

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

WSTĘP

Charakterystykę pomiarów geofizyki otworowej z otworu Bibiela PIG 1 wykonano na podstawie dokumentacji geologicznej otworu badawczego Bibiela PIG 1 (Habryn i in., 2017) oraz cyfrowych danych geofizycznych w formacie LAS ze zbioru CBDG PIG-PIB. Profilowanie geofizyczne

w otworze wykonane zostało w dniach 22.06.–12.07.2015 przez przedsiębiorstwo Geofizyka Kraków sp. Z o.o. oraz przez firmę Bohrlochmessung – Storkow GmbH w dniach 08–12.02.2016, oraz 26.02.2016.

WYNIKI BADAŃ

Pomiary geofizyki otworowej wykonano na głęb. 25,5–1650,00 m, w trzech odcinkach pomiarowych. Pomiary dla odcinka I i II wykonane zostały przez firmę Geofizyka Kraków Sp. Z o.o. przy pomocy aparatury f. Tucker, natomiast dla odcinka III – zestawem JL AC544 przez firmę Bohrlochmessung – Storkow GmbH.

Podstawowy zestaw pomiarowy obejmował:

- cementomierz akustyczny (CBL);
- profilowanie naturalnego promieniowania gamma (GRT, GRP);
- profilowanie dwuzakresowe oporności sterowane (PIT);
- profilowanie potencjałów naturalnych (SP, SPU);
- spektrometryczne profilowanie promieniowania gamma (SGRT, THOR, URAN, POTA, UFGRP);
- profilowanie neutronowe kompensacyjne (CNP);
- spektrometryczne profilowanie litologiczno-gęstościowe (LDP);
- profilowanie krzywizny otworu (WOT, DEV);
- akustyczne profilowanie kompensacyjne (CST);
- profilowanie średnicy (XYT, AVCALMM, DIAMXMM, DIAMYMM);
- profilowanie temperatury, ciśnienia i oporności płuczek (RMT);

- profilowanie temperatury w warunkach nieustalonych (BHTMPC(1));
- profilowanie temperatury w warunkach ustalonych (BHTMPC(2));
- profilowanie gęstościowe (LDENN, PORLLS);
- profilowanie efektu fotoelektrycznego (PECLN);
- profilowanie neutron-neutron termiczne (PHINBLS, PHINBSS, PHINBDO);
- profilowanie akustyczne (CDTM, PORS);
- podwójne, indukcyjne profilowanie oporności (ILD, ILM).

Średnica nominalna otworu wynosiła:

- na głęb. 25,6–181,5 m – 311 mm;
- na głęb. 181,5–294,2 m – 216 mm;
- na głęb. 294,2–1369,5 m – 122 mm;
- na głęb. 1639,5–1650,0 m – 120 mm.

W tabeli 54 zaprezentowano dokładne interwały głębokościowe wykonanych profilowań geofizyki otworowej (według spisu wykonanych badań z dokumentacji wynikowej Habryn i in., 2017) oraz informacji zamieszczonych na stronie CBDG). Wszystkie pomiary są dobrej jakości i zostały udostępnione w wersji cyfrowej.

OCENA JAKOŚCI DANYCH I STANU OTWORU

Ocena stanu technicznego otworu została przeprowadzona na podstawie profilowania średnicy, dostępnego na całej długości profilu (fig. 89). W górnym odcinku pomiarowym, na głęb. 25,5–181,0 m, średnica jest w większości zbliżona do średnicy nominalnej z niewielkimi wymyciami, nieprze-

kraczającymi 40 mm. Nieliczne zwężenia średnicy na tym odcinku nie przekraczają 10 mm. Na odcinku 181,0–293,0 m niemal na całej długości występuje nieznaczne powiększenie średnicy (< 20 mm). Najwyraźniej widoczne wymycia występują na odcinkach 207,0–210,0 i 256,0–276,0 m oraz

