WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH I OPRÓBOWAŃ HYDROGEOLOGICZNYCH

Jan SZEWCZYK

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

W trakcie realizacji prac wiertniczych w otworze Siedliska IG 1, w ramach tzw. odcinków badań strefowych, wykonywano sukcesywnie badania z zakresu geofizyki wiertniczej. Wybór odcinków głębokościowych badań był związany zarówno z konstrukcją otworu, jak i charakterem profilu litologiczno-stratygraficznego. Z uwagi na częste awarie wiertnicze w latach 60. i 70. XX wieku przyjęto zasadę prowadzenia badań w odcinkach o długości nie większej niż 300–400 m. Omawiane badania zostały wykonane w okresie między 12 lutego a 22 września 1970 r., łącznie w siedmiu odcinkach tzw. badań strefowych, przez I Zespół Geofizyki Wiertniczej Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych z bazy w Lublinie. Po zakończeniu wiercenia otworu, po 10 dobach stabilizacji, 17 października 1970 r. wykonano w nim profilowanie temperatury w interwale głębokości 48–2527 m w warunkach zbliżonych do termicznie ustabilizowanych.

ZAKRES ORAZ METODY PRAC BADAWCZYCH

Do badań wykorzystano aparaturę analogową produkcji radzieckiej typu AKSŁ-51M, AKSŁ-64 oraz AKSE_900. W zakres prac weszły badania:

- metodami radiometrycznymi (PG – profilowanie naturalnego promieniowania gamma, PNG – profilowanie neutron-gamma, PGG – profilowanie gamma-gamma gęstościowe),
- elektrometrycznymi (PO – profilowanie oporności, Post – profilowanie oporności sterowane, PS – profilowanie potencjałów naturalnych, PP – profilowanie oporności prądowe),
- termometrycznymi (Tn, Tu – profilowanie temperaturowe przy odpowiednio nieustalonej i ustalonej równowadze termicznej, BHT – pomiar temperatury na dnie otworu),
- badania stanu technicznego otworu (Pśr – profilowanie średnicy, PK – profilowanie krzywizny odwiertu).

W zależności od głębokości odcinka profilu łączny czas badań wynosił od kilkunastu do kilkudziesięciu godzin. Badania zazwyczaj wykonywano po 1–3 dobach od chwili zakończenia cyrkulacji płuczki wiertniczej w otworze wiertniczym (dokładny czas rozpoczęcia pomiarów nie był rejestrowany). Wyniki źródłowych analogowych danych pomiarowych zarejestrowano na papierowych taśmach fotograficznych w standardowej skali głębokościowej 1:500, a w odcinku profilu obejmującym utwory karbonu – w detalizacyjnej w skali 1:100. Te ostatnie badania były ukierunkowane na szczegółowe wydzielenia warstw węgla kamiennego.

Wyniki grupowano w formie tzw. arkuszy pomiarowych (A, B, C...) łączących określone typy badań. Na arkuszu A podawano m.in. szczegółowe informacje na temat: warunków wykonywania badań, w tym rodzaju aparatury czy stosowanych sond, zakresu rdzeniowania, uzysków rdzeni wiertniczych, krzywizny otworu, parametrów płuczki wiertniczej w okresie wykonywania badań. Przedstawiano również litologiczny profil wiertniczy oraz profil określony na podstawie danych geofizycznych. Otwór wiertniczy Siedliska IG 1 był pierwszym lub jednym z pierwszych głębokich otworów Państwowego Instytutu Geologicznego, w których począwszy od roku 1970, przyjęto opisaną formę prezentacji danych geofizycznych, a także ich dokumentowania.

Zastosowane dostępne metody badań, a także istniejące na początku lat 70. XX wieku możliwości sprzętowe pozwalały na rozpoznanie profilu wiercenia jedynie w ograniczonym stopniu. Odnosi się to szczególnie do badań radiometrycznych, które miały podstawowe znaczenie zarówno przy rozpoznaniu profilu litologicznego, jak i próbach określenia właściwości petrofizycznych skał tworzących profil. Profilowania te wykonywano sondami niekalibrowanymi, zarówno w metodzie profilowania naturalnego promieniowania gamma (PG), jak i profilowania gamma z wychwytu radiacyjnego neutronów termicznych (PNG) indukowanych przez izotopowe źródło neutronów prędkich. Obie metody

badawcze realizowano przy pomocy dwukanałowej sondy SP-62 produkcji radzieckiej. Sonda ta pozwala na równoczesną realizację pomiaru w metodzie PG oraz PNG. Detektory naturalnego promieniowania gamma (sześć liczników typu G-M) o łącznej długości 72 cm były umieszczone w odległości ok. 265 cm powyżej detektora kwantów gamma z wychwytu radiacyjnego neutronów. Poniżej źródła neutronów umieszczono pojemnik z termometrami maksymalnymi (zazwyczaj trzy termometry).

Wszystkie typy profilowań radiometrycznych wykonywano sondami o swobodnym, niecentralizowanym położeniu w przekroju otworu wiertniczego.

W odcinkach odsłoniętych pod rurami okładzinowymi, niezależnie od interwału głębokościowego poszczególnych badań strefowych, prowadzono pomiary ujednolicające w całym odcinku niezarurowanym. W ramach tych badań wykonywano standardowo pomiar oporności sondą gradientową M2.5A0.25M, profilowanie średnicy (Pśr) oraz profilowanie potencjałów samoistnych (PS). Podstawowym celem tych badań było wykrywanie czasowych zmian właściwości przyotworowej strefy filtracji w obrębie warstw zbiornikowych.

Parametry pomiarów, szczególnie radiometrycznych, takie jak prędkość ruchu sondy, czy stałe czasowe układów integracyjnych, były każdorazowo dostosowywane do skali głębokościowej wykonywanych badań. Szczegółowe informacje na temat parametrów pomiarowych poszczególnych pomiarów zawarto w utworzonych skanach tzw. głowic taśm pomiarowych dostępnych w zasobach Narodowego Archiwum Geologicznego (Szewczyk i in., 2001).

Wyznacznikiem wyróżniania odcinka badań była data wykonywania badań i związany z nią numer kabla pomiarowego determinującego przyjmowane odwzorowanie skali profilu głębokościowego. W pracach interpretacyjnych nie dokonywano korekt głębokościowych między pomiarami wykonanymi w różnych odcinkach pomiarowych. Poza pomiarami wyszczególnionymi w tabeli 16 przeprowadzono pomiary detalizujące w skali 1:100, w interwale głębokości 810–1297 m. Były nimi pomiary PG, PNG, PGG, POst, POg (M2.5A0.25B), PP (profilowanie prądowe) oraz Pśr. Pomiary te nie zostały zdigitalizowane, natomiast istnieje skan całego omawianego odcinka pomiarowego. W odniesieniu do wszystkich pomiarów radiometrycznych każdorazowo wyznaczano ok. 50-metrowe odcinki badań kontrolnych. Głównym celem tych badań było określenie stopnia stabilności pracy stosowanych układów pomiarowych.

Rejestrowane sukcesywnie w trakcie realizacji otworu pomiary krzywizny osi otworu wykazały istnienie jej systematycznego odchylenia w kierunku zbliżonym do północnego. Sumaryczne odejście osi otworu od pionu do głębokości 3010 m wyniosło ok. 82 m.

DIGITALIZACJA WYNIKÓW BADAŃ

Potrzeba wykonywania prac interpretacyjnych, a także uzyskania trwałej formy archiwizacji danych, spowodowała podjęcie w połowie lat 90. XX wieku procesu digitalizacji wyników badań.

W wyniku realizacji tych prac utworzono zarówno zbiory danych źródłowych, w postaci plików w formacie *.BKR, jak i danych przetworzonych, zgrupowanych w plikach w formacie *.LAS (*Log ASCII Standard*), o jednolitym głębokościowym kroku pomiarowym równym 25 cm. Drugi z wymienionych formatów plików zastosowano do wyników badań odcinkowych (tzn. ark. A, B, C...) oraz do danych połączonych i unormowanych tworzących zestaw tzw. *composite logs*. W odniesieniu do wszystkich arkuszy pomiarowych wykonano skany w formacie *.TIFF. Skany te dla otworu wiertniczego Siedliska IG 1 są przechowywane w bazie CBDG (Szewczyk i in., 2001).

Pliki w formacie *.BKR zawierają dane źródłowe uzyskiwane bezpośrednio w procesie digitalizacji poszczególnych pomiarów analogowych. Są to dane o możliwie najdokładniejszym odwzorowywaniu danych źródłowych. Krok digitalizacji jest w ich przypadku dostosowywany do rzeczywistej dynamiki zmienności rejestrowanych parametrów. Dane w pozostałych formatach, w tym standardowym formacie *.LAS czy w formacie binarnym *.KAR powstają w wyniku interpolacji liniowej oraz łączenia poszczególnych profilowań w tablice danych liczbowych. Dane w tych formatach powstają w wyniku interpolacji wykonywanej dla zadanego jednakowego kroku interpolacji niezależnie od rzeczywistej długości kroku cyfrowania dla wszystkich profilowań tworzących dany plik (dla badań wykonywanych w Polsce został on przyjęty standardowo jako równy 25 cm). Prowadzi to do zniekształceń informacji o rzeczywistej wartości amplitudy, szczególnie w strefach o dużej dynamice zmienności rejestrowanych parametrów np. w przypadku badania węgla kamiennego. Ze względu na perspektywy dokonywania w przyszłości dekonwolucji profilowań, szczególnie profilowań radiometrycznych, dane w formacie *.BKR stanowią zdecydowanie dokładniejszą postać źródłowych danych wejściowych niezbędną w tych procesach.

W tabeli 16 przedstawiono szczegółowe zestawienie profilowań geofizycznych istniejących w formacie *.BKR. W tabeli tej podano zakres głębokościowy badań, datę przeprowadzenia poszczególnych typów badań, a także informację na temat dokładności digitalizacji pomiarów analogowych, którego miarą może być efektywny rzeczywisty krok digitalizacji. Większość wyników badań podstawowych wykonanych w poszczególnych odcinkach badań strefowych unormowano przez utworzenie tzw. krzywych połączonych (*composite logs*) w zakresie przewidzianym programem prac związanych z wprowadzeniem omawianych danych do Centralnej Bazy Danych Geologicznych (Szewczyk i in., 2001).

Tabela 16

Zestawienie zdigitalizowanych profilowań geofizycznych wykonanych w otworze Siedliska IG 1

Summary of digitized geophysical measurements taken in the Siedliska IG 1 borehole

Plik File	Interwał badań Interval of measurements [m]	Data Date	Gęstość cyfrowania Digitalization density [m]	Typ sondy Sonde type	Głębokość Depth [m]
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
SIĘ10PS.BKR	9,94–523,32	5.01.1970	0,329	–	538,00
SIE10R0.BKR	0,13–529,98	5.01.1970	0,223	M0.5A0.1B	538,00
SIE10R1.BKR	0,05–529,91	5.01.1970	0,248	M1.0A0.1B	538,00
SIE10R2.BKR	0,20–530,12	5.01.1970	0,241	M2.5A0.25B	538,00
SIE10R4.BKR	7,03–529,95	5.01.1970	0,241	M4.0A0.5B	538,00
SIE10R5.BKR	3,06–529,80	5.01.1970	0,227	B5.7A0.4M.	538,00
SIE10R8.BKR	11,10–529,92	5.01.1970	0,244	M8.0A1.0B	538,00
SIE10SR.BKR	4,71–530,16	5.01.1970	0,355	SKS-4	538,00
SIE11PG.BKR	10,14–939,60	12.02.1970	0,226	SP-62	944,00
SIE11PN.BKR	10,13–939,48	12.02.1970	0,283	SP-62	944,00
SIE11PS.BKR	170,15–933,25	12.02.1970	0,275	–	944,00
SIE11R0.BKR	480,58–939,37	12.02.1970	0,325	M0.5A0.1B	944,00
SIE11R1.BKR	479,77–939,32	12.02.1970	0,333	M1.0A0.1B	944,00
SIE11R2.BKR	0,20–530,12	12.02.1970	0,240	M2.5A0.25B	944,00
SIE11R4.BKR	479,94–939,95	12.02.1970	0,329	M4.0A0.5B	944,00
SIE11R5.BKR	3,06–529,80	12.02.1970	0,226	B5.7A0.4M	944,00,
SIE11R8.BKR	479,98–939,66	12.02.1970	0,409	M8.0A1.0B	944,00
SIE11RL.BKR	148,12–939,04	12.02.1970	0,273	M2.5A0.25B	944,00
SIE11RS.BKR	480,14–939,22	12.02.1970	0,204	B5.7A0.4M	944,00
SIE11RT.BKR	150,18–939,12	12.02.1970	0,221	ABK	944,00
SIE11SR.BKR	150,25–939,41	12.02.1970	0,276	SKS-4	944,00
SIE12PG.BKR	889,89–1297,33	10.03.1970	0,31	SP-60	1299,00
SIE12PN.BKR	890,16–1296,77	10.03.1970	0,31	SP-60	1299,00
SIE12PS.BKR	888,63–1296,96	10.03.1970	0,36	–	1299,00
SIE12R0.BKR	889,66–1296,94	10.03.1970	0,26	M0.5A0.1B	1299,00
SIE12R1.BKR	889,82–1292,37	10.03.1970	0,245	M1.0A0.1B	1299,00
SIE12R4.BKR	890,04–1296,76	10.03.1970	0,21	M4.0A0.5B	1299,00
SIE12R8.BKR	890,19–1296,93	10.03.1970	0.21	M8.0A1.0B	1299,00
SIE12RL.BKR	165,21–1297,77	10.03.1970	0,30	M2.5A0.25B	1299,00
SIE12RS.BKR	890,41–1297,18	10.03.1970	0,30	B5.7A0.4M	1299,00
SIE12RT.BKR	900,25–1297,28	10.03.1970	0,33	ABK3	1299,00
SIE12SR.BKR	891,05–1269,76	10.03.1970	0,46	SKS-4	1299,00
SIE13PG.BKR	1241,90–1754,98	21.04.1970	0,25	SP-62	1763,00
SIE13PN.BKR	1241,90–1754,98	21.04.1970	0,29	SP-62	1763,00
SIE13PS.BKR	1292,17–1752,74	21.04.1970	0,31	–	1763,00
SIE13R0.BKR	1290,91–1498,09	21.04.1970	0,34	M0.5A0.1B	1763,00
SIE13R1.BKR	1290,25–1499,10	21.04.1970	0,40	M1.0A0.1B	1763,00

Tabela 16 cd.

