była niższa w stosunku do wagi elementów poprzednio rozważanego zbioru ( $Al_2O_3$ ,  $J_g$ ), niemniej ze względu na jego większą liczebność, wiarygodność otrzymanych wyników wydaje się porównywalna dla obydwu zbiorów. Dokładność określenia wartości  $C_{0,002 \text{ mm}}$  na podstawie równania [2] jest następująca:

- 1) przedział ufności, w którym znajduje się nie mniej niż 95% pojedynczych wartości  $C_{0,002 \text{ mm}}$ :
 
$$\Delta_0 = U_{\alpha/2} \cdot \sigma C_{0,002 \text{ mm}} \approx 5,4\% \quad [3]$$

gdzie:  $U_\alpha$  — zmienna Studenta dla wartości  $\alpha = 5\%$ .

Przedział ten został przedstawiony na ryc. 2 w postaci dwóch linii równoległych do linii opisywanej równaniem [2].

Analogiczną wielkość określono również dla zależności 1 (ryc. 1).

- 2) przedział ufności, w którym znajdzie się z prawdopodobieństwem 95% przy zadanej wartości  $J_g$  prawdziwa wartość  $C_{0,002 \text{ mm}}$ :

$$\Delta_1 = t_{\alpha/2, n-2} \cdot \sigma C_{0,002 \text{ mm} J_g} \approx 2,0 \cdot \sigma C_{0,002 \text{ mm} J_g} \quad [4]$$

gdzie:  $t_{\alpha/2, n-2}$  — zmienna  $t$  Studenta dla poziomu  $\alpha/2$  i  $n-2$  stopni swobody,

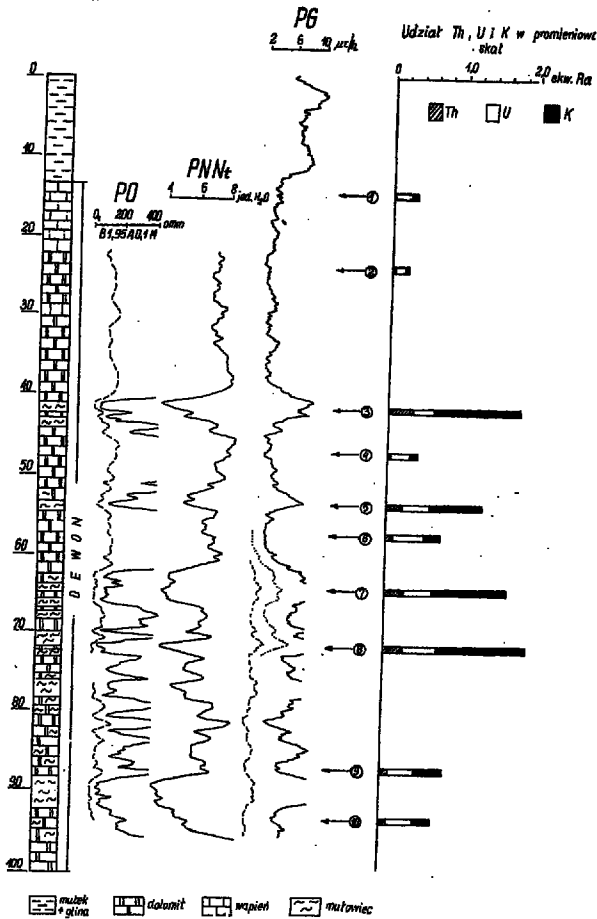
$\sigma C_{0,002 \text{ mm} J_g}$  — standardowe odchylenie wartości  $C_{0,002 \text{ mm}}$  w stosunku do rzeczywistej (teoretycznej) wartości  $C_{0,002 \text{ mm}}$  przy zadanej wartości  $J_g$ . Wielkość ta jest określana wg następującej zależności:

$$\sigma C_{0,002 \text{ mm} J_g} = \sigma C_{0,002 \text{ mm}} \left[ \frac{1}{n} + \frac{(\bar{J}_g - J_g)^2}{\sum (J_g - \bar{J}_g)^2} \right]^{1/2}$$

gdzie:  $n$  — liczebność zbioru ( $C_{0,002 \text{ mm} J_g}$ ,  $J_g$ ),

$\bar{J}_g$  — średnia wartość zbioru  $J_g$  ( $\bar{J}_g = 7,38 \mu R/h$ )

Omówiony powyżej przedział został pokazany na ryc. 2 w postaci dwóch parabol po obu stronach linii regresji (5). Minimum szerokości przedziału występuje w środkowej części rozpatrywanego zbioru dla wartości  $\bar{J}_g$  i  $C_{0,002 \text{ mm}}$ . Zarówno zależność [1] jak i [2] może być wykorzystana w praktyce w roz-



Ryc. 3.