Tabela 54

Wykaz badań geofizyki otworowej

List of well logs performed

Rodzaj pomiaru (skrót) Type of measurment (abbreviated)	Interwał głębokościowy pomiaru Depth interval [m]	Rodzaj pomiaru (skrót) Type of measurment (abbreviated)	Interwał głębokościowy pomiaru Depth interval [m]
CBL	4,0–181,0	BHTMPC (1)	2,8–1650,0
GRT	25,5–172,0 181,0–284,5	BHTMPC (2)	2,3–1650,0
PIT	25,5–179,0 181,0–293,0	THOR URAN POTA UFGRP	294,0–1650,0
SGRT	25,5–169,0 181,0–281,0	LDENN PORLLS	
CNP	25,5–176,0 181,0–289,0	PECLN	
LDP	25,5–179,0 181,0–292,0	PHINBLS PHINBSS PHINBDO	
CST	25,5–171,5 181,0–284,0	CDTM PORS	294,0–584,0 880,0–1650,0
XYT	25,5–167,0 181,0–279,5	SPU	
WOT	25,5–164,5 181,0–277,0	ILD ILM	
RMT	25,5–171,0 181,0–275,0		
AVCALMM DIAMXMM DIAMYMM	294,0–1650,0		
DEV			
GRP			

CBL – cementomierz akustyczny; GRT, GRP – profilowanie naturalnego promieniowania gamma; PIT – profilowanie oporności sterowane; SP, SPU – profilowanie potencjałów naturalnych; SGRT, THOR, URAN, POTA, UFGRP – spektrometryczne profilowanie promieniowania gamma; CNP – profilowanie neutronowe kompensacyjne; LDP – spektrometryczne profilowanie litologiczno-gęstościowe; WOT, DEV – profilowanie krzywizny otworu; CST – akustyczne profilowanie kompensacyjne; XYT, AVCALMM, DIAMXMM, DIAMYMM – profilowanie średnicy; RMT – profilowanie temperatury, ciśnienia i oporności płuczki; BHTMPC(1) – profilowanie temperatury w warunkach nieustalonych; BHTMPC(2) – profilowanie temperatury w warunkach ustalonych; LDENN, PORLLS – profilowanie gęstościowe; PECLN – profilowanie efektu fotoelektrycznego; PHINBLS, PHINBSS, PHINBDO – profilowanie neutron-neutron termiczne; CDTM, PORS – profilowanie akustyczne; ILD, ILM – podwójne, indukcyjne profilowanie oporności

CBL – cement bond log; GRT, GRP – gamma ray log; PIT – lateral electrical log; SP, SPU – spontaneous potential log; SGRT, THOR, URAN, POTA, UFGRP – spectral gamma ray log; CNP – neutron log; LDP – spectral lithology density log; WOT, DEV – deviation log; CST – acoustic compensation log; XYT, AVCALMM, DIAMXMM, DIAMYMM – caliper; RMT – mud temperature, pressure and resistivity log; BHTMPC(1) – temperature log, unsustained thermal equilibrium; BHTMPC(2) – temperature log, sustained thermal equilibrium; LDENN, PORLLS – bulk density log; PECLN – photoelectric factor log; PHINBLS, PHINBSS, PHINBDO – thermal neutron log; CDTM, PORS – acoustic log; ILD, ILM – double induction log

pod butem rur (do 153 mm na głęb. 265,5 m). Na głęb. 294,0–1650,0 m, w górnej części profilu, obserwowane jest stałe, nieznaczne powiększanie średnicy o ok. 30–50 mm w stosunku do średnicy nominalnej, maksymalnie nawet dochodząc do 100 mm. Na odcinku środkowym (584,0–860,0 m) ściany otworu są nieregularne i silnie skawernowane (300,0–350,0 m), miejscami nawet do 640,0 mm. Poniżej 860,0 m średnica jest zbliżona do wartości nominalnej. Drobne wymycia nie przekraczają 40 mm. Zwężenia średnicy obserwowane są w dolnym odcinku otworu (od 1370,0 m) i osiągają maksymalnie 10 mm.