1	2	3	4	5	6
SIE13R4.BKR	1290,43–1497,89	21.04.1970	0,35	M4.0A0.5B	1763,00
SIE13R8.BKR	1290,29–1497,61	21.04.1970	0,47	M8.0A1.0B	1763,00
SIE13RL.BKR	1295,05–1754,9	21.04.1970	0,26	M2.5A0.25B	1763,00
SIE13RS.BKR	1290,10–1754,9	21.04.1970	0,30	B2.5A0.25M	1763,00
SIE13RT.BKR	889,87–1297,01	21.04.1970	0,15	ABK3	1763,00
SIE13SR.BKR	1271,99–1750,0	21.04.1970	0,42	SKS-4.	1763,00
SIE14PG.BKR	1700,09–2300,92	25.05.1970	0,40	SP-62	2305,00
SIE14PN.BKR	1700,07–2300,88	25.05.1970	0,37	SP-62	2305,00
SIE14PS.BKR	1700,11–2297,30	25.05.1970	0,38	–	2305,00
SIE14R0.BKR	1290,91–1498,09	25.05.1970	0,35	M0.5A0.1B	2305,00
SIE14R1.BKR	1290,25–1499,10	25.05.1970	0,40	M1.0A0.1B	2305,00
SIE14R4.BKR	1290,43–1497,89	25.05.1970	0,35	M4.0A0.5B	2305,00
SIE14R8.BKR	1290,29–1497,61	25.05.1970	0,47	M8.0A1.0B	2305,00
SIE14RL.BKR	1291,21–2298,02	25.05.1970	0,341	M2.5A0.25B	2305,00
SIE14RS.BKR	1700,12–2297,92	25.05.1970	0,321	B2.5A0.25M	2305,00
SIE14SR.BKR	1700,59–2297,64	25.05.1970	0,507	SKS-4	2305,00
SIE15PG.BKR	2250,17–2626,85	14.07.1970	0,281	SP-62	2620,00
SIE15PN.BKR	2249,98–2627,31	14.07.1970	0,233	SP-62	2620,00
SIE15PS.BKR	2290,57–2620,01	14.07.1970	0,285	–	2620,00
SIE15RL.BKR	2280,30–2621,85	14.07.1970	0,295	M2.5A0.25B	2620,00
SIE15RS.BKR	2280,18–2622,12	14.07.1970	0,272	B2.5A0.25M	2620,00
SIE15SR.BKR	2266,20–2626,99	14.07.1970	0,886	SKS-4	2620,00
SIE16PG.BKR	2501,05–2919,87	31.08.1970	0,339	SP-62	2925,30
SIE16PN.BKR	2499,73–2919,88	31.08.1970	0,341	SP-62	2925,30
SIE16PS.BKR	2500,18–2920,06	31.08.1970	0,353	–	2925,30
SIE16R0.BKR	2500,44–3006,17	23.09.1970	0,349	M0.5A0.1B	3010,30
SIE16R1.BKR	2500,21–3003,95	23.09.1970	0,345	M1.0A0.1B	3010,30
SIE16R2.BKR	2500,26–3004,98	23.09.1970	0,234	M2.5A0.25B.	3010,30
SIE16R4.BKR	2499,66–3005,45	23.09.1970	0,392	M4.0A0.5B	3010,30
SIE16R8.BKR	2500,60–3004,88	23.09.1970	0,330	M8.0A1.0B	3010,30
SIE16RL.BKR	2290,36–2918,72	31.08.1970	0,344	M2.5A0.25B	2925,30
SIE16RS.BKR	2500,02–2919,84	31.08.1970	0,368	B2.5A0.25M	2925,30
SIE16SR.BKR	2500,09–2920,00	31.08.1970	0,753	SKS 4	2925,30
SIE17PG.BKR	2869,46–3004,10	23.09.1970	0,433	SP-62	3010,30
SIE17PN.BKR	2869,73–3005,48	23.09.1970	0.405	SP-62	3010,30
SIE17PS.BKR	2870,05–3004,89	23.09.1970	0.468	–	3010,30
SIE17RL.BKR	2290,10–3004,87	23.09.1970	0,389	M2.5A0.25B	3010,30
SIE17RS.BKR	2869,91–3004,63	23.09.1970	0,425	B2.5A0.25M	3010,30
SIE17SR.BKR	2870,25–3002,64	23.09.1970	0,797	SKS-4	3010,30
SIE19TU.BKR	45,20–2527,81	17.10.1970	0,789	ETMO	3010,30

Profilowania oporności, w formie pojedynczych pomiarów bądź zestawu tzw. sondowań, wykonywano klasycznymi sondami gradientowymi spągowymi wraz z pojedynczą sondą potencjałową typy B2.5A0.25M., każdorazowo przygotowywanymi (odmierzanymi elektrodami) bezpośrednio przed pomiarami na terenie otworu wiertniczego. Dokładność procedury przygotowania sond opornościowych mogła mieć wpływ na dokładność skalowania wartości oporności. Niezależnie od opisanych klasycznych typów profilowań opornościowych prowadzono profilowania tzw. polem sterowanym typu POst (LL3) sondą o dużym zasięgu.

Ze względu na zmienny w czasie charakter miar głębokości stosowanych kabli geofizycznych (związanej m.in. z ich rozciągliwością), w poszczególnych odcinkach badawczych mogą występować wzajemne przesunięcia głębokościowe wyników rejestracji poszczególnych typów profilowań. Element ten powinien być brany pod uwagę przy analizach danych geofizycznych oraz geologicznych.

Pomiary radiometryczne rejestrowano przy pomocy analogowych integratorów impulsów. Wówczas była to technika powszechnie stosowana, a obecnie całkowicie nieznana, zdecydowanie różniąca się od współczesnych cyfrowych metod rejestracji danych pomiarowych. Sposób rejestracji profilowań radiometrycznych wpływał zarówno na kształt, jak i wielkość rejestrowanych anomalii, co oddziaływało na wyznaczanie głębokości granic poszczególnych warstw, ich miąższość oraz wielkości anomalii. Wszystkie te czynniki miały wpływ m.in. na określanie litologii oraz właściwości petrofizycznych warstw – szczególnie tych o niewielkiej miąższości (<1 m) i powinny być uwzględniane w procedurach interpretacji ilościowych tych danych.

Na figurze 35 przedstawiono zgeneralizowany profil stratygraficzno-litologiczny wraz z wynikami unormowanych i połączonych wartości profilowania naturalnego promieniowania gamma, a także profilowania średnicy otworu, ze wskazaniem głębokości połączenia poszczególnych odcinków badań. Na profilu litologicznym zaznaczono również jego rdzeniowane odcinki. Normowanie profilowań naturalnego promieniowania gamma oparto na opracowanej przez autora oryginalnej statystyczno-stratygraficznej standaryzacji profilowań tego typu (Szewczyk, 2000a). Wyniki unormowanych profilowań podano w przyjętych umownych porównywalnych jednostkach określonych jako API_PGI zdefiniowanych w wymienionej pracy.

METODY PRAC INTERPRETACYJNYCH

Utworzenie sytemu baz danych geofizyczno-geologicznych wraz z autorskim systemem interpretacyjnym GEOFLOG stworzyło warunki do sukcesywnego prowadzenia systematycznych prac interpretacyjnych w odniesieniu do najważniejszych otworów badawczych z obszaru Polski (Szewczyk, 1994, 1998, 2000a, b). Prace takie wykorzystujące jednolitą metodykę interpretacyjną wykonano w latach 1992–2001 dla ponad 300 głębokich otworów badawczych, głównie z Niżu Polskiego. Również otwór Siedliska IG 1 objęto opisanymi powyżej pracami badawczymi. Prezentowane tu wnioski oparto w znacznym stopniu na wynikach uzyskanych w ramach wymienionych prac badawczych.

Wyniki badań geofizycznych wykorzystano zarówno w trakcie ustalania profilu litologiczno-stratygraficznego, jak i przy wyborze warstw wodonośnych, bądź ich fragmentów, istotnych do rozpoznania perspektyw występowania bituminów lub wód podziemnych. Wyniki prac interpretacyjnych posłużyły m.in. do wyboru interwałów profilu wiercenia do badań hydrogeologicznych.

W ramach wspomnianych prac interpretacyjnych m.in.:

- opracowano cyfrowy opis profilu wiertniczego (LITO);
- opracowano warstwowy (GEO) oraz objętościowy (VOL) geofizyczny profil litologiczny;
- obliczono porowatość całkowitą, gęstość objętościową w stanie powietrzno-suchym i nasyconym, a także prędkość fal akustycznych oraz przewodność cieplną skał całego profilu;
- obliczono gęstość wgłębnego strumienia cieplnego dla otworu Siedliska IG 1, a także profil głębokościowy temperatury dla warunków ustabilizowanych (w tym również profil temperatury ekstrapolowany do głęb. 8000 m).

CYFROWY OPIS PROFILU LITOLOGICZNEGO

Punktem wyjściowym do prac interpretacyjnych było opracowanie cyfrowego opisu profilu wiertniczego opartego zarówno na informacjach dotyczących rdzenia wiertniczego, jak i próbek okruchowych (Gientka, Szewczyk, 1996). Uzyskiwany tym sposobem cyfrowy opis litologii (LITO) był dowiązywany i uogólniany na warstwowy profil geofizyczny (GEO) zestawiony na podstawie wyników analiz profilowań geofizycznych.

Dane geofizyczne wykorzystywano w trakcie prac dokumentacyjnych, m.in. w opracowaniu profilu litologicznego wiercenia. Warto zaznaczyć, że otwór wiertniczy Siedliska IG 1 był tym otworem PIG, w którym zapoczątkowano (od 1970 r.) rutynowe wykonywanie kompleksowych prac interpretacyjnych. Jednym z istotnych zadań wykonanych badań geofizycznych było wydzielenie w profilu warstw węgla kamiennego. Z tego też powodu w otworze przeprowadzono, wspomniane wcześniej, badania w skalach głębokościowych 1:100. Na podstawie wstępnych prac interpretacyjnych (Winiarski, 1971) w obrębie utworów karbonu zidentyfikowano łącznie 15 warstw węgla. Niewielki