Fig. 3.

ważnym rejonie, z podanymi wyżej błędami, dla określania koncentracji  $Al_2O_3$  oraz  $Ca_{0,002} mm$ . Na podstawie powyższych zależności można ponadto stwierdzić, że również między wielkościami  $Al_2O_3$  i  $Ca_{0,002} mm$  istnieje związek korelacyjny. Ze względu jednak na fakt, że badano próbki pochodzące z różnych otworów, otrzymane wyniki nie mogły być podstawą do szukania ścisłych zależności między tymi wielkościami. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że wzrost natężenia naturalnego promieniowania gamma towarzyszy zarówno wzrostowi koncentracji  $Al_2O_3$ , jak i koncentracji frakcji ilastej w badanych skałach. Dla uzupełnienia powyższych stwierdzeń należy dodać, że według badań mineralogicznych wykonanych wcześniej (9) dominującym minerałem ilastym rozważanych utworów jest illit, a więc, jak to podano wcześniej, minerał posiadający w swoim składzie potas. Powyższe wyniki, mimo że dały praktyczną możliwość określania zarówno zailenia skał, jak i koncentracji  $Al_2O_3$  w skałach, bezpośrednio w warunkach ich naturalnego występowania, nie wyjaśniły jednak w pełni związków między zaileniem oraz litologią a naturalną promieniotwórczością skał.

## II. SPEKTROMETRYCZNE POMIARY NATURALNEGO PROMIENIOWANIA GAMMA

W celu pełniejszego zbadania związków między wielkościami analizowanymi w cz. I, dla 10 próbek skalnych z otworu T-III wykonano laboratoryjne badania spektrometryczne promieniowania gamma. Badania te miały na celu określenie koncentracji K, U i Th w badanych skałach, a także udziału każdego z tych pierwiastków w obserwowanym promieniowaniu gamma. Koncentracje określono odpowiednio w oparciu o linie energetyczne 1,46 MeV ( $K^{40}$ ), 1,76 MeV ( $Bi^{214}$ ) i 2,62 MeV ( $Tl^{208}$ ).

Badania powyższe wykonano w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej przy wykorzy-

staniu sondy z detektorem scyntylacyjnym NaJ(Tl) o wymiarach „5 x 2”, współpracującej z analizatorem amplitudy, posiadającym 512 kanałów. Dokładny opis zastosowanej metodyki badań wraz ze szczegółowym omówieniem otrzymanych wyników podano we wcześniejszym opracowaniu autora (8). Odcinki rdzeni wiertniczych, poddawane powyższym badaniom wybrano głównie na podstawie wyników profilowania gamma (ryc. 3).

Waga analizowanych próbek wahała się w granicach 1,5–2,5 kg, próbki te przed pomiarami zmierzono do frakcji mniejszej niż 2 mm, a następnie umieszczono w niskotłowej osłonie spektrometru. Dla próbek tych nie analizowano stanu równowagi promieniotwórczej w szeregach  $U^{238}$  i  $Th^{232}$ . Można przyjąć, że stan takiej równowagi istniał dla  $Th^{232}$ , gdy dla szeregu  $U^{238}$  mógł być on zaburzony, np. wskutek emanacji  $Rn^{222}$  (próbki nie były hermetyzowane). Na ryc. 4 a–d podano przykłady zarejestrowanych widm promieniowania gamma. W widmach tych obserwowane są następujące linie energetyczne:  $K^{40}$  — 1,46 MeV,  $Bi^{214}$  — 0,609 i 1,76 MeV oraz  $Pb^{214}$  — 0,352 MeV (szereg  $U^{238}$ ),  $Tl^{208}$  — 2,62 MeV (szereg  $Th^{232}$ ).