Profilowanie krzywizny wykonano na całej długości otworu. Interpretacja krzywizny została wykonana meto-

dą promieni krzywizn z deklinacją magnetyczną 4°48'. Na odcinku I maksymalny kąt odchylenia otworu od pionu wynosi 0,46° na głęb. 164,5 m. Odejsie od pionu wynosi na tym odcinku 0,39 m przy azymucie geograficznym 165,45°. Według profilowania krzywizny na odcinku II (181,0–293,0 m) maksymalne odchylenie od pionu wynosi 1,08°. Odchylenie od pionu na dnie otworu sięga natomiast 1,33 m przy azymucie 12,03°. W najgłębszym odcinku (poniżej 860,0 m) maksymalne odchylenie wynosi 6,4°, a całkowite odejsie otworu w poziomie wynosi 62,35 m w kierunku 195,38° przy redukcji głębokości wynoszącej 2,30 m.

Jakość pomiarów wykonanych na odcinku I (25,5–181,0 m) jest dobra. Nieznaczny spadek jakości pomiarów radiome-

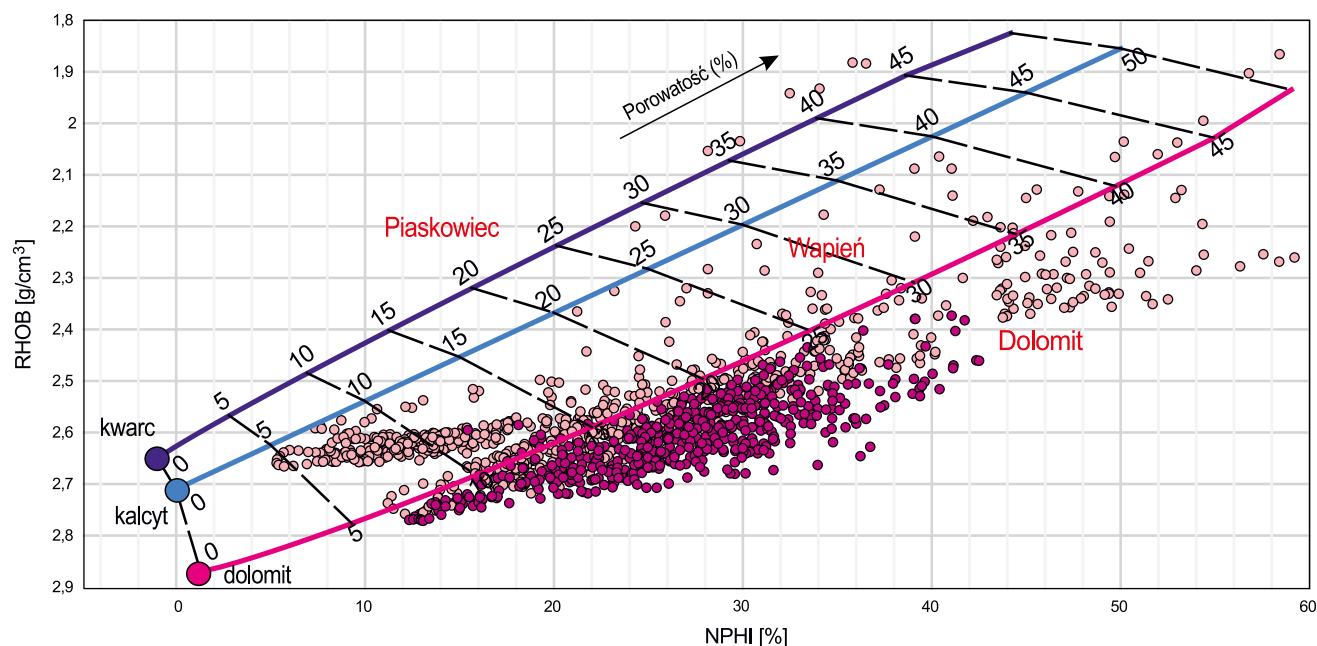


Fig. 89. Wykres krzyżowy neutronowo-gęstościowy, głęb. 25,5–179,0 m (trias)

RHOB – profilowanie gęstości objętościowej; NPHI – profilowanie porowatości neutronowej

Neutron-density cross plot, depth 25.5–179.0 m (Triassic)