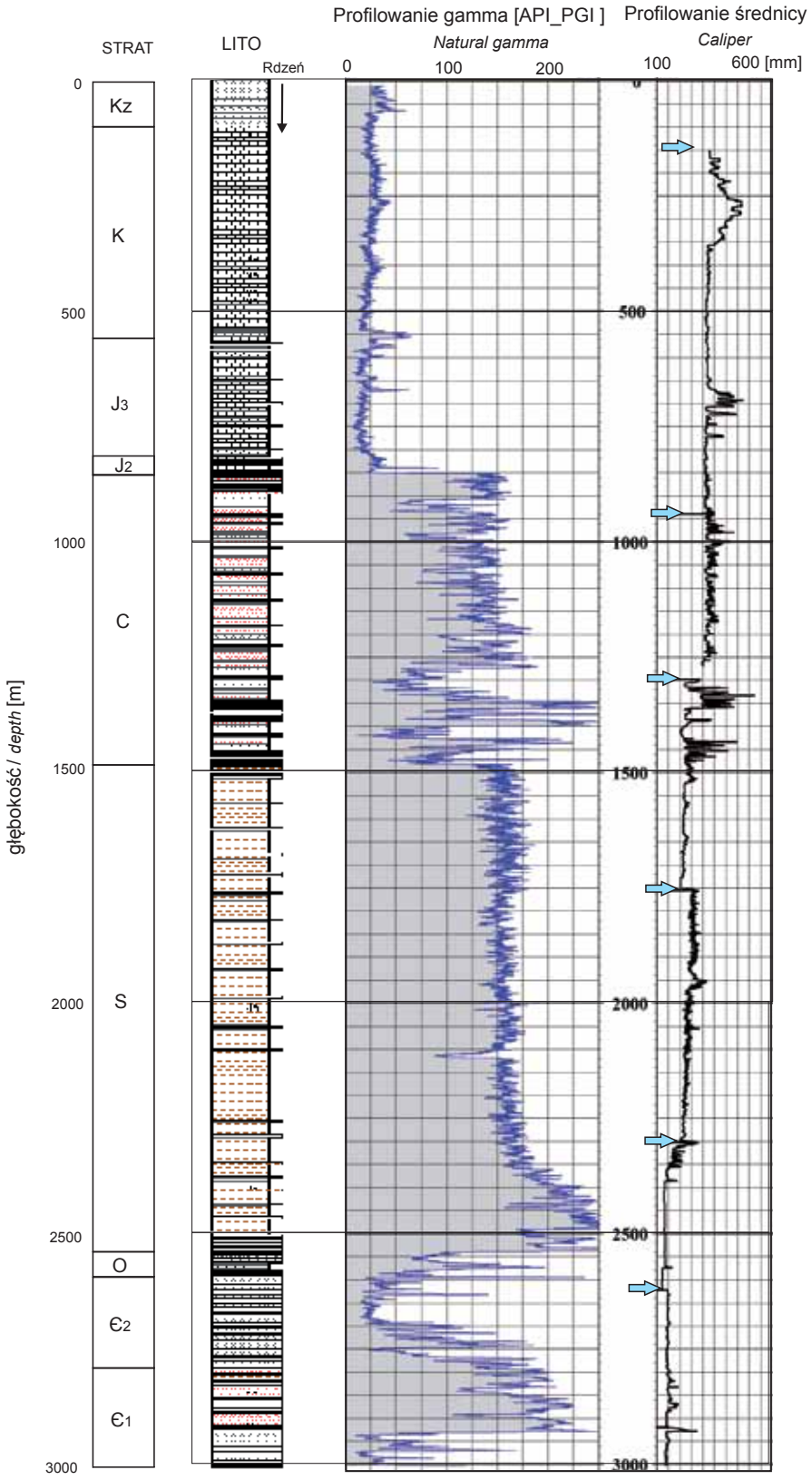


Fig. 35. Unormowane wartości profilowania naturalnego promieniowania gamma. Na wykresie profilowania średnicy wskazano miejsca połączeń poszczególnych odcinków badań strefowych. Przedstawiono również profil stratygraficzny, litologiczny ze wskazaniem odcinków rdzeniowania

Composed normalized values of natural gamma ray logs. The graph shows the caliper log with depths of junctions of individual log runs. It also presents the profile of stratigraphic and lithological sections with cored intervals

zakres rdzeniowania utworów karbonu (fig. 36) i ich niepełne uzyski wpłynęły na to, że poza obecnością dwóch warstw stigmariowych, o stropach na głębokościach 869,5 m (0,5 m) i 877,0 m (1,1 m), w rdzeniach stwierdzono jedynie fragment jednej warstwy węgla w dolnej części rdzenia z głębokości 1016,0–1016,5 m, przy równoczesnych wyraźnych sygnałach obecności węgli w profilu na podstawie próbek okruchowych. Wspomniana warstwa węgla o stropie stwierdzonym na głębokości ok. 1016,0 m (spąg warstwy – nieokreślony) odpowiada warstwie węgla zidentyfikowanej na podstawie danych geofizycznych na głębokości 1013,3–1014,7 m (przesunięcie głębokościowe między profilem wiertniczym i geofizycznym wynosi około 2,7 m).

Dokonane obecnie prace interpretacyjne pozwoliły na znaczne uszczegółowienie danych na ten temat, m.in. przez wydzielenie w profilu karbonu łącznie 35 warstw węglowych. Nawiązano przy tym do wydzieleń węgla zrealizowanych przy zastosowaniu współczesnych geofizycznych cyfrowych metod badawczych aparaturą Halliburton w profilu odwierconego w 1999 r. otworu Siedliska-2 (o głębokości końcowej 3059 m), oddalonego o ok. 4 km na NW od otworu Siedliska IG 1.

WYDZIELENIA WARSTW WĘGLA KAMIENNEGO W PROFILU

Typowa dla utworów karbonu górnego, nie tylko dla obszaru LZW, duża zmienność średnicy otworów wpływa na to, że w przypadku miąższości warstw węglowych zbliżonych do 1 m i mniejszych wydzielenie takich warstw jest trudne, a często niejednoznaczne. Powszechnie stosowane kryterium oparte na łącznej interpretacji profilowania gamma (PG) oraz profilowania gęstościowego (PGG) w tym przypadku może być bardzo zawodne. Obecność warstwy węglowej i związanej z nią anomalii pola fizycznego jest na ogół niewystarczające do pomiarów realizowanych za pośrednictwem klasycznych radiometrycznych sond pomiarowych z licznikami gazowymi GM. Znaczna długość czynna stosowanych liczników promieniowania, a także specyfika działania układu integracyjnego wpływają na niską skuteczność wymienionych metod. Praktyka interpretacyjna wykazała, że w tym przypadku znacznie skuteczniejszą metodą jest skorzystanie przede wszystkim z wyników metody PNG, o relatywnie większej głębokości strefy oddziaływania (w stosunku do metod PG czy PGG) oraz spągowej sondy gradientowej M8.0A1.0M (opcjonalnie – również każdej innej dostatecznie „długiej" opornościowej sondy gradientowej). Omówienie tych zagadnień wykracza poza ramy niniejszej publikacji i z tego powodu ich szczegółowa analiza zostanie tu pominięta. Zagadnienie efektywności metod szczegółowych wydzieleń, np. warstw węglowych m.in. na obszarze LZW – w nawiązaniu do współczesnych metod badawczych – powinno być ewentualnie podjęte w ramach realizowanych w przyszłości prac metodycznych.

Potwierdzone zostały wcześniejsze obserwacje autora jeszcze z lat 70. XX wieku (praca niepublikowana) dotyczące dużej efektywności wydzieleń warstw węglowych na obszarze LZW na podstawie omawianego zestawu pomiarowego. Proces przewiercania warstw węglowych prawdopodobnie wpływa na powstanie w nich w strefie przyotworowej spękań zmniejszających efektywną oporność. Znaczna długość wspomnianej wyżej sondy i związany z tym jej duży zasięg pozwalają na obserwacje oporności poza strefą spękań. Praktycznie możliwe staje się wydzielanie warstw węgla nawet o niewielkiej miąższości – niezależnie od stopnia skawernowania ścian otworu.

Na figurze 36 przedstawiono profil utworów karbonu z wydzielonymi warstwami węgla, z zaznaczonymi odcinkami rdzeniowanymi, opornością mierzoną sondą M8.0A-1.0B oraz unormowaną wartością naturalnego promieniowania gamma. Przy wydzielonych warstwach węglowych podano głębokości ich stropu oraz miąższość.

We wspomnianym wcześniej otworze wiertniczym Siedliska-2 uzyskano przy pomocy współczesnych metod badawczych (realizowanych aparaturą firmy Halliburton) zbliżoną liczbę warstw węglowych w stosunku do liczby ich wydzieleń w otworze Siedliska IG 1. Niewielkie miąższości większości wydzielonych warstw węgla i związane z tym ich niewielkie współczesne znaczenie złożowe nie wykluczają ich znaczącej roli m.in. w procesie ustalenia dokładnego przestrzennego zalegania warstw węgla oraz ich identyfikacji korelacyjno-stratygraficznej. Niewykluczone, że w przyszłości, np., w wyniku rozwoju technologii gazyfikacji węgli *in situ*, pojawi się potrzeba sięgnięcia również do omawianych warstw węglowych. Łączna sumaryczna miąższość węgla występującego w profilu otworu Siedliska IG 1 w warstwach o miąższości większej niż 0,5 m wynosi ok. 35,7 m. Niektóre spośród wydzielonych warstw mogą mieć charakter łupków węglowych. Zastosowanie w ewentualnych przyszłych pracach badawczych procesu dekonwolucji profilowań może określić dokładniej charakter poszczególnych warstw, np. przez obliczenie ich zapopielenia.

METODY INTERPRETACJI PARAMETRÓW PETROFIZYCZNYCH

Proces obliczeń parametrów petrofizycznych poprzedzano podziałem profilu otworu Siedliska IG 1 na tzw. metodyczne odcinki interpretacyjne, w których obrębie było możliwe przyjęcie określonych stałych parametrów interpretacyjnych.

Istotną rolę w procesie interpretacji danych geofizycznych, w tym kalibracji *post factum* sond w radiometrach, powinny mieć dane laboratoryjne. W otworze Siedliska IG 1 danych takich było bardzo niewiele. Badania takie wykonano w odniesieniu do 40 próbek, przy czym określono

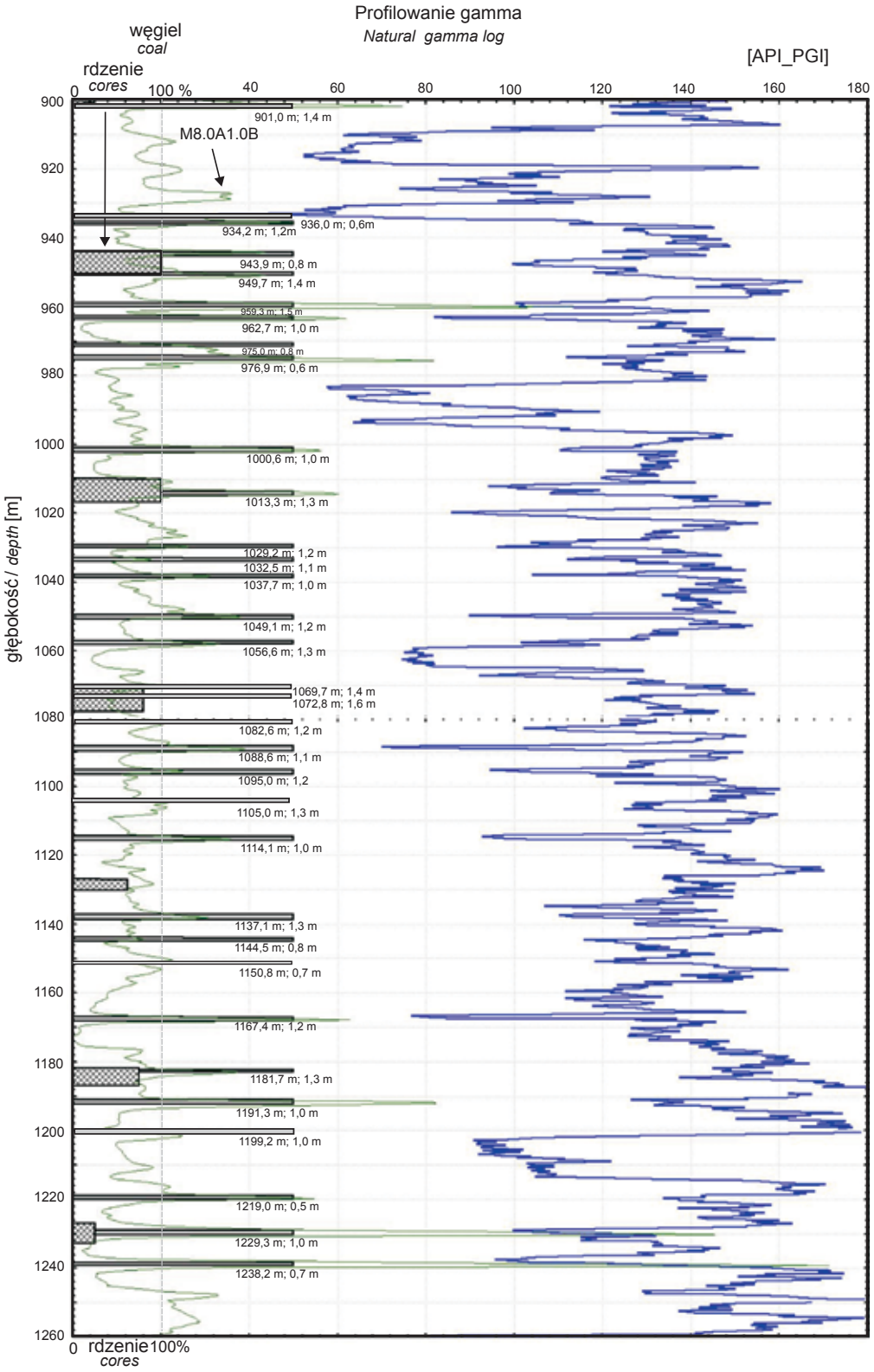


Fig. 36. Warstwy z węglem wydzielone na podstawie danych geofizycznych

Opisano głębokości stropów warstw węgla oraz ich miąższość i pokazano profil unormowanej wartości profilowania gamma

Coal seams after geophysical interpretation

The depths of top and thickness of coal is shown. It also presents cores intervals with information on the yields of the core and normalized natural gamma log

dla nich jedynie porowatość całkowitą oraz przepuszczalność. Niewielki zakres wykonanych badań laboratoryjnych ograniczył w tej sytuacji możliwość efektywnej weryfikacji poprawności wyników interpretacji danych geofizycznych. Całość prac interpretacyjnych realizowano przy pomocy autorskiego programu interpretacyjnego GEOFLOG (Szewczyk, 1994, 2000a, b).

PROFILE WŁAŚCIWOŚCI PETROFIZYCZNYCH

Ważnym elementem interpretacyjnym była wykonywana *post factum* kalibracja sond radiometrycznych (Szewczyk, 1998, 2000a). Uzyskane w ten sposób informacje pozwoliły na obliczenie zgeneralizowanego objętościowego profilu litologicznego (VOL), z uwzględnieniem zarówno istniejącego opisu litologii, jak i wyników badań parametrów petrofizycznych. W zastosowanej procedurze interpretacyjnej przyjęto z konieczności uproszczony 3-składnikowy model objętościowy skały (przestrzeń porowa + zailenie + szkielet skały).

