

Irena Gašior, Rafał Skupio, Anna Przelaskowska, Mateusz Orzechowski,
Urszula Zagórska, Marek Dohnalik, Sylwia Kowalska

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Wykorzystanie pomiarów naturalnej promieniotwórczości skał z zastosowaniem spektrometru Gamma Logger oraz spektrometru Mazar do określenia zailenia utworów starszego paleozoiku

Celem pracy było zastosowanie pomiarów naturalnej promieniotwórczości do określenia zailenia skał. Zawartości pierwiastków promieniotwórczych uzyskano przy wykorzystaniu spektrometru Gamma Logger oraz za pomocą aparatu typu Mazar. Opracowano modele dla otworu T, cechujące się współczynnikami determinacji R^2 z zakresu $0,67\div 0,71$ dla urządzenia Gamma Logger oraz $0,85\div 0,90$ dla spektrometru Mazar. Weryfikację modeli przeprowadzono na podstawie wyników pomiarów laboratoryjnych składu mineralnego. Uzyskane zależności zastosowano w otworach T oraz M, o podobnej stratygrafii. W obydwu otworach wykonano pomiary spektrometrem Gamma Logger. Kolejnym odwiertem testowym był otwór L, w którym nie przeprowadzono pomiarów spektrometrycznych. W wyniku zastosowania modeli uzyskano wyniki składu mineralnego dobrze skorelowane z danymi laboratoryjnymi ($R^2: 0,67\div 0,87$).

Słowa kluczowe: spektrometr gamma, skład mineralny, pierwiastki promieniotwórcze.

Application of natural radioactivity measurements with the use of Gamma Logger and Mazar spectrometers to determine the clay content of Late Paleozoic rocks

The aim of the research was the application of natural radioactivity measurements to determine the clay content of rocks. Radioactivity content of elements was acquired by using both, Gamma Logger and Mazar spectrometers. Mathematical models for "T" well indicating $R^2 = 0,69\div 0,71$ for Gamma Logger and $R^2 = 0,75\div 0,90$ for Mazar were constructed. The models were verified, using laboratory mineralogical analysis results. The obtained mathematical relations were applied in two wells, "T" and "M", characterized by similar stratigraphy. Measurements were carried out in both wells, using Gamma Logger spectrometer. Another well, "L", was not tested with any spectrometers. Application of mathematical models indicate good correlation between modeled mineralogical content and laboratory results with $R^2 = 0,67\div 0,87$.

Key words: gamma spectrometer, bulk mineralogy, radioactive elements.

Wprowadzenie

Celem pracy było zastosowanie pomiarów naturalnej promieniotwórczości do określenia składu mineralnego skał w utworach dolnopaleozoicznych basenu bałtyckiego. Zawartości pierwiastków promieniotwórczych uzyskano przy

wykorzystaniu spektrometru Gamma Logger oraz za pomocą aparatu typu Mazar.

Naturalna promieniotwórczość skał (Th, U, K) jest ściśle związana ze składem mineralnym oraz zawartością sub-

stancji organicznej. Źródłem potasu są miki, minerały ilaste, takie jak illit i minerały mieszanopakietowe: illit-smektyt, oraz skalenie potasowe. Tor występuje w minerałach ilastych oraz minerałach ciężkich, natomiast podwyższone zawartości uranu widoczne są w skałach zawierających fosforany (apatyty – fosforany wapnia), uran związany jest także

z substancją organiczną [2]. Zarówno tor, jak i potas mogą służyć jako wskaźniki zailenia. Opisane związki pomiędzy składem mineralnym a zawartością pierwiastków promieniotwórczych pozwoliły na opracowanie modeli wiążących pomiary naturalnej promieniotwórczości ze składem mineralnym skał.

Metodyka pomiarowa

W niniejszym artykule wykorzystano wyniki pomiarów próbek z odwiertu T z basenu bałtyckiego. W otworze tym dysponowano pełnym kompletem danych, takich jak:

- pomiary naturalnej promieniotwórczości – zarówno pomiar ciągły na rdzeniu (wykonane spektrometrem Gamma Logger), jak i pomiary punktowe na próbce zmielonej i skwartowanej (Mazar). Zawartości potasu K, uranu U i toru Th uzyskane przy pomocy spektrometru gamma (Gamma Logger) zostały zarejestrowane na rdzeniu z krokiem równym 0,10 m. Wartości te porównano następnie z danymi laboratoryjnymi,
- skład mineralny wyznaczony metodą dyfrakcji rentgenowskiej (XRD),
- skład chemiczny wyznaczony metodą fluorescencji rentgenowskiej (XRF).

Do przeprowadzenia badań na rdzeniach wiertniczych skał łupkowych wykorzystano zmodyfikowany spektrometr gamma. Urządzenie zostało przystosowane do automatycznego, punktowego pomiaru z zadaniem krokiem (10 cm) i czasem pomiarowym (60 s) metrowych odcinków rdze-

nia. Gamma Logger wyposażony jest w kryształ scyntylacyjny BGO ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ – germanian bizmutu) o wymiarach $2'' \times 2''$, cechujący się dużą wydajnością (ok. 10% wyższą niż w przypadku NaI) [3, 6]. Wyniki pomiarów zostały zapisane w postaci widm spektrometrycznych, a następnie przy wykorzystaniu dedykowanego oprogramowania przeliczone na rzeczywiste koncentracje pierwiastków promieniotwórczych (K, U, Th). Na oszacowanie wartości rzeczywistych pozwolił zestaw wzorców kalibracyjnych o znanej koncentracji oraz średnicy [5].