Ze względu na niskie aktywności badanych próbek rejestrację prowadzono w czasie równym  $5 \cdot 10^3 s$ . W celu pewnego wydzielenia, możliwie największej liczby linii energetycznych, obliczono sumaryczne widmo ośmiu różnych próbek (ryc. 5). Otrzymane powyższym sposobem widmo posiada statystykę zliczeń blisko o rząd wielkości lepszą w stosunku do widm składowych. W widmie tym można zaobserwować dodatkowo następujące linie energetyczne:  $Bi^{214}$  — 1,12 i 2,20 MeV oraz  $Ac^{228}$  — 0,908 MeV. Widmo to odpowiada promieniowaniu próbki skalnej, posiadającej następujące koncentracje pierwiastków promieniotwórczych:

$$K = \sum_{i=1}^8 \frac{W_i \cdot K_i}{W_i} = 0,735\%$$

$$U = \sum_{i=1}^8 \frac{W_i \cdot U_i}{W_i} = 1,15 \text{ ppm}$$

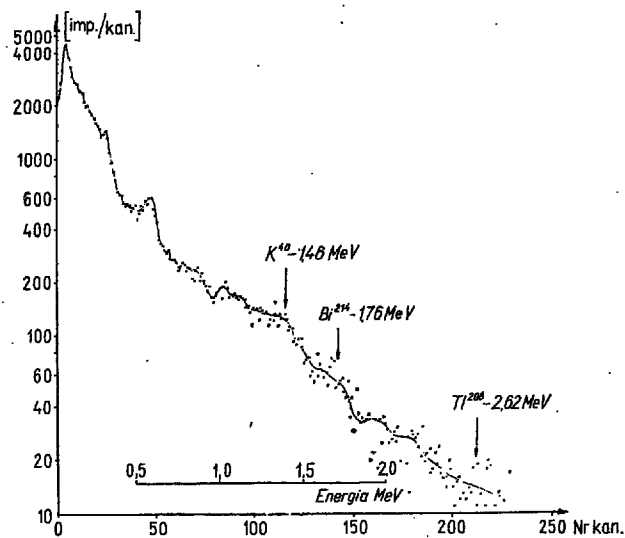
$$Th = \sum_{i=1}^8 \frac{W_i \cdot Th_i}{W_i} = 1,34 \text{ ppm}$$

gdzie:  $W_i$  — waga  $i$ -tej próbki składowej,  
 $K_i, U_i, Th_i$  — koncentracje K, U, Th dla  $i$ -tej próbki.

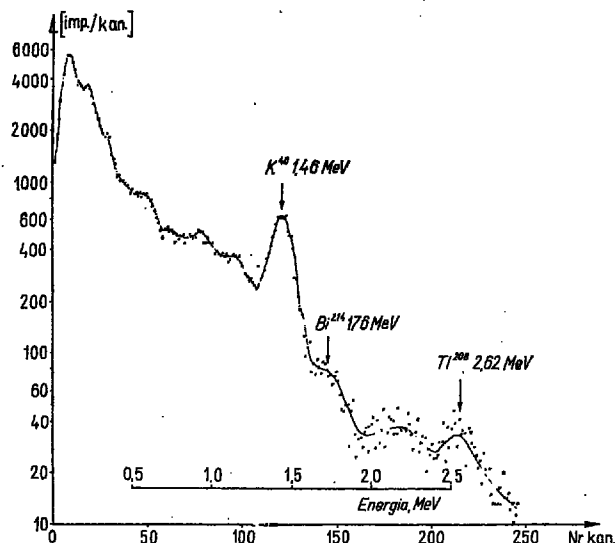
Liczba zarejestrowanych zliczeń jest tu ekwiwalentna czasowi pomiaru równemu  $4 \cdot 10^4 s$  (~11 h). Wyniki oznaczeń koncentracji wykonanych na podstawie tej metody spektrometrycznej podano w tab.