POROWATOŚĆ CAŁKOWITA ORAZ GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA

Procedury obliczeń porowatości oparto na dwóch podstawowych metodach radiometrycznych, czyli profilowaniu typu neutron-gamma (PNG) oraz profilowaniu naturalnego promieniowania gamma (PG). Na figurze 37 przedstawiono profil obliczonej porowatości całkowitej wraz z punktowymi wynikami laboratoryjnych analiz tego parametru.

Na figurze 38 przedstawiono odpowiednio profile gęstości objętościowej w stanie powietrzno-suchym (Go) oraz nasyconym (GoW). Zastosowaną metodykę obliczeń gęstości objętościowej przedstawiono we wcześniejszej pracy autora niniejszego rozdziału (Szewczyk, 2000b). Wyniki określeń gęstości mogą być wykorzystywane do modelowań grawimetrycznych metodą tzw. strippingu. W takim przypadku powinna być stosowana wartość gęstości objętościowej w stanie nasyconym (GoW), odpowiadająca naturalnej gęstości występującej w warunkach naturalnych.

Wyniki przedstawione na figurach 37 i 38, tak jak wyniki z prawie 300 innych głębokich otworów wiertniczych uzyskane w analogiczny sposób, wykorzystywano dotychczas m.in. przy opracowywaniu atlasów energii geotermalnej (Szewczyk, 2006), mapy strumienia cieplnego Polski (Szewczyk, Gientka, 2009), opracowań związanych z sekwestracją CO_2 (Wójcicki, 2013) czy z oceną potencjału energetycznego tzw. suchych gorących skał (HDR – Hot Dry Rocks) (Wójcicki i in., 2013).

PROFIL PRĘDKOŚCIOWY

W czasie wykonywania badań geofizycznych, na początku 70. XX wieku, czyli w okresie realizacji m.in. otworu wiertniczego Siedliska IG 1, ze względu na brak aparatury pomiarowej nie wykonywano profilowań akustycznych prędkości (DT). Uzyskany w wyniku procesu interpretacyjnego objętościowy model skał występujących w profilu, stworzył warunki do obliczeń wartości tzw. syntetycznych prędkości fal akustycznych (DTS). Informacje te, łącznie z danymi dotyczącymi gęstości skał, mogą być wykorzystywane w interpretacji danych sejsmicznych. Zastosowaną w systemie interpretacyjnym GEOFLOG metodykę obliczeń prędkości opisano we wcześniejszej pracy autora rozdziału (Szewczyk, 1998). Na figurze 39 przedstawiono czas przebiegu fali akustycznej obliczony powyższym sposobem.

Bardzo wyraźnie jest widoczna obecność warstw węgla w utworach karbonu. W konfrontacji powyższych wyników z danymi z pobliskiego otworu Siedliska-2 w dalszych pracach metodycznych nad metodą obliczania prędkości akustycznych w większym powinno być uwzględniane stopniu zagadnienie wpływu ciśnienia górotworu na uzyskiwane wyniki (co jest szczególnie widoczne w utworach ilastych). Konieczna jest tu kontynuacja prac metodyczno-badawczych m.in. nad zagadnieniem obliczania wartości DTS.

CHARAKTERYSTYKA TERMICZNA PROFILU OTWORU

Podczas badań geofizycznych realizowanych w otworze wiertniczym w ramach tzw. strefowych badań geofizycznych przeprowadzono pomiary temperatury w nieustabilizowanych warunkach termicznych (TN), ponadto pomiar temperatury dla określenia jakości zacementowania rur okładzinowych (TC), a także pomiar temperatury maksymalnej (T_{max}, *ang.* BHT) w ramach każdego z badanych odcinków badań strefowych. Po zakończeniu wiercenia 17 października 1970 r., po około 10 dobach stabilizacji, w interwale 45–2527 m (?), przy ówczesnej końcowej i ostatecznej głębokości otworu 3010,3 m, wykonano pomiar temperatury w warunkach uznawanych w przybliżeniu za ustabilizowane (T). Był to równocześnie ostatni pomiar wykonany w omawianym otworze.

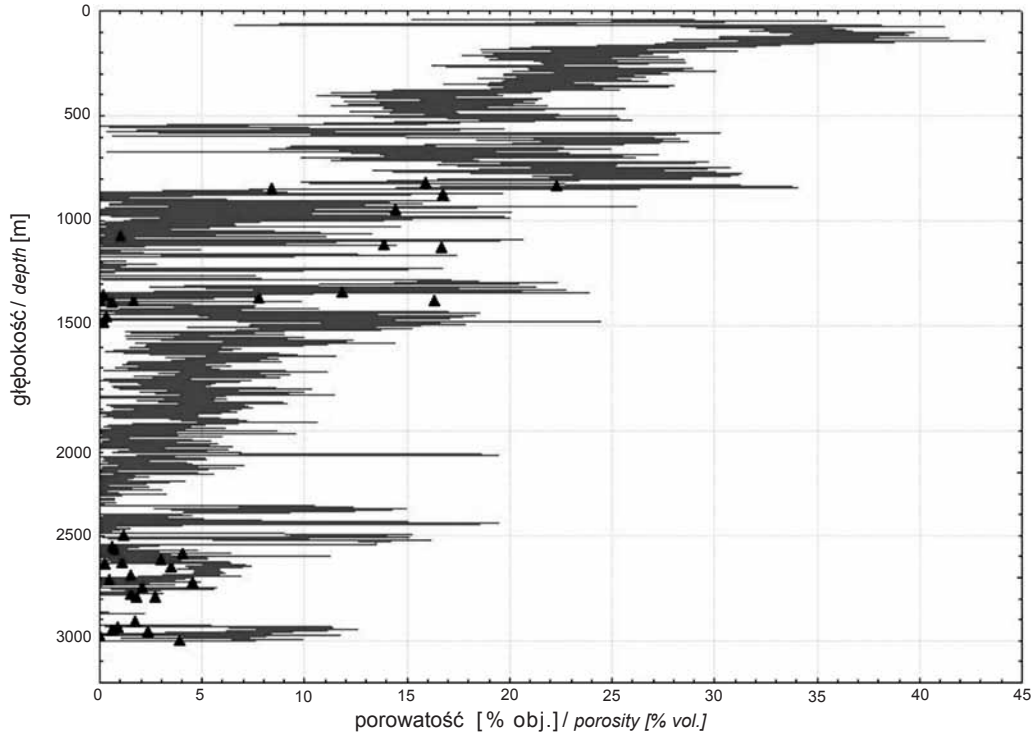


Fig. 37. Profil obliczonej wartości porowatości całkowitej wraz z wynikami badań laboratoryjnych tego parametru

Profile of calculated total porosity after geophysical data as well lab data

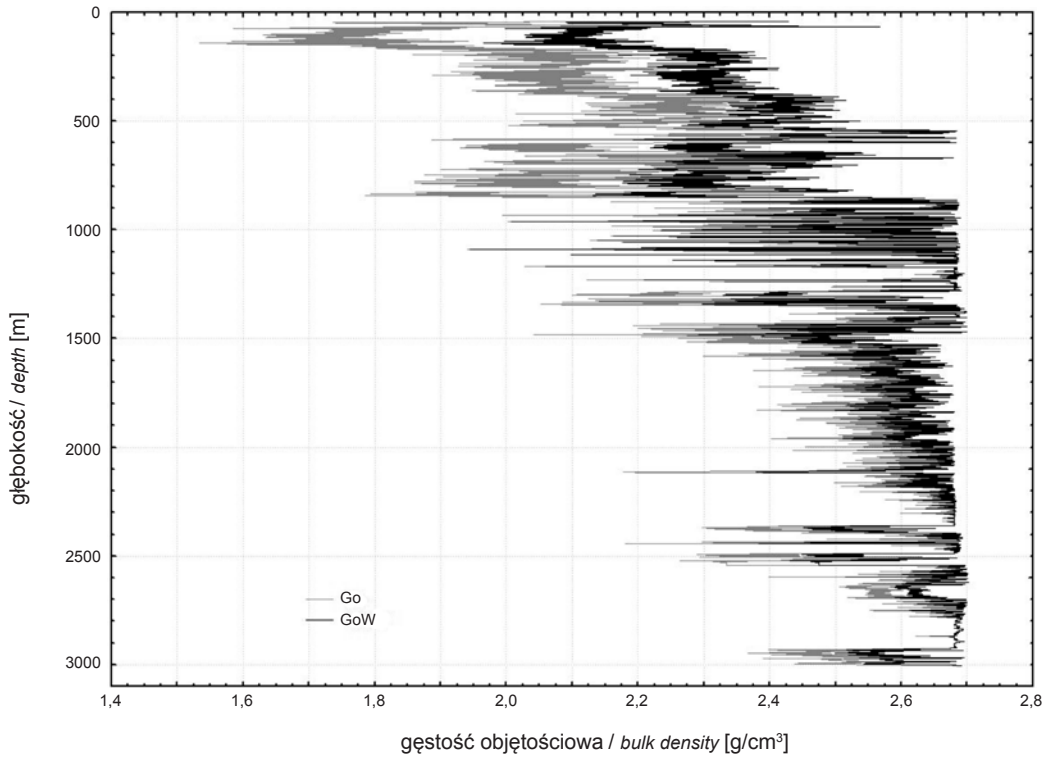


Fig. 38. Profil gęstości objętościowej w stanie powietrzno-suchym (Go) oraz nasyconym (GoW)

Wet (GoW) and dry (Go) bulk densities after geophysical interpretation

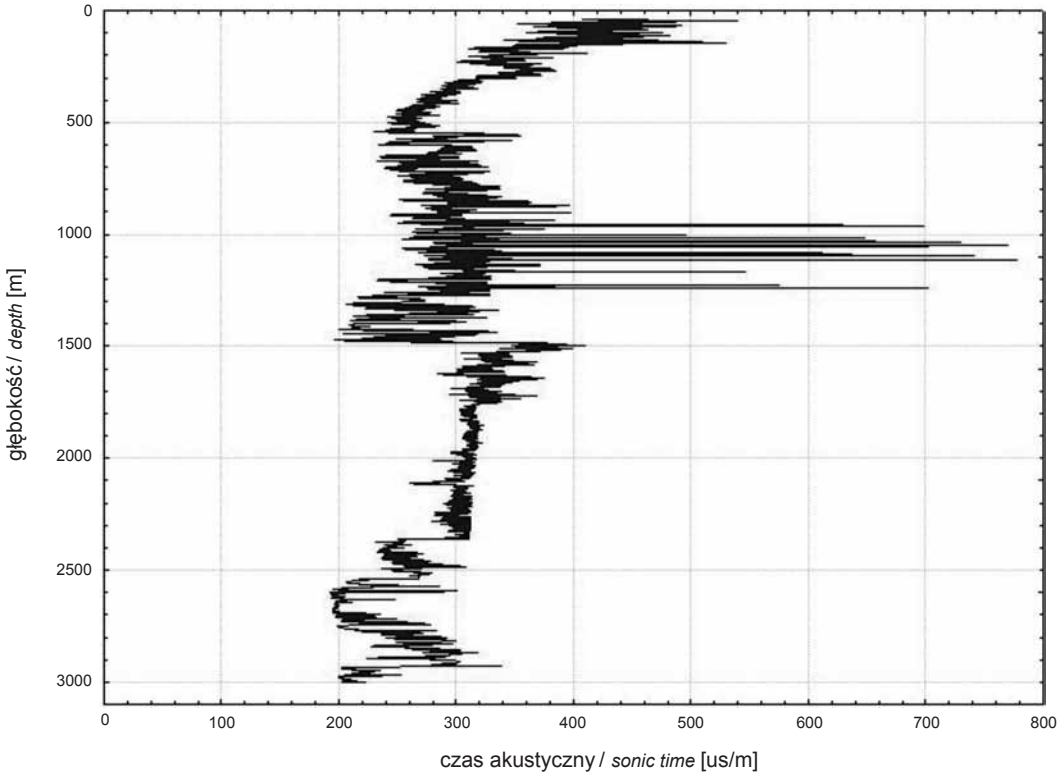


Fig. 39. Czas przebiegu fali akustycznej obliczonych na podstawie interpretacji danych geofizycznych (DTS)

Graph of sonic travel time calculated on the basis of the interpretation of geophysical data (DTS)

Podstawowym celem badania temperatury w warunkach zbliżonych do ustabilizowanych było określenie m.in. gęstości strumienia cieplnego. Określenie objętościowego modelu litologiczno-porowatościowego skał profilu otworu stworzyło warunki do obliczeń przewodności cieplnej, a także profilu paleotemperatury dla zlodowacenia wisły. Metodykę obliczeń powyższych parametrów przedstawiono we wcześniejszych pracach autora niniejszego rozdziału (Szewczyk, 2001; Szewczyk, Gientka, 2009). Elementem kluczowym dla dotychczas stosowanych metod obliczania wielkości strumienia jest znajomość przewodności cieplnej skał, występującej w badanych profilach otworów wiertniczych. Zastosowaną w niniejszej pracy geofizyczną metodę obliczania tego parametru oparto na obliczeniach przewodności cieplnej na podstawie litologiczno-objętościowego modelu skał występujących w profilu otworu.