Punktowe pomiary naturalnej promieniotwórczości wykonano przy pomocy trójkanałowego spektrometru promieniowania gamma typu Mazar.

Skład mineralny skał określono na podstawie ilościowej analizy rentgenowskiej, wykonywanej standardowo w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej INiG – PIB w Krakowie [1].

Pomiary składu chemicznego wykonano przy pomocy przenośnego spektrometru S1 TITAN firmy Bruker, wykorzystującego metodę rentgenowskiej analizy fluorescencyjnej z dyspersją energii (EDXRF) [4].

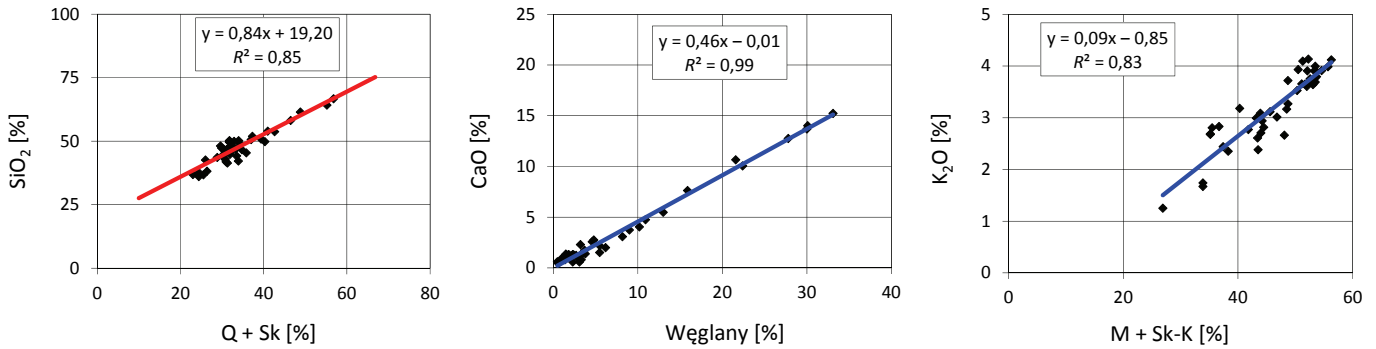
Materiał badawczy

Badane dolnopaleozoiczne skały pochodzące z odwiertu T reprezentowane są przez czarne, bitumiczne ilowce i mułowce z graptolitami o stosunkowo mało zróżnicowanym składzie mineralnym. Większość próbek zawiera średnio około 50% minerałów ilastych, 25÷30% kwarcu i zmienne ilości węglanów (od 0,6% do 33%). W celu kontroli jakości uzyskanych wyników przeprowadzono analizę korelacyjną składu mineralnego i chemicznego badanych skał. Wykresy korelacyjne pomiędzy zawartością głównych minerałów skałotwórczych kwarcu i skalenia a zawartością SiO_2 ; węglanów a zawartością CaO; sumą mik, minerałów ilastych z grupy illitu i skalenia potasowych a zawartością K_2O (rysunek 1) odzwierciedlają standardowe zależności geochemiczne. Zbiór wspomnianych parametrów liczył 45 próbek.

W większości prezentowanych korelacji uzyskano wysokie współczynniki determinacji R^2 – z przedziału 0,83÷0,99. W przypadku korelacji zawartości SiO_2 z sumą zawartości

kwarcu i skalenia R^2 wynosi 0,85. Dla porównania można się przyjrzeć wykresowi zależności zawartości CaO i węglanów. Ze względu na to, że w większości badanych skał CaO występuje głównie w węglanach, otrzymujemy wysokie współczynniki determinacji R^2 , dochodzące do 0,99. Dobłą korelację uzyskano również pomiędzy zawartością K_2O a sumą mik i minerałów ilastych z grupy illitu oraz skalenia potasowych ($R^2 = 0,83$).

Zawartości pierwiastków promieniotwórczych: potasu K, uranu U i toru Th wyznaczone przy wykorzystaniu spektrometru Gamma Logger zmieniają się odpowiednio w zakresie: od 1,1% do 4,2%, od 2,9 ppm do 21,1 ppm i od 7,0 ppm do 19,6 ppm; określone za pomocą aparatu typu Mazar wahają się odpowiednio: od 1,4% do 3,8%, od 2,5 ppm do 20,1 ppm i od 2,8 ppm do 14,2 ppm. Zawartość potasu K wyznaczona metodą fluorescencji rentgenowskiej XRF przyjmuje wartości od 1% do 3,4%.