RHOB – bulk density log; NPHI – neutron porosity log

trycznych, spowodowany znacznym powiększeniem średnicy otworu, występuje na odcinku 50,0–62,0 m. Ten sam problem jest zauważalny na głęb. 50,0–62,0 w przypadku profilowania akustycznego. Na odcinku 37,0–87,0 m sonda ILD osiągnęła swój maksymalny zakres pomiarowy. Profilowania elektryczne, akustyczne, radiometryczne i techniczne wykonane na odcinku II są dobrej jakości. Zauważalne są niewielkie zaburzenia profilowania radiometrycznego związane z powiększaniem średnicy otworu. Jedyne wyraźne zaburzenie jest widoczne na głęb. 257,0–275,0 m na krzywych

profilowania akustycznego. Na odcinkach 294,0–584,0 m oraz 880,0–1650,0 m jakość pomiarów nie odbiega od tych wykonanych płycej. Miejscami obserwowane są jedynie nieznaczne zaburzenia związane z powiększaniem średnicy. Na odcinku 584,0–880,0 m, z uwagi na obecność orurowania, nie wykonano pomiarów elektromagnetycznych oraz akustycznych, obserwowany jest jednak spadek jakości profilowania gęstościowo-neutronowego w szczególności na odcinkach: 584,0–664,9; 672,6–691,2; 709,3–747,7 oraz 829,0–860,4 m.

OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Prace interpretacyjne prowadzone w otworze Bibiela FIG 1 miały na celu uszczegółowienie profilu litologicznego na podstawie spektralnych profilowań radiometrycznych oraz dostępnych wyników analiz specjalistycznych stratygraficznych, litologicznych, sedimentologicznych i petrograficznych. Ponadto wykonano charakterystykę poziomów potencjalnie zbiornikowych dla złóż węglowodorów na całej długości profilu.

W odcinku I (25,5–179,0 m) analizie poddano skały węglanowe triasu środkowego (wapień muszlowy 24,0–130,7 m) oraz dolnego (pstry piaskowiec górny – ret 130,7–178,03 m). Na podstawie wykresu krzyżowego porowatości neutronowej i gęstości objętościowej (fig. 89) zobrazowano różnicę litologiczną pomiędzy wapieniem muszlowym, w którym dominują dolomity i wapień o ni-

skiej zawartości minerałów ilastych, a intensywniej zailonym triasem dolnym. Na wykresie widoczna jest również różnica porowatości skał triasu. Dolomity i wapień triasu środkowego charakteryzuje wysoka porowatość, która lokalnie przekracza 30% dla dolomitów ($\Phi_{\text{H}_2\text{O}} = 16\%$) oraz 21% dla wapieni ($\Phi_{\text{H}_2\text{O}} = 11\%$) (Habryn i in., 2017). Porowatość margli i dolomitów marglisto-wapnistych retu wynosi średnio 16%. Ponadto, na podstawie wyników profilowania spektralnego potasu, uranu i toru ustalono średnią zawartość tych pierwiastków w profilu triasu. Wartości przedstawiono w tabeli 55.

Na odcinku 178,3–260,0 m profilowaniu geofizycznemu poddano skały węglanowo-ilaste dewonu. Na wykresie krzyżowym porowatości neutronowej oraz gęstości objętościowej (fig. 90) widoczna jest przewaga nieznacznie zailo-

nych skał węglanowych – dolomitów z domieszką wapieni i skał piaszczystych. Porowatość dolomitów dewońskich wynosi średnio 5%. Najlepszymi właściwościami zbiornikowymi odznaczają się skały piaszczyste, występujące w stropie serii. Ich porowatości sięgają maksymalnie 20%. Dokładne zawartości pierwiastków promieniotwórczych dewonu przedstawiono w tabeli 55.

Skały ordowiku występują na głęb. 287,0–710,95 m (fig. 91). Jest to sekwencja skał ilasto-mułowcowych o zróżnicowanym udziale węglanów, głównie dolomitów oraz piaszczystych i brekcji sedymentacyjnych. Skały drobnoklastyczne ordowiku posiadają najwyższą spośród badanych litologii zawartość uranu i toru (tab. 55). Na odcinkach 534,0–553,2; 556,8–558,6; 566,5–576,3 m oraz na granicy z ediakarem, 708,7–710,95 m, występują dodatkowo intruzje skał magmowych.