Na figurze 40A przedstawiono zestawienie przewodności cieplnej obliczonej na podstawie modelu objętościowego skał występujących w profilu.

Ze względu na prawdopodobną lokalną utratę drożności otworu na głębokości 1950–1980 m pomiar temperatury został zaburzony. Niewykluczony jest tu wpływ pozostałości reakcji egzotermicznej związanej z wcześniejszą cementacją rur okładzinowych. Nie zachowała się oryginalna taśma pomiarowa omawianego pomiaru, ani jej skan (niewykluczona jest możliwość „sklejenia" omawianego pomiaru z dwóch pomiarów wykonywanych w różnym czasie).

W trakcie realizacji wiercenia cyrkulująca w nim płuczka wiertnicza ochładza dolną cześć profilu otworu, a nagrzewa jego górną cześć. Ustanie cyrkulacji płuczki zapoczątkowuje powrót otworu do jego niezaburzonego stanu. W przypowierzchniowej części profilu jego temperatura stopniowo zmierza do wartości ustabilizowanej, odpowiadającej jej wieloletniej wartości określanej jako temperatura strefy przypowierzchniowej (*ang. Ground Surface Temperature* – GST).

Dla rejonu, w którym zlokalizowano otwór Siedliska IG 1, wieloletnia średnia wartość temperatury strefy przypowierzchniowej GST wynosi +9,32°C. Zarejestrowana wartość temperatury T wyraźnie odbiega od podanej wartości GST (fig. 40B). Widoczna jest sięgająca powyżej 9°C różnica między wartością temperatury T ekstrapolowanej do powierzchni terenu, a wymienioną wartością GST dla otworu. Podobnie zarejestrowane wartości T_{max} (BHT) ze względu na zaburzenie pola temperatury są niższe od wartości temperatury tego profilowania. Obliczenie paleotemperatury i wartości gęstości strumienia poprzedzono wprowadzeniem korekty profilu temperatury eliminującej niepełną stabilizację termiczną otworu. Szczegółowa analiza reżimu termicznego dla badanego otworu, oparta m.in. na obliczonych wartościach przewodności cieplnej i paleotemperatury (T_s), wykazują nieprawidłowy charakter zarejestrowanego profilowania termicznego poniżej głębokości ok. 1985 m. Temperatura ustabilizowana dla głębokości

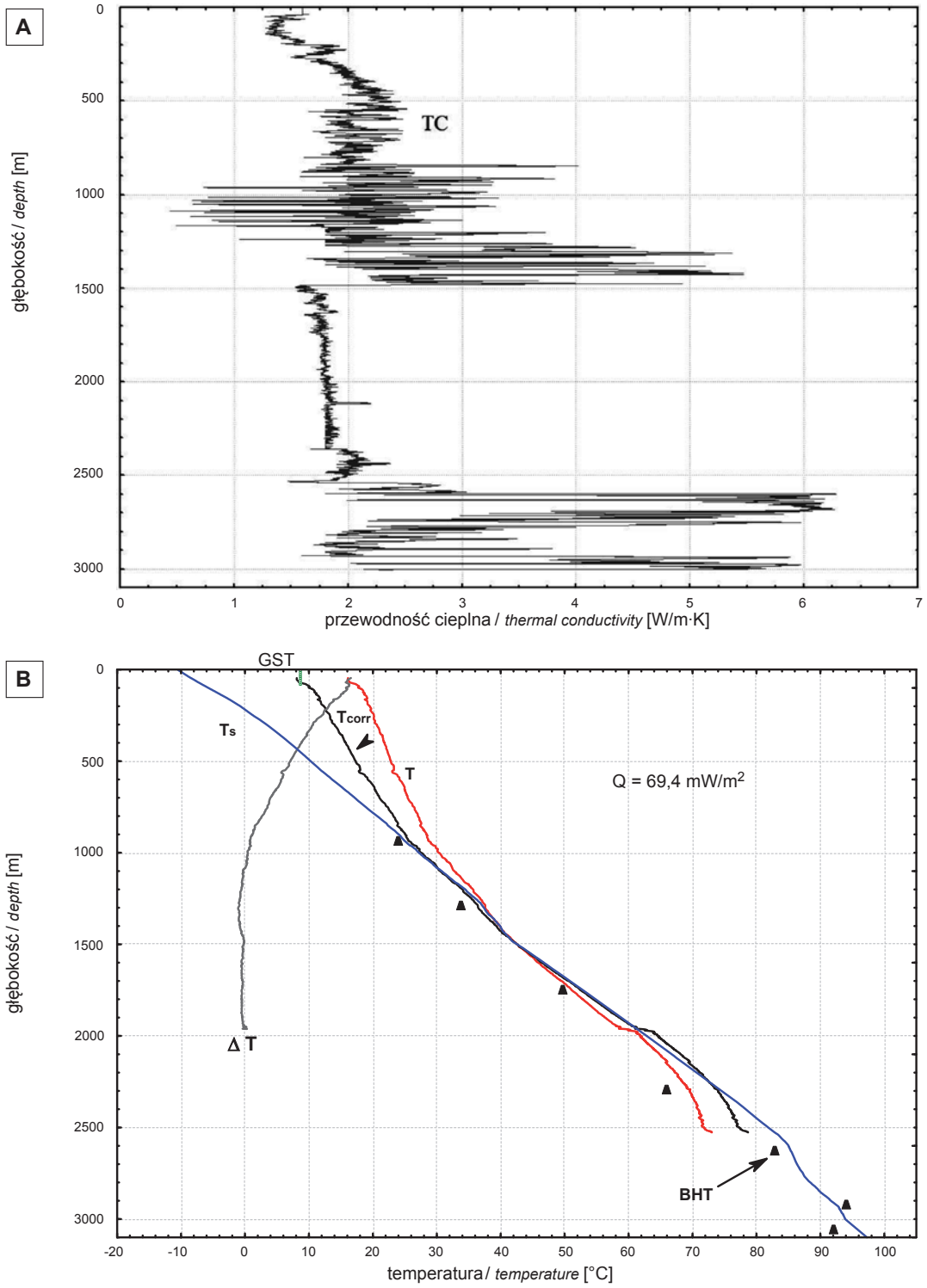


Fig. 40. Charakterystyka termiczna otworu Siedliska IG 1: A. Przewodność cieplna skał tworzących profil (TC) obliczona na podstawie danych geofizycznych. B. Wyniki badań termicznych

T – zarejestrowana wartość temperatury dla warunków zbliżonych do ustalonych, T_s – temperatura syntetyczna obliczona na podstawie przewodności termicznej skał, T_{corr} – obliczona temperatura niezaburzona dla warunków ustabilizowanych, BHT – strefowe temperatury maksymalne, GST – temperatura strefy przypowierzchniowej, ΔT – amplituda glacjalnej zmiany klimatycznej okresu zlodowacenia wisły *vs* holocen

Thermal characteristics of the Siedliska IG 1borehole Siedliska IG 1: **A.** Thermal conductivity of rock-forming profile, calculated on the basis of geophysical data. **B.** Geothermal data

T – recorded temperature for semi stable conditions, T_s – synthetic temperature synthetic calculated on the basis of thermal conductivity of rocks, T_{corr} – stable temperature, BHT – the maximum temperature zone, GST – ground surface temperature, ΔT – temperature amplitude of Weischselian vs Holocene

2000 m, czyli poza zasięgiem głębokościowym glacjalnych zmian klimatycznych, wynosi 47,45°C (Szewczyk, 2010).

Korzystając z wyliczonych wartości przewodności cieplnych profilu oraz skorygowanego profilowania temperatury (T_{corr}), a także wartości BHT, obliczono wielkość gęstości strumienia cieplnego oraz wartości efektywnej paleotemperatury strefy przypowierzchniowej GSTH dla zlodowacenia wisły. Wszystkie omawiane typy temperatury przedstawiono na figurze 40B. Na figurze tej pokazano zestawienie m.in. profilu temperatury syntetycznej (T_s) obliczonej na podstawie przewodności cieplnej skał tworzących profil zarówno z profilowaniem ustabilizowanej wartości temperatury (T_{corr}) jak i wartościami temperatur maksymalnych (BHT). Obliczona wartość strumienia cieplnego dla otworu Siedliska IG 1 wynosi 69,4 mW/m^2, temperatura strefy przypowierzchniowej dla końca ostatniego glacjału, czyli GSTH wynosi ok. – 10°C, a obliczoną dla temperatury –1,0°C efektywną paleomiąższość permafrostu dla tego okresu Hp określono na 221 m. Na figurze 40B pokazano również wielkość zaburzenia temperatury (ΔT) związanej ze zmianami klimatu między ostatnim glacjałem a współczesnym okresem holoceńskim. W strefie przypowierzchniowej wielkość tej amplitudy wynosi ok. +18°C. Zasięg głębokościowy zaburzenia klimatycznego związanego z ocieplenie holoceńskim sięga nieco powyżej 1000 m.

Otwór Siedliska IG 1 znajduje się w brzeżnym obszarze wyraźnej anomalii podwyższonej wartości strumienia zapewne związanej z wyniesieniem łukowsko-wisznickim (*vide* Szewczyk, Gientka, 2009). Powodem podwyższonej wartości strumienia może być wzrost składowej strumienia związanej z ciepłem radiogenicznym skał podłoża krystalicznego.

MAPA GŁĘBOKOŚCI STROPU IZOTERMY +160°C

Obliczenie wartości wgłębnego strumienia cieplnego pozwala na estymacje temperatury do głębokości interesujących m.in. przy rozważaniach związanych np. z oceną warunków generacji i zachowaniem złóż bituminów na badanych obszarze.

Jednym z takich celów badawczych może być np. określenie głębokości występowania stropu izotermy +160°C. Realizacja tego zadania wymagała uwzględnienia przewodności cieplnej utworów podłoża krystalicznego, a także ekstrapolacji profilu przewodności cieplnej dla skał osadowych. Takie zadanie badawcze zrealizowano w ramach grantu badawczego zakończonego w 2006 r. (Pacześna, 2006). Na podstawie rozważań przedstawionych w wymienionej pracy przyjęto, że prawdopodobna przewodność cieplna utworów podłoża krystalicznego wynosi 2,1 W/m°C.

Na podstawie obliczonych powyższym sposobem wartości strumienia cieplnego zarówno dla profilu otworu Siedliska IG 1, jak również dla innych 16 głębokich otworów wiertniczych z obszaru lubelsko-podlaskiego basenu sedymentacyjnego (LPB) opracowano m.in. mapę głębokości stropu izotermy +160°C (Szewczyk, Gientka, 2006). Ekstrapolowana głębokość występowania izotermy +160°C dla lokalizacji otworu Siedliska IG 1 wynosi ok. 4940 m. Dla głębokości 8000 m przewidywana temperatura wynosi ok. 248°C.

Na figurze 41 przedstawiono mapę głębokości występowania izotermy +160°C na obszarze LPB. Zastosowanie jednolitej metodyki obliczeń wartości strumienia cieplnego w odniesieniu do danych geotermicznych z badanego obszaru doprowadziło m.in. do uzyskania jednolitego obrazu rozkładu przestrzennego wielkości strumienia dla tego obszaru. Uwzględniono w nim zarówno wpływ czynnika paleoklimatycznego na wielkość strumienia cieplnego, jak również czynników związanych z zaburzeniami równowagi termicznej w otworach.

Na prezentowanej mapie zarysowuje się wyraźna konsekwentna anomalia głębokości izotermy +160°C związana z podwyższoną wartością strumienia o rozciągłości N–S dla strefy Parczew–Stadniki–Zambrów. Prawdopodobną przyczyną wyraźnego wzrostu wartości strumienia może być wspomniana wcześniej obecność w podłożu krystalicznym granitoidów charakteryzujących się podwyższoną wartością ciepła radiogenicznego.

WARSTWY WODONOŚNE – MINERALIZACJA WÓD PODZIEMNYCH

Zgodnie z przyjętymi założeniami badawczymi jednym z celów badań wykonanych dla otworów wiertniczych było wydzielenie warstw wodonośnych ze szczególnym uwzględnieniem warstw mogących potencjalnie zawierać bituminy. Na figurze 42A przedstawiono m.in. profil obliczonych średnich warstwowych wartości porowatości efektywnej dla profilu otworu Siedliska IG 1 z wydzielonymi poziomami wodonośnymi oraz izolacyjnymi. Istnieje niepewność co do poprawności uznania jako warstwy nieprzepuszczalne (izolacyjne) utworów kredy górnej. Przy ich generalnie wysokiej porowatości całkowitej, obecnie brak dostatecznych danych do wyznaczania ich porowatości efektywnej na podstawie kryterium litologiczno-geofizycznego. Konieczne są zatem dalsze badania metodyczne.