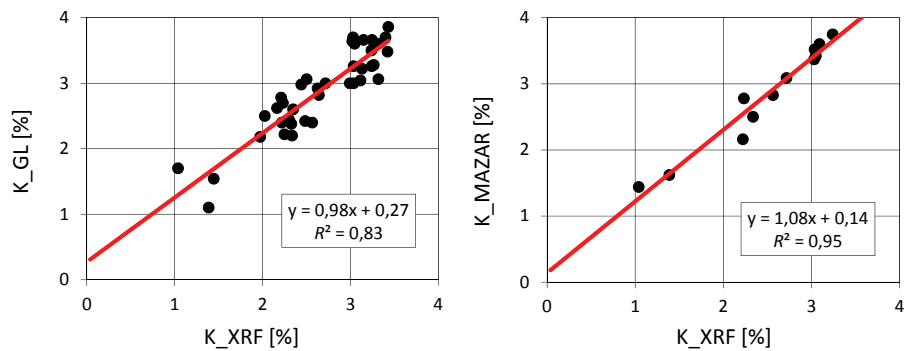
Rys. 1. Wykresy korelacyjne prezentujące zależności pomiędzy składem mineralnym (XRD) i chemicznym (XRF) dla skał z odwiertu T (Q + Sk – suma kwarcu i skaleni, M + Sk-K – suma mik, minerałów ilastych z grupy illitu i skaleni potasowych)

Analiza porównawcza rzeczywistych koncentracji zawartości pierwiastków promieniotwórczych uzyskanych różnymi metodami

Na rysunku 2 przedstawiono korelacje wyników zawartości potasu K uzyskanych metodą rentgenowskiej analizy fluorescencyjnej XRF oraz punktowymi (Mazar) i ciągłymi (Gamma Logger) pomiarami naturalnej promieniotwórczości skał. Otrzymano wysokie wartości współczynników determinacji R^2 , co świadczy o spójności wyników.

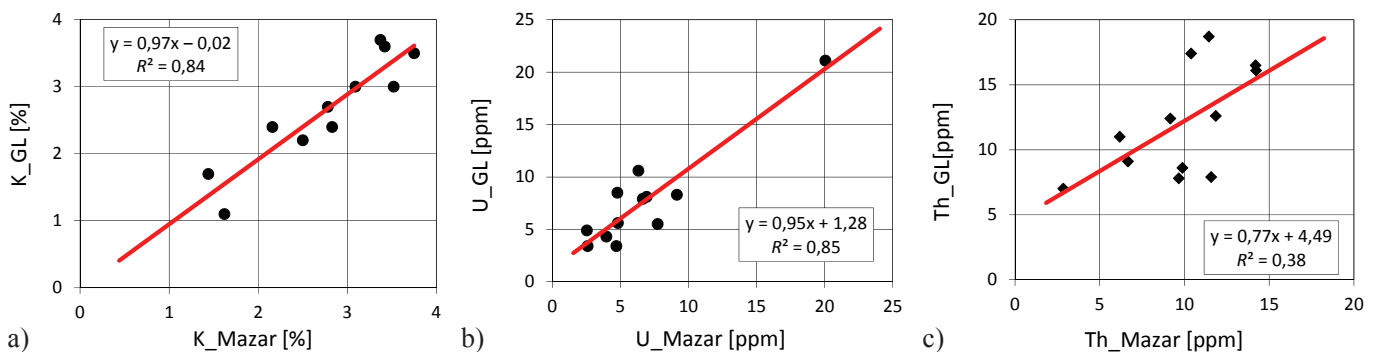
W następnej kolejności porównano wyniki pomiarów pierwiastków promieniotwórczych (Th, U, K) na próbkach zmielonych (Mazar) (n = 13) z pomiarami na rdzeniu (Gamma Logger) (rysunek 3).

Otrzymane zależności świadczą o dobrej zgodności pomiarów zawartości potasu i uranu – uzyskane współczynniki determinacji wynoszą odpowiednio 0,84 i 0,85 (rysunek 3a, b). Znacznie większy rozrzut wyników zaobserwowany w przypadku pomiarów zawartości toru (rysunek 3c) jest związany ze specyfiką metody pomiarowej. Charakterystyczny dla toru pik występuje w wysokoenergetycznej czę-

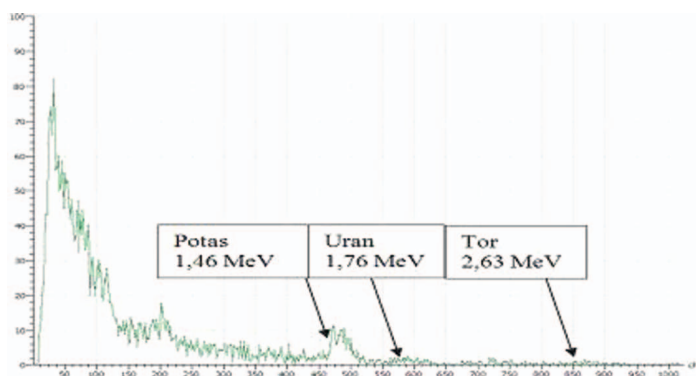


Rys. 2. Porównanie zawartości potasu uzyskanych różnymi metodami (rentgenowska analiza fluorescencyjna – K_XRF, pomiary naturalnej promieniotwórczości przy wykorzystaniu miernika typu Mazar – K_MAZAR oraz spektrometru Gamma Logger – K_GL)

ści widma rejestrowanego przez detektor, a wraz ze wzrostem energii spada wydajność kryształu detekcyjnego, czego efektem jest niewielka liczba zliczeń w obszarze zainteresowania. Rysunek 4 ukazuje położenie charakterystycznych pików dla wszystkich pierwiastków promieniotwórczych, pik pochodzący od energii 2,63 MeV jest bardzo niski, co ma wpływ na dalsze metody obliczania rzeczywistych koncentracji. Niewielka liczba zliczeń w wysokoenergetycznej



Rys. 3. Zależności pomiędzy pomiarami naturalnej promieniotwórczości uzyskanej różnymi metodami w otworze T