Intruzje magmowe w obrębie skał ordowiku w otworze rozpoznano na podstawie makroskopowej analizy rdzeni wiertniczych z głęb. 534,0–553,2; 556,8–558,6; 566,5–576,3 oraz 708,7–711,0 m (Habryn i in., 2017). Są to skały intensywnie przeobrażone, których tło stanowią w głównej mierze plagioklasy, skalenie potasowe, kwarc, oraz węglany wraz z licznymi minerałami ilastymi, mieszanopakietowymi. W głównej mierze są to lamprofiry, przecinające zmetasomatyzowane skały osadowe. Intensywne procesy diagenetyczne między innymi dolomityzacja, kaolinityzacja i chlorytacja zatępiły pierwotne cechy charakterystyczne dla skał afanitowych. Aktualnie, obecność intruzji lamprofiru w obrębie skał ordowiku zaznacza się wyraźnym wzrostem na krzywej naturalnego promieniowania gamma, związanym z podwyższoną zawartością toru i/lub potasu w składzie chemicznym skałeni potasowych, minerałów ilastych, plagioklazów oraz radioaktywnych domieszek,

Tabela 55

Zawartość pierwiastków promieniotwórczych w poszczególnych interwałach stratygraficznych
Content of radioactive elements in particular stratigraphic intervals

Stratygrafia Stratigraphy	Potas Potassium [%]	Uran Uranium [ppm]	Tor Thorium [ppm]	
Trias środkowy Middle Triassic	3,5	9,22	9,93	Maks. Maximum
	0,005	0,44	0,44	Min. Minimum
	0,41	2,99	3,04	Średnia Mean
Trias dolny Lower Triassic	2,61	6,99	9,8	Maks. Maximum
	0,004	0,61	0,85	Min. Minimum
	0,5	3,44	3,99	Średnia Mean
Dewon Devonian	5,12	5,97	13,47	Maks. Maximum
	0,02	0,15	0,61	Min. Minimum
	0,64	1,98	4,90	Średnia Mean
Ordowik Ordovician	4,68	21,64	23,95	Maks. Maximum
	0,00	0,49	3,41	Min. Minimum
	1,53	4,53	11,30	Średnia Mean
Ediakar Ediacaran	3,71	9,78	22,00	Maks. Maximum
	0,65	0,57	1,64	Min. Minimum
	2,23	4,32	10,66	Średnia Mean

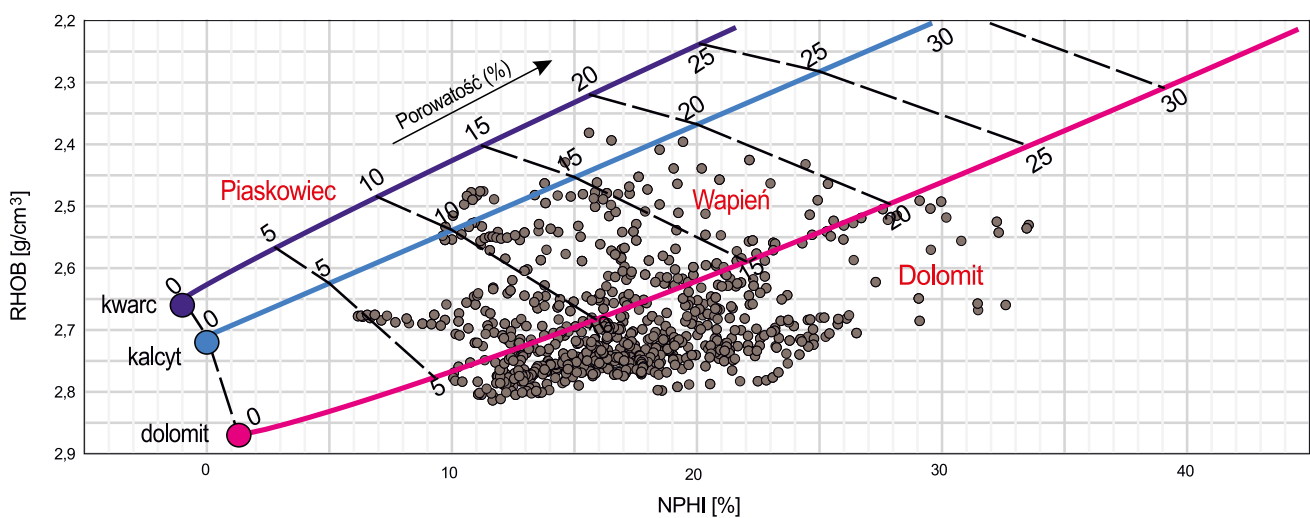


Fig. 90. Wykres krzyżowy neutronowo-gęstościowy, głęb. 179,0–260,0 m (dewon)