Na figurze 42A wskazano głębokościową lokalizację odcinków profilu poddanych badaniom hydrogeologicznym

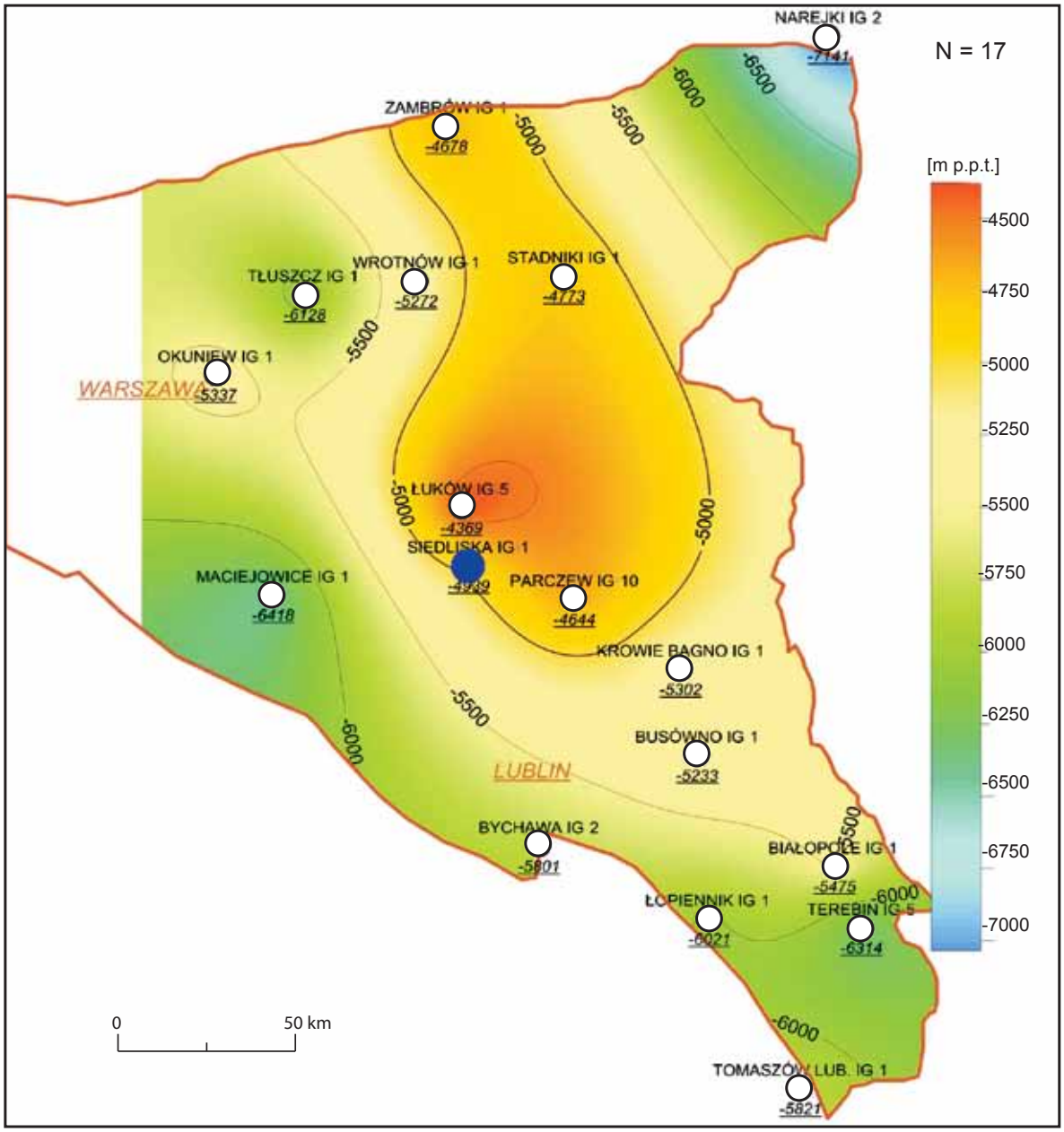


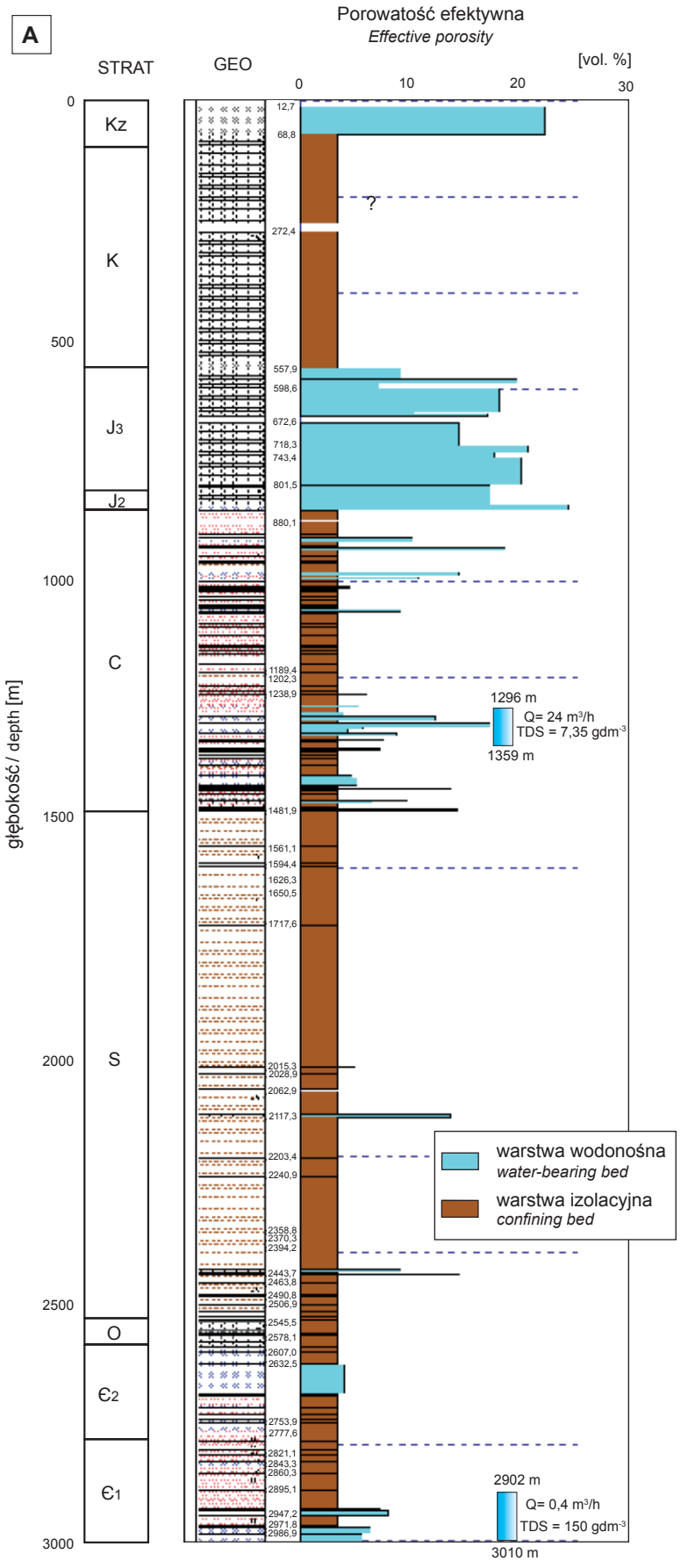
Fig. 41. Mapa głębokości izotermy +160°C (Szewczyk, Gientka, 2006, zmienione)

Map of the depth of +160°C isotherm (Szewczyk, Gientka, 2006, modified)

wraz z głównymi wynikami badań. Odcinek profilu karbonu (1296–1359 m), z którego uzyskano stosunkowo wysoki przypływ wód złożowych, składa się z kilku rozdzielnych izolowanych warstw wodonośnych. Bardzo mały przypływ wód w utworach kambru wynika z ich bardzo niskiej porowatości efektywnej.

Na figurze 42B przedstawiono głębokościowe zestawienie mineralizacji wód podziemnych z badanych poziomów wodonośnych, porównane z wartościami mineralizacji obserwowanymi na Niżu Polskim. Linią ciągłą pokazano, jako poziom referencyjny, średnią wartość mineralizacji obliczoną metodą najmniejszych kwadratów (uśrednienie dotyczy głębokości jako zmiennej niezależnej).

Wody podziemne dla badanego obszaru, dla pierwszego zbadanego karbońskiego poziomu wodonośnego wykazują zdecydowanie niższą wartość mineralizacji w stosunku do wartości średnich obserwowanych na Niżu Polskim. Mineralizacja wód kambru to typowa wartość dla tej głębokości.


A
STRAT
GEO
Porowatość efektywna
Effective porosity
[vol. %]
0
10
20
30
głębokość / depth [m]
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
Kz
K
J3
J2
C
S
O
Є2
Є1
12,7
68,8
272,4
557,9
598,6
672,6
718,3
743,4
801,5
880,1
1189,4
1202,3
1238,9
1481,9
1561,1
1594,4
1626,3
1650,5
1717,6
2015,3
2028,9
2062,9
2117,3
2203,4
2240,9
2358,8
2370,3
2394,2
2443,7
2463,8
2490,8
2506,9
2545,5
2578,1
2607,0
2632,5
2753,9
2777,6
2821,1
2843,3
2860,3
2895,1
2947,2
2971,8
2986,9
?
1296 m
Q= 24 m³/h
TDS = 7,35 gdm⁻³
1359 m
2902 m
Q= 0,4 m³/h
TDS = 150 gdm⁻³
3010 m
warstwa wodonośna
water-bearing bed
warstwa izolacyjna
confining bed

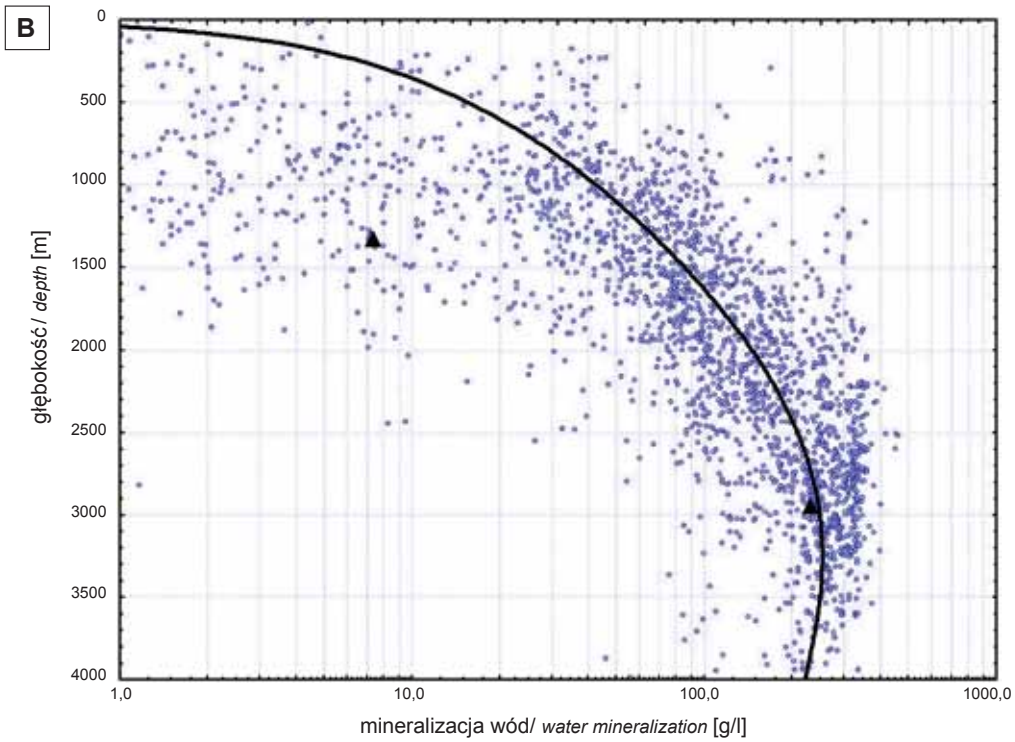


Fig. 42. A. Warstwy zbiornikowe i izolujące w profilu otworu wraz z określoną uśrednioną warstwową wartością porowatości efektywnej. Wskazano interwały badań oraz podstawowe wyniki: Q – wielkość przypływu [m^3/h], TDS – mineralizacja wód [g/dm^3]. B. Mineralizacja wód uzyskana w trakcie badań hydrogeologicznych w otworze Siedliska IG 1 na tle zmienności mineralizacji wód na Niżu Polskim. Pokazano wartość średnią mineralizacji tych wód obliczoną metodą najmniejszych kwadratów

A. Aquifers and confined beds with averaged effective porosity in the Siedliska IG 1 borehole. It was shown tested intervals and main results: Q – inflow [m^3/h], TDS – total mineralization [g/dm^3]. **B.** Mineralization of water obtained in the course of hydrogeological investigations in the Siedliska IG 1 borehole, the background variability of ground water mineralization in the Polish Lowlands. Shown is the average mineralization of these waters calculated using least squares method

PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

W otworze Siedliska IG 1 dobrze zaplanowano i prawidłowo zrealizowano, jak na ówczesne możliwości techniczne (okres pomiarów analogowych), program badań geofizyki wiertniczej. Przeprowadzono proces skanowania zarówno arkuszy pomiarowych, jak i źródłowych taśm pomiarowych. Równie wysoko można ocenić jakość digitalizacji analogowych wyników wykonanych badań.

Badania geofizyczne umożliwiły rozpoznanie zarówno profilu litologicznego, jak i uzyskanie informacji o cechach petrofizycznych utworów występujących w profilu otworu Siedliska IG 1. Cenną rzeczą są m.in. informacje metodyczne uzyskane w wyniku analiz danych odnoszących się m.in. do wydzieleń warstw węglowych utworów karbonu produktywnego.