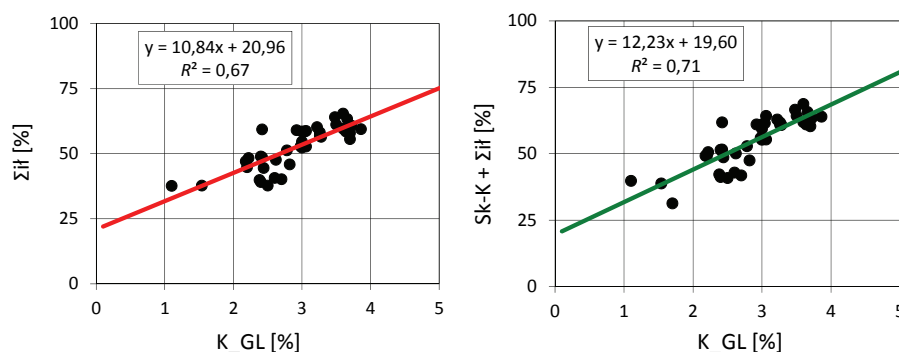
części widma powoduje występowanie dużych fluktuacji statystycznych w końcowym wyniku, co przekłada się na niskie wartości współczynnika determinacji R^2 .

Rys. 4. Widmo energetyczne z zaznaczonymi charakterystycznymi pikami od potasu, uranu i toru

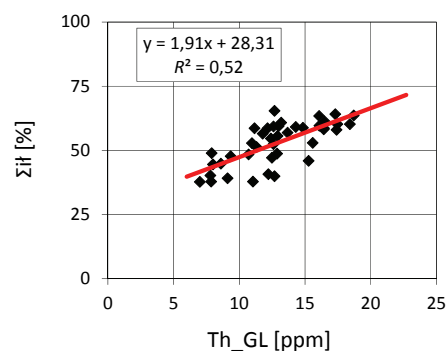
Opracowanie modeli do określenia składu mineralnego skał

Do opracowania modeli matematycznych, które mogą być wykorzystane do oceny składu mineralnego, zastosowano regresję liniową. Przebadało się związki pomiędzy udziałem minerałów ilastych i skaleni potasowych a zawartością potasu oraz sumą minerałów ilastych a zawartością toru. Warto podkreślić, że zostały porównane wyniki punktowych pomiarów laboratoryjnych (XRD) z rezultatami pomiarów odzwierciedlających uśrednione wartości z określonej objętości ośrodka skalnego (Gamma Logger). Uzyskano dobrą korelację pomiędzy zawartością potasu a sumą minerałów ilastych: $R^2 = 0,67$; uwzględnienie skaleni potasowych nieco poprawiło wynik: $R^2 = 0,71$ (rysunek 5). Korelacja sumy minerałów ilastych z zawartością Th jest nieco słabsza: $R^2 = 0,52$ (rysunek 6). Prawdopodobnie wpływ na to mają dwa czynniki: z jednej strony mniejsza dokładność pomiarów Th, a z drugiej – charakter materiału ilastego w skałach dolnosylurskich. Minerale ilaste reprezentowane są tutaj przede wszystkim przez illit i mocno zdiagenezowane minerały mieszanopakietowe illit–smektyt, co oznacza wysoką zawartość potasu związanego w strukturze minerałów, a jednocześnie niewielkie ilości słabiej związanych ze strukturą minerału kationów zaadsorbowanych na powierzchni i w przestrzeniach międzypakietowych – takich jak tor. Związek sumy Th i K (rysunek 7) z ilami jest nieco lepszy niż korelacja uzyskana tylko dla toru (rysunek 5 i 6).

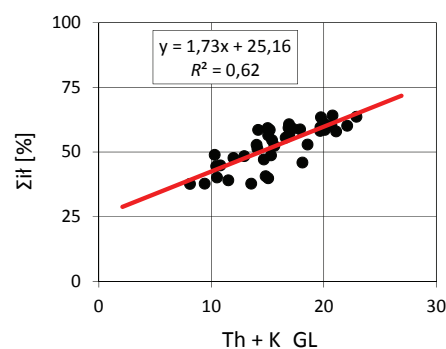
Dodatkowo zbadano, analogiczne do powyższych, zależności pomiędzy składem mineralnym a zawartością pierwiastków promieniotwórczych dla punktowych pomiarów naturalnej promieniotwórczości (Mazar). W tym przypadku uzyskano bardzo dobre korelacje pomiędzy zawartością potasu a sumą minerałów ilastych ($R^2 = 0,85$) oraz zawartością potasu a sumą minerałów ilastych i skaleni potaso-



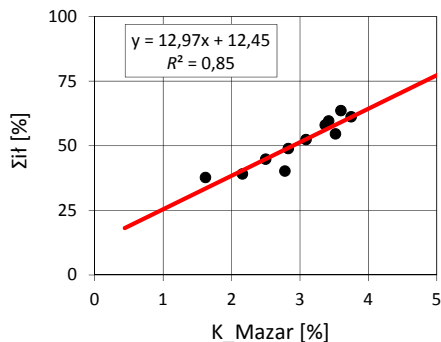
Rys. 5. Związek zawartości minerałów ilastych (Σil) oraz sumy minerałów ilastych i skaleni potasowego (Sk-K) z ilością potasu pomierzonego spektrometrem Gamma Logger (K_{GL})