Litologia	Waga (g)	Th (ppm)	U (ppm)	K (%)	U/Th
wapień	2293	0,05	0,95	0,100	19,0
dolomit	1943	0,20	0,56	0,086	2,8
mułowiec dolomityczny	1563	3,47	1,10	1,849	0,32
dolomit	1806	0,34	0,97	0,179	2,85
mułowiec dolomityczny	2480	2,15	1,42	1,140	0,66
dolomit	2343	0,92	1,61	0,323	1,75
mułowiec dolomityczny	2303	2,70	1,45	1,606	0,54
mułowiec	1748	2,63	1,76	1,923	0,67
dolomit	1718	1,12	1,31	0,618	1,17
dolomit	2123	0,89	1,39	0,376	1,56

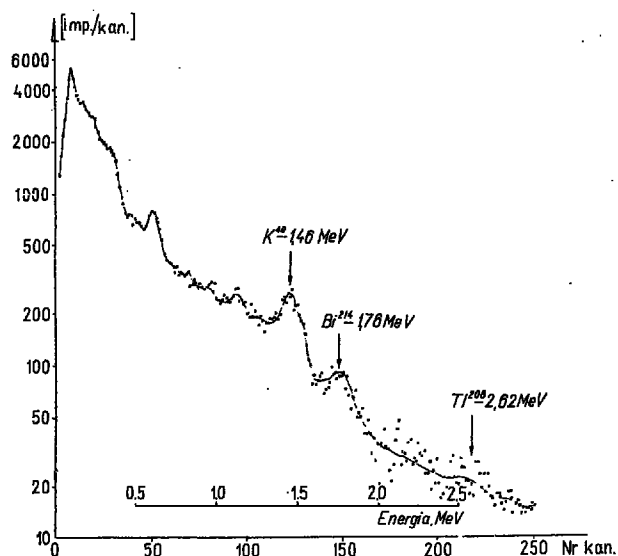
Jak wynika z podanych wartości, najmniejszymi zmianami charakteryzują się koncentracje U (0,56–1,76 ppm) nie wykazując widocznych związków ani z litologią, ani z zaileniem, ani też z głęboko-



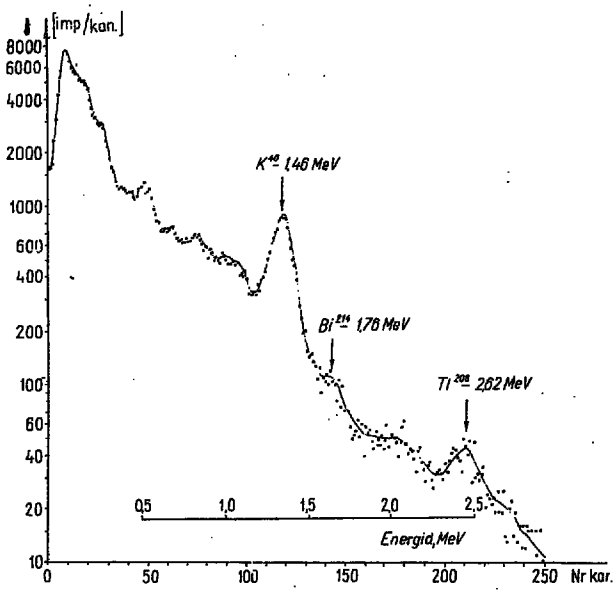
Ryc. 4a. Fig. 4a.



Ryc. 4b. Fig. 4b.



Ryc. 4c. Fig. 4c.



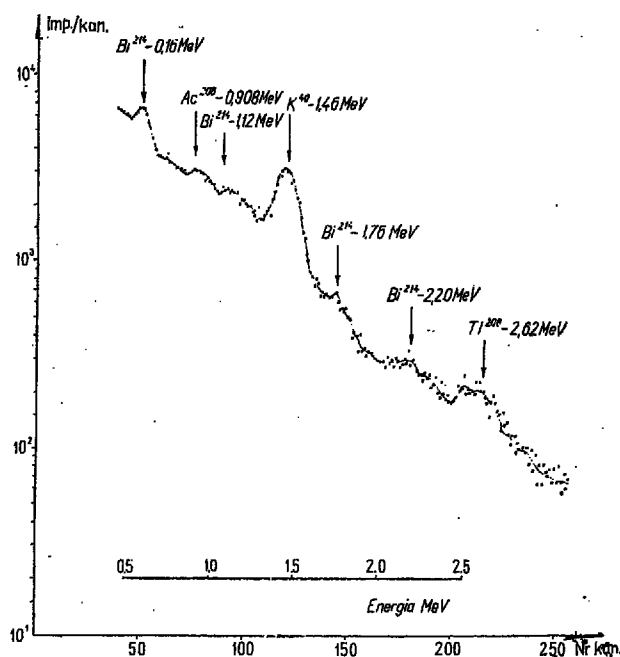
Ryc. 4d. Fig. 4d.