Prezentowane dane powinny być wykorzystane w analizach związanych m.in. z pozyskiwaniem energii geotermalnej, hydrogeologią, w analizach sekwestracji CO_2, czy też w modelowniach wyników powierzchniowych badań geofizycznych, takich jak badania sejsmiczne czy grawimetryczne. Uzyskane dane stanowią i będą stanowić w przyszłości, cenny materiał faktograficzny do analiz metodycznych związanych z badaniami utworów pokrywy osadowej na Niżu Polskim.

Można z dużym prawdopodobieństwem przypuszczać, że liczba nowych otworów na obszarze Polski będzie niewielka i ograniczona jedynie do określonych obszarów. Przyrost nowych informacji na temat budowy geologicznej będzie w głównej mierze bazował na właściwej interpretacji już istniejących danych archiwalnych. Zawarte w niniejszej publikacji informacje, dotyczące zarówno metodyki badań, jak i wyników prac interpretacyjnych, powinny ułatwić realizację tych zadań.

Lidia DZIEWIŃSKA, Waldemar JÓŹWIAK

OPRACOWANIE POMIARÓW PRĘDKOŚCI ŚREDNICH

Dokumentacja pomiarów prędkości średnich dla otworu wiertniczego Siedliska IG 1 została sporządzona na zlecenie Państwowego Instytutu Geologicznego przez Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych (PPG) Warszawa we wrześniu 1970 r. (Grzeszczuk, Materzok, 1970).

Pomiary w otworze wykonano aparaturą SS-24-P oraz sondą produkcji PPG. Interwał pomiarowy wynosił 50 m. Pomiary prowadzono na głębokości 199–2998 m, przy całkowitej głębokości otworu wynoszącej 3010,3 m. Wysokość wylotu głębokiego otworu geologicznego wynosiła 155 m n.p.m. Jako poziom odniesienia pomiarów przyjęto 10 m poniżej wylotu wiercenia, czyli głębokość 145 m n.p.m.

Usytuowanie punktów strzałowych (PS) było podyktowane warunkami metodycznymi i terenowymi. Odległości punktów strzałowych od głębokiego otworu wynosiły odpowiednio dla PS 1 – 159 m i dla PS 2 – 163 m, natomiast wysokość otworu strzałowego w stosunku do wylotu głębokiego otworu dla PS 1 stanowiła – 1,5 m, a dla PS 2 + 0,5 m. Azymuty mierzone w punkcie głębokiego otworu w kierunku poszczególnych PS wynosiły w przypadku PS 1: 94°, 88° i 84° oraz dla PS 2: 278°, 270° i 286°. W rezultacie uzyskano minimalny rozrzut punktów z różnych azymutów.

Wielkość ładunków wybuchowych zarówno dla PS 1, jak i PS 2 mieściła się w przedziałach 0,25–2,5 kg. Głębokość strzelania z poszczególnych punktów strzałowych (PS) była zróżnicowana: dla PS 1 – od 6 do 24 m przy głębokości do poziomu odniesienia wspólnego dla wszystkich PS wynoszącej 8,5 m oraz dla PS 2 – od 9 do 21 m przy przyjętej głębokości do poziomu odniesienia 10,5 m.

Prace strzałowe wykonano przy użyciu dynamitu 1G-3 i zapalników KZnPT. W celu kontroli głębokości strzelania na poszczególnych punktach strzałowych ustawiono geofony korekcyjne – K_1 (przy maksymalnej odległości 5 m), a kontrolę momentu wybuchu umożliwiło umieszczenie przy otworze geofonu korekcyjnego K_2.

Pierwsze impulsy sondy zarejestrowano na dwóch kanałach, odpowiednio przy filtracjach 30/0 i 45/0.

Zapisy geofonów korekcyjnych rejestrowano w następujący sposób: na kanale 4 geofon K_1 (PS 1), na kanale 5 geofon K_1 (PS 2) i na kanale 6 geofon K_2.

Do pomiaru użyto kabla karotażowego KTO-4, KTBD-6. Na sejsmografach nie stwierdzono wyraźnych zakłóceń. Jakość materiałów, a w związku z tym i pewność opracowania końcowego dla poszczególnych punktów strzałowych, była bardzo zróżnicowana. Oceny jakości dokonano w interwale głębokościowym od 199 do 2998 m. Dla PS 1 uznano jakość materiałów jako dobrą dla 45 punktów, jako dostateczną dla 8 punktów i dla 10 punktów jako złą. W przypadku PS 2 wielkości te są zbliżone i dobra jakość dotyczy 46 punktów, dostateczna 6 punktów, a dla 12 punktów określono ją jako złą. W konsekwencji ocena dobra obejmuje 91 punktów, dostateczna 14 punktów i zła 22 punkty. Do prac obliczeniowych zaklasyfikowano sejsmogramy dobre i dostateczne, co daje razem 105 pkt.

Bardziej szczegółową ocenę poszczególnych punktów pomiarowych załączono w dokumentacyjnych tabelach obliczeniowych. Wartość oceny określa pewność korelacji, jakość i wyrazistość impulsu oraz maksymalny błąd w określeniu wstąpienia fali. Do oceny poszczególnych sejsmogramów zastosowano następującą skalę:

- „5" – sejsmogram bardzo dobry – materiał pewny – błąd $\Delta t = \pm 0{,}001$ s;
- „4" – sejsmogram dobry – materiał pewny – błąd $\Delta t = \pm 0{,}002$ s;
- „3" – sejsmogram dostateczny – materiał mniej pewny – błąd $\Delta t = \pm 0{,}003$ s;
- „2" – sejsmogram bardzo słaby (zły) – materiał niepewny – błąd $\Delta t > 0{,}003$ s.

Wartość czasu odczytanego z sejsmogramów (t_{obs}) poprawiono dwiema metodami. W pierwszej metodzie poprawki czasowe (Δt_h) wprowadzono uwzględniając zmiany głębokości strzelania dla poszczególnych pomiarów w stosunku do poziomu odniesienia wspólnego dla wszystkich punktów strzałowych.

W metodzie tej uwzględniono następujące czynniki:

h – głębokość strzelania dla poszczególnych pomiarów (z dziennika operatora);

h_{SMP} – miąższość strefy małych prędkości (SMP) dla danego PS;

h_{po} – głębokość do poziomu odniesienia wspólnego dla wszystkich punktów strzałowych liczona od powierzchni ziemi na poszczególnych PS;

V_{SMP} – prędkość w strefie małych prędkości, która wynosi dla tego otworu 1600 m/s;

V – prędkość w ośrodku pod strefą małych prędkości.

Poprawki Dt_h liczono z uwzględnieniem strzelania w strefie i nad strefą małych prędkości.

Ostatecznie wzór na czas poprawiony przyjmuje postać:

$$t_p = t_{obs} + \Delta t_h$$

W drugiej metodzie wykorzystano wskazania geofonów korekcyjnych K_1, K_2, gdzie:

K_1 – geofon korekcyjny przy otworze strzałowym rejestrujący zmiany czasu spowodowane różną głębokością strzelania oraz niedokładną rejestracją momentu wybuchu;

K_2 – geofon umieszczony przy głębokim otworze rejestrujący zmiany czasu spowodowane tylko niewłaściwą rejestracją momentu wybuchu.

Obliczenia uwzględniają poprawkę wynikającą ze zmiany głębokości strzelania w stosunku do średniej głębokości strzelania ($h_{śr}$). Wprowadzone następnie poprawki czasowe

uwzględniają różnice pomiędzy średnią głębokością strzelania ($h_{śr}$) a poziomem odniesienia (h_{po}). Wartości tej poprawki liczono według wzorów z uwzględnieniem przypadków strzelania pod strefą, w strefie i nad strefą SMP.

Ostatecznie wartość czasu poprawionego ma postać:

$$t_{pop} = t_{obs} + \Delta t_h.$$

Redukcja pomiarów obejmuje redukcję głębokości i czasu poprawionego.

Głębokość zredukowano do poziomu odniesienia według wzoru:

$$H_r = H - h_{po} \pm N$$

gdzie:

H – głębokość zanurzenia geofonu liczona od wylotu głębokiego otworu;

h_{po} – głębokość do poziomu odniesienia wspólnego dla wszystkich PS liczona od powierzchni ziemi na poszczególnych PS;

N – wysokość względna PS w stosunku do wylotu głębokiego otworu.

Przy założeniu jednorodności ośrodka od punktu wybuchu do głębokości zanurzenia geofonu można dokonać redukcji czasu poprawionego do pionu według wzoru:

$$t_r = \frac{H_r}{\sqrt{H_r^2 + d^2}} \cdot t_p$$

gdzie:

d – odległość punktu strzałowego od głębokiego otworu dla danego PS

Prędkość średnią liczono według wzoru:

$$V_{śr} = \frac{H_r}{t_r}$$

Rozrzut punktów spowodowany zakłóceniami oraz błędami pomiarów wyeliminowano przez uśrednienie krzywych.

Dla wartości błędów bezwzględnych: $tp = \pm 0{,}002$ s, d = 1 m, H = 1 m obliczone wartości błędu dla $V_{śr}$ maleją wraz z głębokością i wynoszą odpowiednio:

- do głębokości 560 m – 2,5%,
- do głębokości 1000 m – 2%,
- do głębokości 1500 m – 1,5%
- do głębokości 2000 m i powyżej – 1%.

Charakter zmian prędkości w funkcji głębokości zilustrowano w tabelach i na wykresach (tab. 17, 18; fig. 43A, B, 44). Zestaw wartości h_r, t_r i ($V_{śr}$) umieszczono w tabeli 17. Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do konstrukcji krzywych prędkości średnich (fig. 43A) i hodografu pionowego (fig. 43B). Przedstawione wykresy wskazują na zależność między wzrostem głębokości a czasem rejestracji i prędkością średnią. Widać systematyczny wzrost prędkości wraz z głębokością.

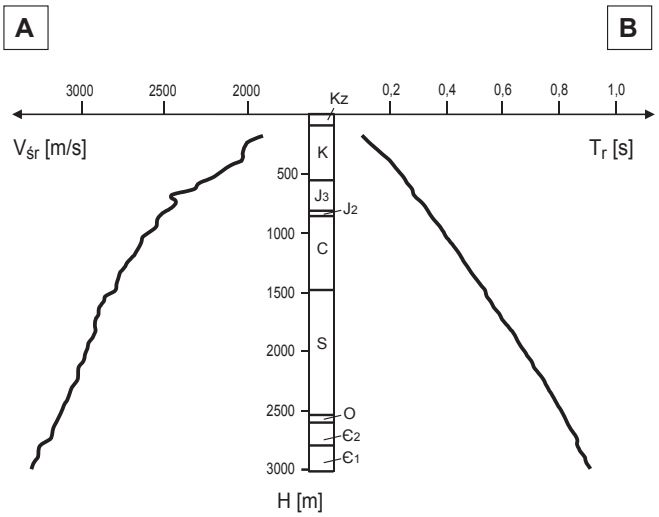


Fig. 43. Wykres prędkości średnich (A) i hodograf pionowy (B) (poz. odn. 145,0 m n.p.m.)

Average seismic velocity (**A**) and travel-time curve (**B**) (reference level 145.0 m a.s.l.)

W celu wyznaczenia poszczególnych kompleksów prędkościowych, a szczególnie ich średnich wartości, zastosowano wygładzanie wartości pomiarów geofizycznych.

Metoda ta może być stosowana w przypadku, gdy wartości zmierzone zmieniają się przypadkowo z punktu na punkt w granicach błędu pomiarowego. Warunkiem możliwości jej wykorzystania jest stały odstęp miedzy punktami pomiarowymi. Podany sposób zastosowano do wygładzania wartości czasu uzyskanych z pomiarów prędkości średnich z zadaniem obliczenia prędkości interwałowych bez przypadkowych skoków wartości wywołanych błędami pomiaru czasu. Krzywe wygładzone prędkości interwałowych obliczono w celu wyznaczenia stref maksymalnych gradientów prędkości, które odpowiadają granicom prędkościowym poszczególnych kompleksów.