RHOB – profilowanie gęstości objętościowej; NPHI – profilowanie porowatości neutronowej

Neutron-density cross plot, depth 179.0–260.0 m (Devonian)

RHOB – bulk density log; NPHI – neutron porosity log

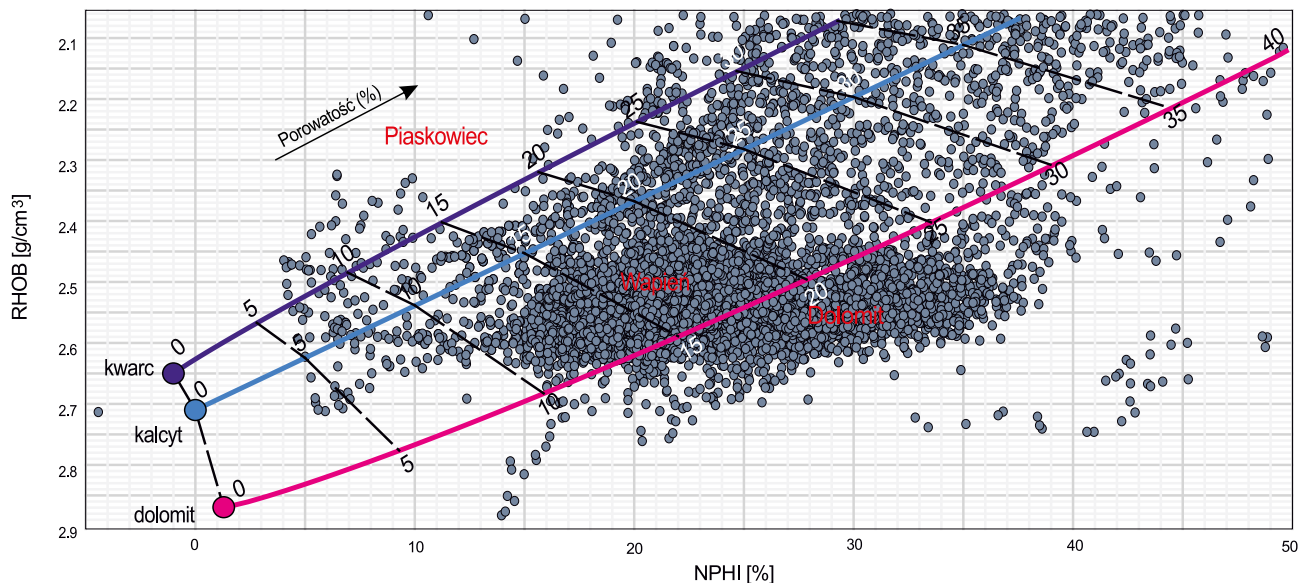


Fig. 91. Wykres krzyżowy neutronowo-gęstościowy, głęb. 260,0–710,0 m (ordowik)

RHOB – profilowanie gęstości objętościowej; NPHI – profilowanie porowatości neutronowej

Neutron-density cross plot, depth 260.0–710.0 m (Ordovician)

RHOB – bulk density log; NPHI – neutron porosity log

między innymi uranu (tab. 54). Pozostałe skały magmowe, występujące w profilu wykazują obniżone wartości na krzywej naturalnego promieniowania gamma. Nieznaczne wzrosty gęstości ($>2,65 \text{ g/cm}^3$) w obrębie intruzji są natomiast najprawdopodobniej spowodowane obecnością minerałów kruszczowych o dużej gęstości oraz dolomitu. Analizy

za krzywych geofizycznych połączona z makroskopowym opisem rdzeni pozwoliła zidentyfikować dokładne głębokości, na których występują intruzje lamprofiru: 533,88–552,79; 556,60–558,76; 568,87–571,19 m oraz intruzje skał o odmiennym składzie chemicznym: 566,5–568,87; 571,19–576,3 i 707,98–710,97 m (fig. 92, 93).