cią występowania badanych skał. Znacznie większymi zmianami charakteryzuje się zarówno Th (0,05—3,47 ppm), jak i K (0,086—1,923%), wykazując przy tym wyraźny związek zarówno z litologią, jak i zailenieniem. Szczególnie interesujący wydaje się tu stosunek U/Th (tab.), który dla dolomitów przyjmie wartości w granicach 1,17—2,8 (wraz ze wzrostem frakcji ilastej wartość tego stosunku ulega zmianie), dla mułowców — 0,3—0,7, dla wapienia — 1—9,0. Równie interesująca wydaje się tu ostatnia z wymienionych wartości. W przypadku wykonania dalszych badań dla większej ilości próbek wapieni, potwierdzających wysoką wartość U/Th — fakt ten mógłby stać się podstawą metody, pozwalającej odróżnić wapienie od dolomitów w otworach wiertniczych. Według badań J. A. S. Adamsa (1) oraz R. Charitonowej (3), wartość stosunku U/Th w skałach węglanowych może się zmieniać, w przeciwieństwie do wszystkich innych typów skał osadowych, w bardzo szerokich granicach. Jak jednak sugerują autorzy, dla określonych rejonów stosunek ten może niejednokrotnie przyjmować stałą wartość, stając się podstawą do odróżniania wapieni od dolomitów.

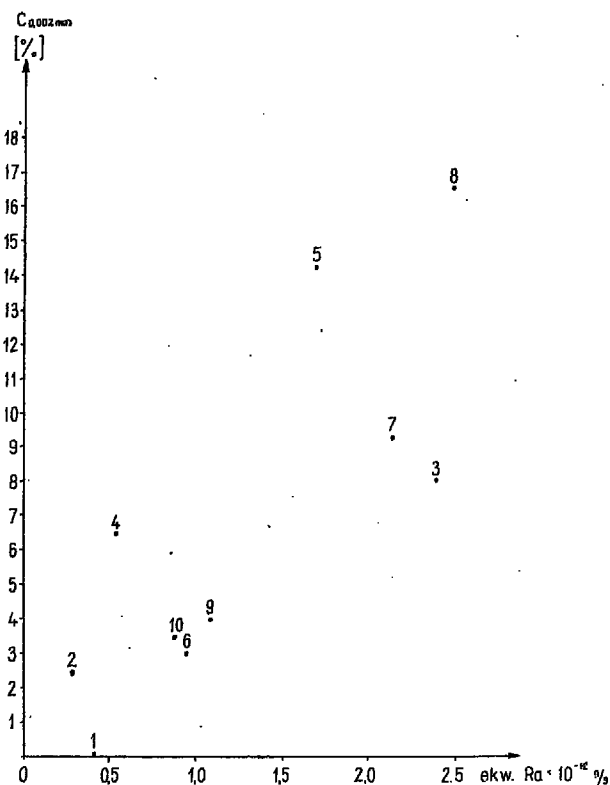
Na ryc. 3 pokazano udział K, U i Th w całkowitej aktywności\* skał, z którego widać że w skałach

ilastych wyraźnie przeważa promieniowanie pochodzące od  $K^{40}$ , co jest oczywiście związane ze zwiększaniem się zawartości illitów w skałach ilastych. Dalszym ciekawym spostrzeżeniem, wynikającym z przeprowadzonych badań, jest fakt, że między sumami zawartości Th i K, czy też ich aktywnościami (a także każdego z tych pierwiastków z osobna) a zailenieniem skał istnieje wyraźny związek korelacyjny. Uran stanowi w rozważanych przypadkach względnie stałe tło, niezależnie od stopnia zailenia ani litologii, co w konsekwencji powoduje również istnienie wyraźnego związku między całkowitą aktywnością skał, a ich zailenieniem (ryc. 6). Potwierdza to wniosek o podobnym charakterze podany w części I niniejszej pracy, gdzie rozważano korelację między sumarycznym promieniowaniem gamma, mierzonym w otworze wiertniczym, i wyrażanym w jednostkach mocy dawki ekspozycyjnej ( $\mu R/h$ ) a zailenieniem skał. Ze względu na niewielką liczbę punk-