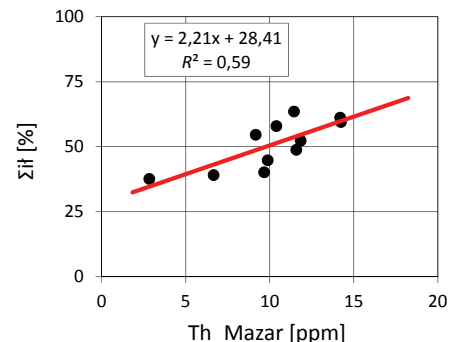
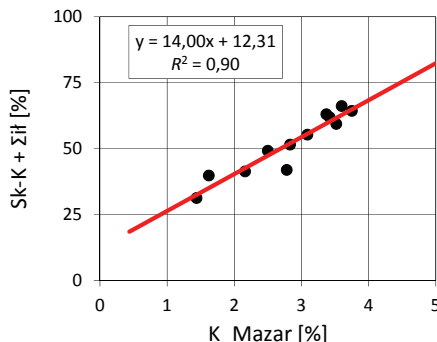
Rys. 6. Związek zawartości minerałów ilastych (Σil) z ilością toru pomierzonego spektrometrem Gamma Logger (Th_{GL})



Rys. 7. Związek zawartości minerałów ilastych (Σil) z ilością toru i potasu pomierzonych spektrometrem Gamma Logger (Th_{GL} , K_{GL})



Rys. 8. Związek zawartości minerałów ilastych (Σil) oraz sumy minerałów ilastych i skalenia potasowego (Sk-K) z ilością potasu pomierzonego spektrometrem typu Mazar (K_Mazar)



Rys. 9. Związek zawartości minerałów ilastych (Σil) z ilością toru pomierzonego spektrometrem typu Mazar (Th_Mazar)

wego ($R^2 = 0,90$) (rysunek 8). Związek toru z sumą minerałów ilastych (rysunek 9) jest zbliżony do korelacji otrzy-

mej dla pomiarów ciągłych wykonanych urządzeniem Gamma Logger (rysunek 6).

Wykorzystanie opracowanych modeli matematycznych w profilach wybranych otworów wiertniczych badanego rejonu

Najlepsze skonstruowane modele matematyczne (tablica 1) zostały zastosowane do ilościowej oceny zawartości minerałów ilastych i skalenia potasowych na podstawie naturalnej promieniotwórczości, wykonanej spektrometrem Gamma Logger w profilu otworu T (rysunek 10).

Otrzymano dobre dopasowanie składu mineralnego z badań laboratoryjnych i modeli interpretacyjnych. Trendy zmienności obliczonych parametrów są generalnie ze sobą zgodne.

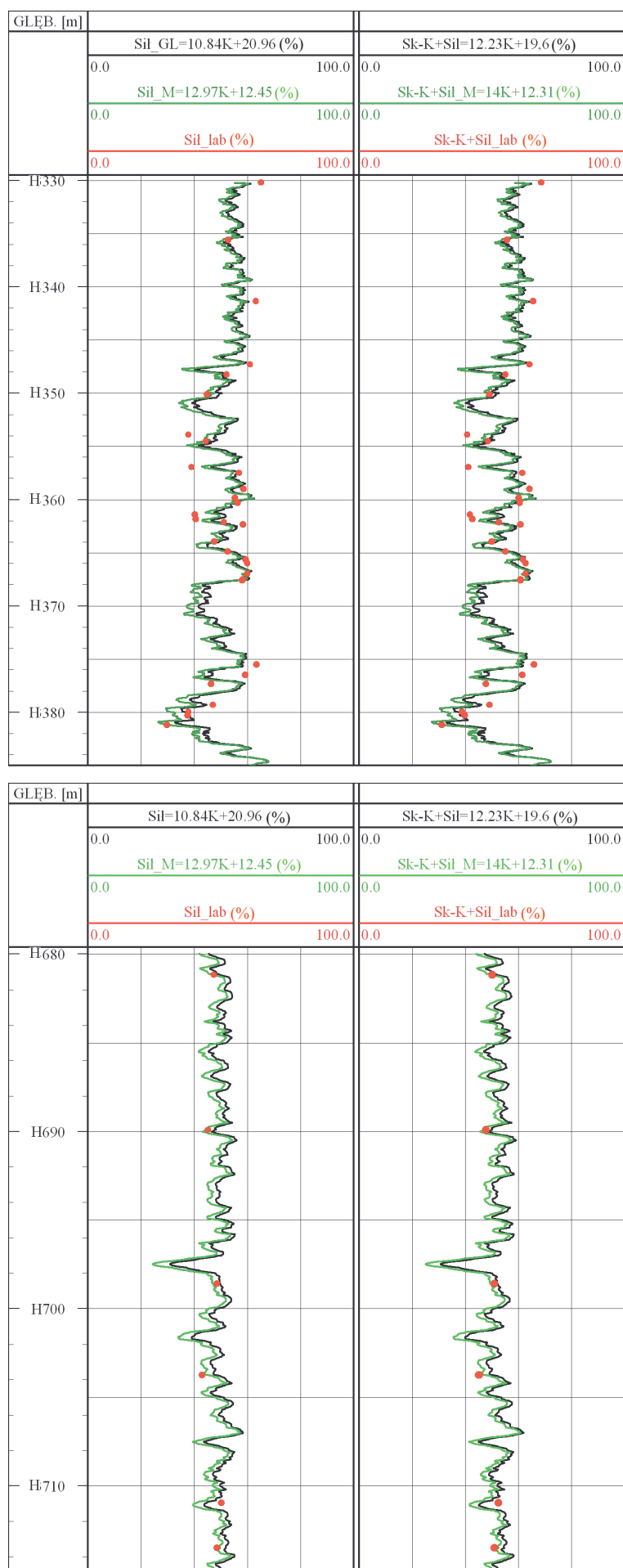
W dalszej kolejności zbadano, jak skonstruowane modele (tablica 1) sprawdzają się w innym otworze z badanego rejonu, o profilu litostratygraficznym zbliżonym do profilu otworu T, w którym dysponowano analogicznym zestawem danych. Rezultaty przedstawiono w dwóch interwałach głębokościowych: H680–H715 m i Z765–Z800 m na rysunkach 11 i 12.