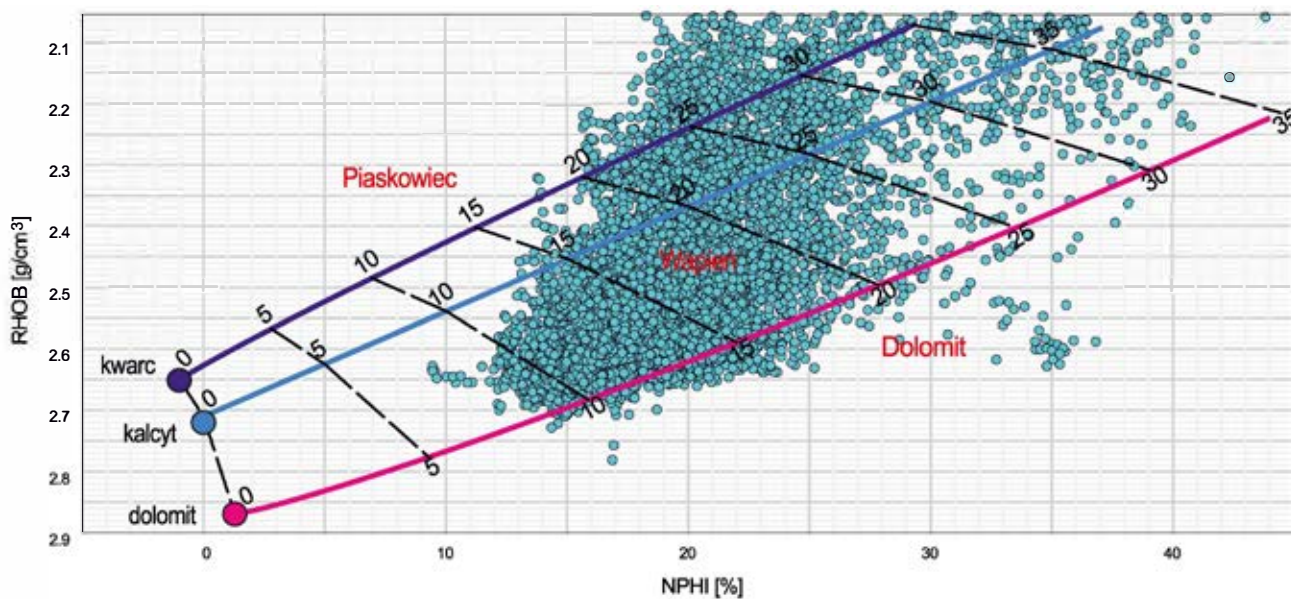


Fig. 92. Wykres krzyżowy neutronowo-gęstościowy, głęb. 710,0–1650,0 m (ediakar)

RHOB – profilowanie gęstości objętościowej; NPHI – profilowanie porowatości neutronowej

Neutron-density cross plot, depth 710.0–1650.0 m (Ediacaran)