\* Aktywność skał wyrażono w ekwiwalentnych koncentracjach K, U i Th, odpowiadających mocy dozy ekspozycyjnej  $10^{-12}g Ra^{226}$  według następujących stałych podanych przez Adamsa (2): 1,25% K, 2,95 ppm (U), 7,87 ppm (Th).



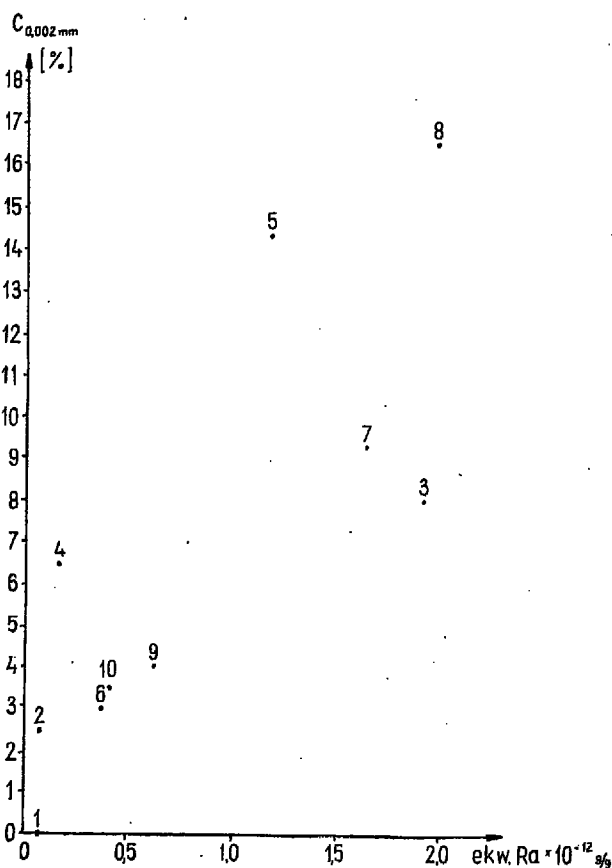
Ryc. 5. Fig. 5.



Ryc. 6. Fig. 6.

tów doświadczalnych zrezygnowano z obliczania równania regresji, niemniej z podanego rozkładu punktów wynika, że również tu zależność ta ma charakter zbliżony do liniowej.

Na ryc. 7 pokazano zależność aktywności próbek, uwarunkowaną obecnością w nich K i Th, od ich zailenia. Z zależności tej wynika, że zailenie skał jest bardzo wyraźnie związane z obecnością w ich składzie K i Th. Bardzo podobne stwierdzenie można znaleźć również w pracy J. A. S. Adamsa (1), gdzie autor wykazał, że K i Th w skałach węgl-



Ryc. 7. Fig. 7.

nowych jest prawie wyłącznie zawarty w częściach nierozpuszczalnych tych skał, tj. głównie ilach, a także w mniejszym stopniu w skaleniach oraz minerałach ciężkich.

Stosunkowo duży rozrzut punktów doświadczalnych, obserwowany na ryc. 6 i 7, jest związany prawdopodobnie z faktem, że zarówno badania frakcji ilastej, jak i badania spektrometryczne miały charakter niszczący, a więc nie dający możliwości badania tych samych próbek. Niejednorodności badanych próbek wydają się więc w tych warunkach w sposób decydujący wpływać na obserwowany rozrzut punktów doświadczalnych. W celu określenia ścisłych związków korelacyjnych między analizowanymi wielkościami należałoby objąć podobnymi badaniami większą liczbę próbek, zabezpieczającą możliwość właściwego statystycznego ich opracowania.

#### WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analizy otrzymanych wyników można podać następujące wnioski:

1. Dla analizowanych skał węglanych pochodzenia dewońskiego zarówno koncentracją frakcji ilastej, jak i koncentracją minerałów ilastych jest rosnącą funkcją natężenia naturalnego promieniowania gamma. Zależności te opisywane odpowiednio równaniami [1] i [2] dają możliwość bezpośredniego określania powyższych parametrów na podstawie standardowych odwiertowych profilowań gamma (PG).