Otrzymano dobrą zgodność składu mineralnego uzyskanego z badań laboratoryjnych i obliczonego przy zastosowaniu modeli interpretacyjnych – współczynniki determinacji R^2 dla sumy minerałów ilastych i dla sumy skalenia potasowych i minerałów ilastych wynoszą od 0,69 do 0,76 (rysunek 13).

Następnym etapem pracy było wykorzystanie skonstruowanych modeli (tablica 1) w odwiercie L, leżącym w badanym obszarze, w którym nie wykonano pomiarów spektrometrem Gamma Logger, dysponowano natomiast wynikami pomiarów składu mineralnego XRD oraz zawartością potasu K, określoną na podstawie analiz chemicznych. Uzyskane rezultaty zaprezentowano na rysunku 14. Otrzymano dobrą zgodność danych laboratoryjnych z danymi wyliczonymi z modeli regresyjnych, współczynniki determinacji R^2 są wysokie (0,83÷0,87).

Tablica 1. Modele zastosowane do obliczania składu mineralnego skał w profilu odwiertu

Modele opracowane na podstawie wyników pomiarów urządzeniem Gamma Logger
$\Sigma il = 10,84 \cdot K + 20,96$
$Sk-K + \Sigma il = 12,23 \cdot K + 19,60$
Modele opracowane na podstawie wyników pomiarów aparatem typu Mazar
$\Sigma il = 12,97 \cdot K + 12,45$
$Sk-K + \Sigma il = 14,00 \cdot K + 12,31$



Rys. 10. Zawartość sumy minerałów ilastych (kolumna 2) oraz sumy minerałów ilastych i skałeni potasowych (kolumna 3) otrzymana na podstawie pomiarów naturalnej promieniotwórczości spektrometrem Gamma Logger w otworze T, określona przy wykorzystaniu opracowanych modeli matematycznych

Objaśnienia:

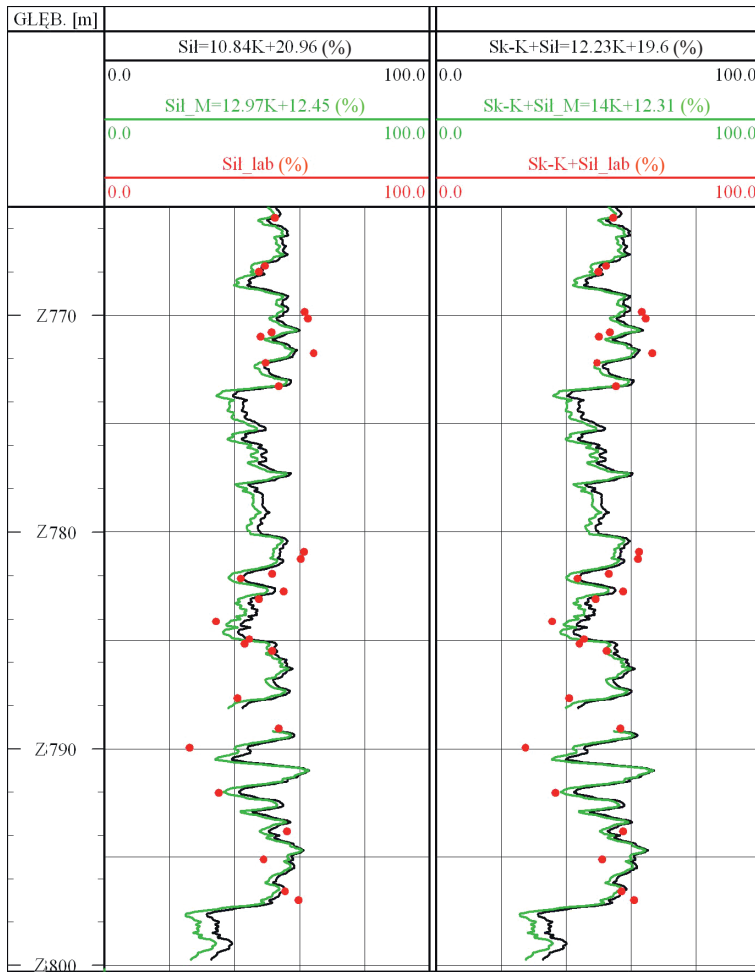
Sił_GL – suma minerałów ilastych określona na podstawie modelu opracowanego na bazie danych uzyskanych z pomiarów spektrometrem Gamma Logger;

Sił_M – suma minerałów ilastych określona na podstawie modelu opracowanego na bazie danych uzyskanych z pomiarów na aparacie typu Mazar;