RHOB – bulk density log; NPHI – neutron porosity log

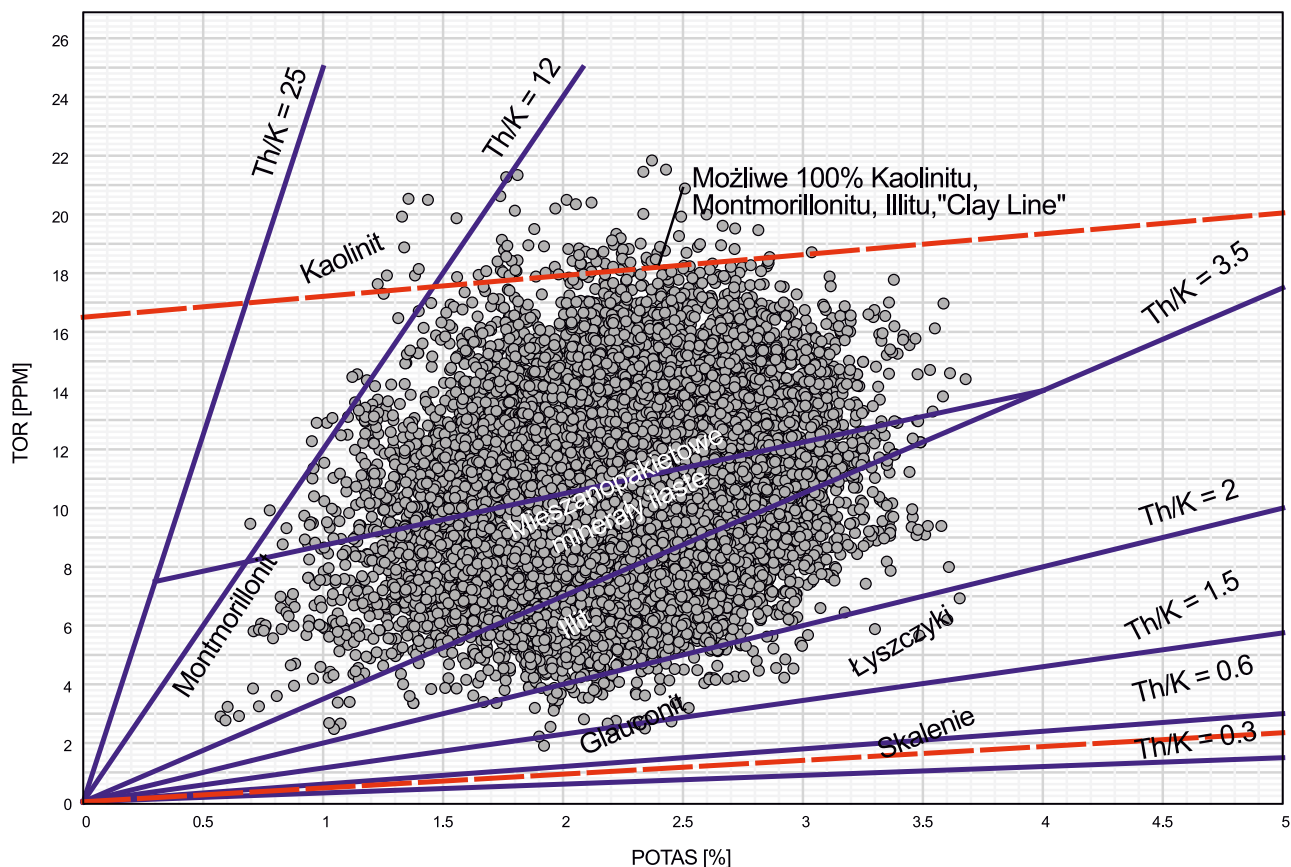


Fig. 93. Wykres krzyżowy stosunku zawartości toru do potasu, głęb. 710,0–1650,0 m (ediakar)

Cross plot of thorium-potassium content, depth 710.0–1650.0 m (Ediacaran)

Badania chronostratygraficzne skał osadowych z głęb. 710,95–1650,0 m pozwoliły ustalić, że utwory te powstawały w ediakarze. Profil jest zróżnicowany litologicznie, dominują w nim skały klastyczne różnej frakcji. Minerale węglanowe z grupy ankerytu/dolomitu oraz sydereytu widoczne na wykresie krzyżowym (fig. 92), występują przeważnie w formie żył przecinających skały drobnoklastyczne. Na podstawie stosunku zawartości toru i potasu uzyskanego z profilowania spektralnego można natomiast stwierdzić, że wśród minerałów ilastych występujących w profilu skał

drobnoklastycznych dominują minerały mieszanopakietowe oraz illit (fig. 93). Właściwości zbiornikowe ediakaru są słabe i wynoszą średnio 3% (PHImax = 16%).

Przeprowadzona analiza pomiarów geofizycznych pozwoliła uszczegółowić interpretację litologiczno-złożową w otworze Bibiela FIG 1. Wyraźne anomalie zawartości potasu, uranu i toru w ordowiku odpowiadają horyzontom występowania intruzji skał magmowych. W profilu otworu nie wyróżniono horyzontów perspektywicznych pod kątem występowania złóż węglowodorów.