2. Naturalna promieniotwórczość gamma badanych skał uwarunkowana jest obecnością w ich składzie izotopu  $K^{40}$  oraz izotopów rodziny  $U^{238}$  i  $Th^{232}$ .

3. Wzrostowi zailenia skał towarzyszy wzrost koncentracji K oraz Th. Koncentracja U nie wykazuje związków z zaileniem.

4. Wartość stosunku U/Th wydaje się być wskaźnikiem, pozwalającym na jednoznaczną identyfikację litologii skał in situ w badanym rejonie, w tym również dla nie rozwiązanych dotychczas zagadnień odróżniania wapieni od dolomitów.

5. Zarówno dane literaturowe, jak i wyniki prac doświadczalnych wskazują na duże perspektywy zastosowań spektrometrycznych pomiarów naturalnego promieniowania gamma w prospekcji geologicznej.

#### LITERATURA

1. Adams J. A. S., Osmond J. K., Rogers J. J. W. — The geochemistry of uranium and thorium. Phys. Chem. Earth, 1959, vol. 3.
2. Adams J. A. S., Gasparini P. — Gamma-ray spectrometry of rocks. Elsevier P.C., 1970.
3. Charitonowa R. — Uran, tor i kalij w osad-

#### SUMMARY

The paper presents results of studies on natural gamma radiation of carbonate Devonian deposits from the area of the Holy Cross Mts. The results obtained made it possible to find correlations between clay and  $Al_2O_3$  contents and the intensity of gamma radiation. The knowledge of these correlations makes it possible to estimate some parameters directly on the basis of well logging results. Concentrations of U, Th and K, and contributions of these elements to total rock radiation were established on the basis of spectrometric analysis of the core material. It was found that increase in clay content is accompanied by a significant increase in Th and K concentrations, whereas concentration of U remains roughly constant. The studies have also shown that the value of U/Th ratios may serve as a quantitative index for unequivocal lithological identification of rocks in the area studied. Both the studies and the analyses of the results confirm remarkable usefulness of measurements of natural gamma radiation, and particularly measurements involving spectrometric record.

docznych porodach i ich wkład w obszczuju gamma aktywnost. Geochimija, 1964, nr 8.

4. Ferronskij W. J. — Radioizotopnyje metody issledowanija w inżyniernej geologii i gidrogeologii. Atomizdat. Moskwa, 1968.
5. Komarow J. S. — Nakoplenije i obrabotka informacii pri inżynierno-geologiczeskich issledowanijach. Niedra, Moskwa, 1972.
6. Lock G. A., Hoyer V. A. — Natural gamma-ray spectral logging. The Log Analyst. 1971, vol. 9 i 10.
7. Szewczyk J. — Ocena możliwości wykorzystania metod geofizyki wiertniczej przy badaniu złóż surowców skalnych. PPG, 1972.
8. Szewczyk J. — Zastosowanie spektrometrycznych pomiarów naturalnego promieniowania gamma w prospekcji geologicznej. Ibidem, 1973.
9. Tarnowska M. — Badania litologii i mineralizacji utworów emsu i eiflu w rejonie Łagów — Iwaniska. Instytut Geologiczny, 1969.

#### РЕЗЮМЕ

В работе представлены результаты исследования естественного гамма-излучения карбонатных девонских пород в Свентокшиских горах. Установлена корреляционная связь между глинистостью, содержанием глинозёма и интенсивностью гамма-излучения. На основании этой зависимости можно определять указанные параметры по данным профилирования в буровых скважинах. В итоге спектрометрических анализов ядерного материала были выявлены концентрации U, Th и K и определены доли этих элементов в общей радиоактивности пород. Констатируется, что с повышением глинистости возрастает концентрация Th и K при относительно постоянном содержании U. Кроме того, установлено, что соотношение U/Th можно использовать в качестве количественного показателя литологического состава пород данного района. Общій комплекс проведенных работ позволяет сделать заключение, что измерения естественного гамма-излучения, особенно со спектрометрическими определениями, могут иметь важное практическое значение.