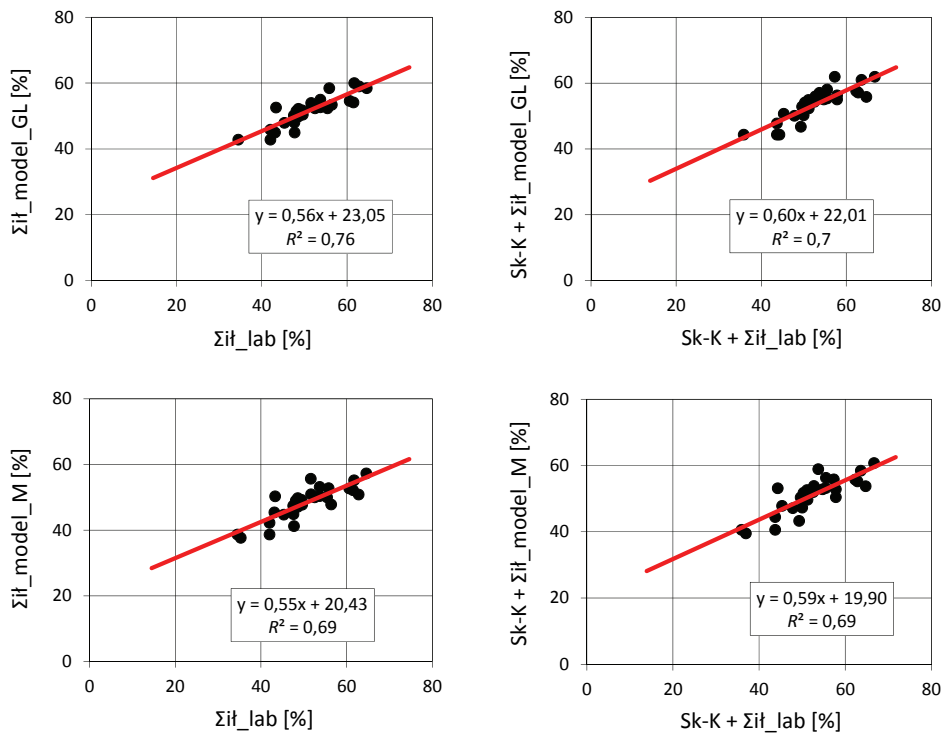
Sk-K + Sił_GL – suma minerałów ilastych i skałeni potasowego określona na podstawie modelu opracowanego na bazie danych uzyskanych z pomiarów spektrometrem Gamma Logger;

Sk-K + Sił_M – suma minerałów ilastych i skałeni potasowych określona na podstawie modelu opracowanego na bazie danych uzyskanych z pomiarów aparatem typu Mazar.

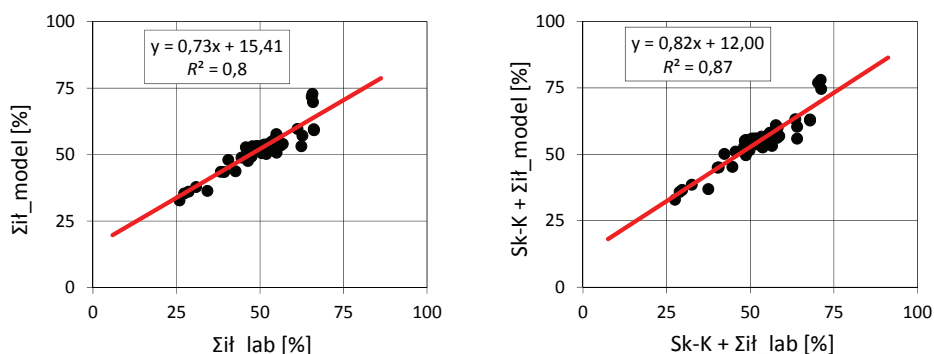
Rys. 11. Zawartość sumy minerałów ilastych (kolumna 2) oraz sumy minerałów ilastych i skałeni potasowych (kolumna 3) uzyskana na podstawie pomiarów naturalnej promieniotwórczości spektrometrem Gamma Logger w otworze M (interwał głębokościowy: H680–H715 m)



Rys. 12. Zawartość sumy minerałów ilastych (kolumna 2) oraz sumy minerałów ilastych i skałeni potasowych (kolumna 3) uzyskana na podstawie pomiarów naturalnej promieniotwórczości spektrometrem Gamma Logger w otworze M (interwał głębokościowy: Z765–Z800 m)



Rys. 13. Korelacja składu mineralnego uzyskanego z modeli interpretacyjnych opracowanych dla odwiertu T i z pomiarów laboratoryjnych w otworze wiertniczym M (model_GL – model opracowany na podstawie wyników pomiarów urządzeniem Gamma Logger; model_M – model opracowany na podstawie wyników pomiarów aparatem typu Mazar)



Rys. 14. Korelacja składu mineralnego uzyskanego z modeli regresyjnych i z pomiarów laboratoryjnych w otworze wiertniczym L

Podsumowanie i wnioski

1. Skonstruowano modele matematyczne do określenia zawartości minerałów ilastych i skaleni potasowych na podstawie wyników pomiarów naturalnej promieniotwórczości, z zastosowaniem spektrometru Gamma Logger w odwiercie T. W modelach wykorzystano także zawartości pierwiastków promieniotwórczych wyznaczone przy pomocy spektrometru typu Mazar. Do opracowania modeli wykorzystano regresję liniową.
2. Weryfikację wyników uzyskanych przy zastosowaniu modeli przeprowadzono w oparciu o badania laboratoryjne w otworach: T, M oraz L. Zawartości minerałów ilastych i skaleni potasowych wyznaczone laboratoryjnie i określone na podstawie opracowanych modeli interpretacyjnych w badanych utworach wykazują dobrą zgodność.
3. Przedstawione wyniki potwierdzają zasadność wykorzystania pomiarów naturalnej promieniotwórczości, wykonanych spektrometrem Gamma Logger, do ilościowej oceny składu mineralnego skał w profilach odwiertów w badanym rejonie.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2016, nr 10, s.790–798, DOI: 10.18668/NG.2016.10.03

Artykuł nadesłano do Redakcji 13.04.2016 r. Zatwierdzono do druku 28.06.2016 r.

Artykuł powstał w ramach realizacji projektu pt. *Metodologia wyznaczania sweet spot'ów na podstawie własności geochemicznych, petrofizycznych, geomechanicznych w oparciu o korelację wyników badań laboratoryjnych z pomiarami geofizycznymi i model generacyjny 3D*, dofinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu BLUE GAS – POLSKI GAZ ŁUPKOWY. Nr umowy nr: BG1/MWSSSG/13.

Literatura

- [1] Kowalska S.: *Określanie ilościowego składu mineralnego skał zawierających minerały ilaste metodą Rietvelda*. Nafta-Gaz 2013, nr 12, s. 894–902.
- [2] Schön J. H.: *Physical Properties of Rocks: A Workbook*. Handbook of Petroleum Exploration and Production, vol. 8. Elsevier, 2011.
- [3] Skupio R.: *Accuracy assessment of the determination of radioactive elements concentration on shale cores*. Nafta-Gaz 2015, nr 6, s. 390–399.
- [4] Skupio R.: *Wykorzystanie przenośnego spektrometru XRF do pomiarów składu chemicznego skał*. Nafta-Gaz 2014, nr 11, s. 771–777.
- [5] Skupio R., Dohnalik M.: *Improvement spectrometric gamma measurements on shale cores with the use of the BGO scintillation detector*. Nafta-Gaz 2015, nr 11, s. 847–855.
- [6] Van der Graaf E. R., Rigollet C., Maleka P. P., Jones D. G.: *Testing and assessment of a large BGO detector for beach monitoring of radioactive particles*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 2007, vol. 575, no. 3, s. 507–518.



Mgr Irena GAŠIOR
Starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubiec 25 A
31-503 Kraków
E-mail: irena.gasior@inig.pl



Mgr inż. Rafał SKUPIO
Asystent w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: rafal.skupio@inig.pl



Mgr Anna PRZELASKOWSKA
Starszy specjalista badawczo-techniczny
w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: anna.przelaskowska@inig.pl



Mgr Mateusz ORZECZOWSKI
Specjalista inżynieryjno-techniczny w Zakładzie
Geofizyki Wiertniczej.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: mateusz.orzechowski@inig.pl



Mgr Urszula ZAGÓRSKA
Specjalista inżynieryjno-techniczny w Zakładzie
Geofizyki Wiertniczej.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: urszula.jonkis@inig.pl



Dr inż. Marek DOHNALIK
Kierownik Zakładu Geofizyki Wiertniczej.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: marek.dohnalik@inig.pl



Dr Sylwia KOWALSKA
Adiunkt w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: sylwia.kowalska@inig.pl

OFERTA

ZAKŁAD GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

Zakres działania:

- badania tomograficzne skał:
 - » trójwymiarowa wizualizacja i analiza wewnętrznej struktury przestrzeni porowej skał metodą mikrotomografii rentgenowskiej (micro-CT),
 - » tomografia metrowych odcinków skał, profilowanie zmian parametrów petrofizycznych rdzenia (porowatość, gęstość objętościowa);
- badania metodą jądrowego rezonansu magnetycznego:
 - » określanie rozkładu nasycenia wodą przestrzeni porowej próbek,
 - » generacja map T1-T2, szacowanie nasycenia wodą/węglowodorami,
 - » identyfikacja obecności substancji organicznej TOC;
- oznaczanie jakościowego i ilościowego składu mineralnego skał oraz wydzielonej frakcji ilastej na podstawie analizy rentgenowskiej;
- wyznaczenie zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych: uranu, toru i potasu w skałach, płuczkach wiertniczych i materiałach budowlanych;
- ocena elektrycznych parametrów skał (wskaźnika struktury porowej i zwilżalności);
- określanie zależności elektrycznej oporności właściwej płuczek wiertniczych od temperatury;
- ocena prędkości propagacji fal ultradźwiękowych w skałach, kamieniach cementowych i płuczkach wiertniczych;
- badanie przewodności cieplnej skał;
- wyznaczenie współczynnika przepuszczalności;
- badanie gęstości, gęstości właściwej i porowatości;
- interpretacja profilowań geofizycznych w zakresie oceny stanu zacementowania rur okładzinowych w otworach;
- badania serwisowe:
 - » analiza chemiczna skał metodą fluorescencji rentgenowskiej;
 - » spektrometryczne pomiary gamma na rdzeniu wiertniczym: ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , total gamma przy wykorzystaniu mobilnego urządzenia „Gamma Logger”.



Kierownik: dr inż. Marek Dohnalik
Adres: ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków
Telefon: 12 650 67 70
Faks: 12 617 74 70, 12 653 16 65
E-mail: marek.dohnalik@inig.pl