Krzywe prędkości obliczono przez wyrównanie uzyskanych odczytów czasu zredukowanych do pionu przy pomocy splotu z odpowiednim filtrem. Przetwarzanie to polegało na przeliczaniu wartości czasu i prędkości do poziomu odniesienia pomiaru i ich interpolacji dla znormalizowanych przedziałów głębokości, co 20 m. Następnie wartości czasu wygładzono przez operację splotu z filtrem trójkątnym z zastosowaniem 20 razy filtrów 0,25 i 0,50. Celem tych przekształceń usuwających przypadkowe odchylenia poszczególnych danych pomiarowych wynikających z niedokładności pomiarów było przygotowanie materiałów do obliczenia prędkości interwałowych. Przy pierwszym wygładzaniu zostają zmniejszone przypadkowe skoki wartości czasu spowodowane zaokrągleniem ich wartości do 1 ms lub błędami pomiarowymi. Kolejne powtarzanie wymienionych operacji powoduje zaokrąglenie załamań (hodografu), wywołanych zmianami prędkości w kolejnych warstwach. W ten sposób powstały dodatkowe zbiory obejmujące przetworzone czasy pomiarów po ich zredukowaniu

Tabela 17

Zestawienie wartości głębokości (h), czasu zredukowanego (t_r), i prędkości średnich ($V_{śr}$)

Depth (h), reduced time (t_r) and average velicity ($V_{śr}$) values

h [m]	t_r [s]	$V_{śr}$ [m/s]
189	0,0990	1909
239	0,1200	1992
289	0,1430	2021
339	0,1670	2030
389	0,1920	2026
439	0,2090	2100
489	0,2270	2154
539	0,2445	2204
589	0,2570	2292
639	0,2750	2324
689	0,2800	2461
739	0,3040	2431
789	0,3220	2450
839	0,3345	2508
889	0,3500	2540
939	0,3690	2545
989	0,3840	2576
1039	0,3955	2627
1089	0,4125	2640
1189	0,4440	2678
1239	0,4560	2717
1289	0,4710	2737
1339	0,4840	2767
1389	0,5000	2778
1438	0,5160	2787
1488	0,5330	2792
1538	0,5390	2853
1588	0,5540	2866
1638	0,5660	2894
1688	0,5835	2893
1738	0,5960	2916
1788	0,6125	2919
1838	0,6305	2915
1888	0,6430	2936
1938	0,6550	2959
1988	0,6700	2967
2038	0,6835	2982
2088	0,6990	2987
2138	0,7080	3020
2188	0,7245	3020
2238	0,7405	3022
2288	0,7505	3049
2338	0,7630	3064
2388	0,7760	3077
2438	0,7865	3100
2488	0,8000	3110
2538	0,8110	3129
2588	0,8220	3148
2638	0,8325	3169
2688	0,8465	3175
2738	0,8600	3184
2788	0,8600	3242
2838	0,8710	3258
2888	0,8865	3258
2938	0,8935	3288
2988	0,9065	3296

do poziomu odniesienia, wyinterpretowaniu wartości co 20 m i wygładzeniu oraz odpowiadające im wartości prędkości średnich.

Powyższe informacje są zawarte w banku danych prędkościowych utworzonych w latach 90. XX wieku w Zakładzie Geofizyki PIG na potrzeby interpretacji refleksyjnych prac sejsmicznych. Bank ten przekazano do Centralnej Bazy Danych Geologicznych PIG-PIB.

Różnice wartości czasu pomiędzy kolejnymi wygładzeniami są spowodowane zmianami prędkości w warstwach o określonej miąższości. Zjawisko to wykorzystano do wyznaczenia granic kompleksów prędkościowych w miejscach maksymalnych bezwzględnych wartości różnic czasów wygładzonych n i $n+1$ razy. Granice kompleksów wyznacza się w miejscach maksymalnych gradientów prędkości interwałowych. Przy tym sposobie obliczeń wydzielają

się wyraźnie tylko kompleksy prędkościowe o miąższości powyżej 100 m. Maksymalne i minimalne wartości prędkości obliczonych z czasów wygładzonych odpowiadają uśrednionym wartościom kompleksów warstw o prędkościach zmniejszonych lub zwiększonych w porównaniu z sąsiednimi. Zestawienie uśrednionych wartości V_w (prędkości wygładzone), V_i (prędkości interwałowe) i V_k (prędkości kompleksowe) obliczonych z czasów wygładzonych zawarto w tabeli 18. Krzywe prędkości wygładzonych, interwałowych i kompleksowych przedstawiono na figurze 44. Zestawienie wykresów prędkości z profilem geologicznym wiercenia umożliwia powiązanie zmian prędkości z kompleksami stratygraficzno-litologicznymi w otworze.

Na krzywych prędkości uśrednionych (interwałowych i kompleksowych) obserwuje się systematyczny wzrost wartości wraz z głębokością wzdłuż całej długości profilu wiercenia zakłócony kilkoma ujemnymi gradientami wyznaczonymi na krzywych wygładzonych. Pierwszy kompleks do głębokości 470 m charakteryzuje się trzema kolejnymi stopniami wzrostu prędkości: 2000, 2150 i 2350 m/s. W profilu stratygraficznym otworu odpowiada utworom oraz warstwom osadów kredowych obejmujących piętra od mastrychtu przez kampan, santon do koniaku włącznie wykształconych głównie w postaci margli.

Obserwowana poniżej ostra granica prędkości o wartości 900 m/s jest związana ze stropem kompleksu o łącznej miąższości 740 m, obejmującego utwory dolnej serii kredy górnej (turon i cenoman), kredy dolnej oraz jury i częściowo karbonu do głębokości ok. 1210 m. Prędkości dla tego pakietu oscylują w granicach 3100–3300 m/s. Wyróżnia się tu, szczególnie na krzywej prędkości interwałowych, seria wysokoprędkościowego kompleksu skał węglanowych (wapienie) oksfordu.

Wykresy prędkości w obrębie profilu karbonu wykazują jego dwudzielność. Na wymienionej głębokości ok. 1200 m, odpowiadającej kontaktowi karbońskiej formacji lubelskiej (węglonośnej) z zalegającymi pod nią formacjami, zanotowano następny wzrost wartości prędkości do 3500 m/s. Wyznacza on najdłuższy kompleks o miąższości 1180 m obejmujący oprócz warstw dolnej części karbonu również większą część serii sylurskiej do głębokości ok. 2290 m. Ten interwał osadów sylurskich charakteryzuje się trzema prędkościowymi podkompleksami. Pierwszy z nich podkreśla, wzrostem prędkości do wartości 3800 m/s, granicę między karbonem i sylurem. Kontakt dwóch niższych podkompleksów na głębokości 1890 m wydziela pakiet górny o większej prędkości w stosunku do dolnego. Jeszcze niżej w obrębie dolnej części utworów ludlowu obserwuje się kolejny kontrast prędkości o wartości ok. 400 m/s, który wyznacza najgłębszy odcinek krzywych prędkościowych. Średnie prędkości kompleksowe w tym przedziale przedstawiają obraz systematycznego wzrostu w postaci kolejnych stopni od wartości 4100 do 4650 m/s. W nawiązaniu do profilu lito-stratygraficznego są to najniższe warstwy syluru i utwory ordowickie oraz kambr środkowy i dolny. Takie zmiany na wykresach prędkości świadczą o występowaniu w tym przedziale głębokościowym cienkich, zróżnicowanych litologicznie warstw wykształconych jako wzajemnie przewarstwiające się głównie piaskowce i mułowce.

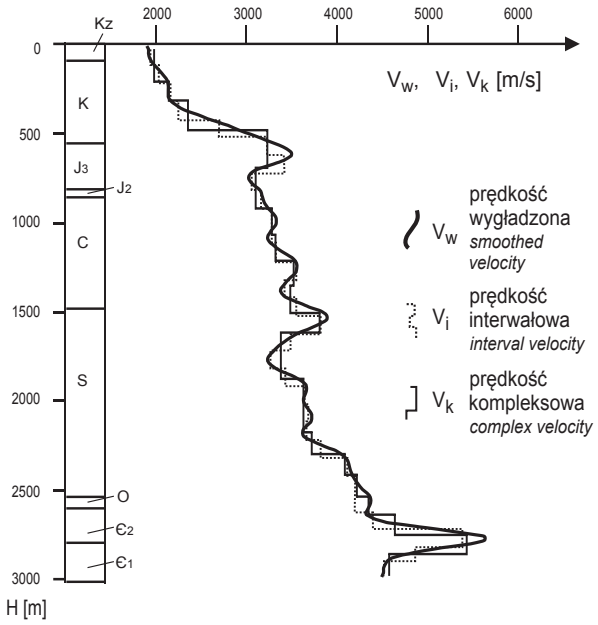


Fig. 44. Wykresy prędkości wygładzonych (V_w), interwałowych (V_i) i kompleksowych (V_k) (poz. odn. 145,0 m n.p.m.)

Smoothed velocity (V_w), interval velocity (V_i) and complex velocity (V_k) (reference level 145.0 m a.s.l.)

W interwale głębokości 2750–2850 m, czyli w strefie kontaktowej między utworami kambru środkowego i dolnego, pomimo że litologia według informacji otworowych nie ulega większej zmianie, wyróżnia się strefa o bardzo wysokiej prędkości kompleksowej 5450 m/s, najwyższej w całym profilu wiercenia, potwierdzona też na krzywej interwałowej. Te kontrasty wartości prędkości wskazują na udział w tym przedziale głębokości skał o innej, znacznie podwyższonej w stosunku do otoczenia charakterystyce prędkościowej.

Obliczone prędkości interwałowe i kompleksowe, a także dane o przekroju litologiczno-stratygraficznym otworu pozwalają na wydzielenie sześciu kompleksów o możliwie jednolitej i zbliżonej charakterystyce prędkościowej. Zestawienie wartości prędkości kompleksowych w odniesieniu do profilu geologicznego wiercenia w metrach na sekundę (w zaokrągleniu do 50 m/s) przedstawia się następująco:

- kenozoik + kreda – 2200 m/s,
- jura górna i środkowa + górna część karbonu – 3200 m/s,
- dolna część karbonu + górna część syluru – 3500 m/s,
- dolna część syluru + ordowik – 4150 m/s,
- kambr środkowy + kambr dolny – 4600 m/s z wydzieleniem warstwy na pograniczu kambru środkowego i dolnego –5450 m/s.

Tabela 18

Zestawienie uśrednionych wartości prędkości interwałowej (V_i), prędkości kompleksowej (V_k) i prędkości wygładzonej (V_w) obliczonych z czasu wygładzonego

Averaged interval velocity (V_i), complex velocity (V_k) and smoothed velocity (V_w) values calculated from smoothed time

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
1	**2**	**3**	**4**
20	1928	1981	1905
40	1928	1981	1923
60	1928	1981	1928
80	1928	1981	1937
100	1928	1981	1951
120	2023	1981	1973
140	2023	1981	2003
160	2023	1981	2039
180	2023	1981	2077
200	2023	1981	2111
220	2143	2143	2136
240	2143	2143	2148
260	2143	2143	2149
280	2143	2143	2145
300	2143	2143	2146
320	2237	2359	2160
340	2237	2359	2194
360	2237	2359	2252
380	2237	2359	2332
400	2237	2359	2430
420	2696	2359	2539
440	2696	2359	2651
460	2696	2359	2761
480	2696	3227	2867
500	2696	3227	2970
520	3222	3227	3074
540	3222	3227	3179
560	3222	3227	3283
580	3222	3227	3380
600	3222	3227	3456
620	3403	3227	3494
640	3403	3227	3477
660	3403	3227	3405
680	3403	3227	3294

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
1	**2**	**3**	**4**
700	3403	3227	3175
720	3050	3106	3079
740	3050	3106	3024
760	3050	3106	3015
780	3050	3106	3043
800	3050	3106	3090
820	3165	3106	3136
840	3165	3106	3167
860	3165	3106	3181
880	3165	3106	3187
900	3165	3106	3198
920	3274	3284	3222
940	3274	3284	3258
960	3274	3284	3297
980	3274	3284	3325
1000	3274	3284	3333
1020	3273	3284	3317
1040	3273	3284	3286
1060	3273	3284	3254
1080	3273	3305	3233
1100	3273	3305	3232
1120	3335	3305	3254
1140	3335	3305	3298
1160	3335	3305	3358
1180	3335	3305	3424
1200	3335	3305	3485
1220	3542	3521	3531
1240	3542	3521	3556
1260	3542	3521	3559
1280	3542	3521	3542
1300	3542	3521	3509
1320	3419	3521	3469
1340	3419	3521	3428
1360	3419	3492	3394

Tabela 18 cd.

1	2	3	4
1380	3419	3492	3376
1400	3419	3492	3385
1420	3558	3492	3424
1440	3558	3492	3497
1460	3558	3492	3598
1480	3558	3492	3711
1500	3558	3492	3812
1520	3840	3805	3878
1540	3840	3805	3893
1560	3840	3805	3855
1580	3840	3805	3780
1600	3840	3805	3687
1620	3487	3805	3595
1640	3487	3360	3513
1660	3487	3360	3446
1680	3487	3360	3391
1700	3487	3360	3344
1720	3264	3360	3301
1740	3264	3360	3265
1760	3264	3360	3240
1780	3264	3360	3236
1800	3264	3360	3259
1820	3435	3360	3312
1840	3435	3360	3391
1860	3435	3360	3482
1880	3435	3360	3567
1900	3435	3644	3629
1920	3648	3644	3660
1940	3648	3644	3662
1960	3648	3644	3647
1980	3648	3644	3631
2000	3648	3657	3625
2020	3677	3657	3636
2040	3677	3657	3662
2060	3677	3657	3694
2080	3677	3693	3718
2100	3677	3693	3722
2120	3654	3693	3701
2140	3654	3693	3664
2160	3654	3693	3628
2180	3654	3720	3612

1	2	3	4
2200	3654	3720	3630
2220	3821	3720	3687
2240	3821	3720	3773
2260	3821	3720	3871
2280	3821	3720	3964
2300	3821	4098	4037
2320	4117	4098	4085
2340	4117	4098	4114
2360	4117	4098	4133
2380	4117	4098	4146
2400	4117	4098	4157
2420	4205	4221	4170
2440	4205	4221	4187
2460	4205	4221	4211
2480	4205	4221	4243
2500	4205	4221	4284
2520	4205	4221	4326
2540	4205	4351	4358
2560	4205	4351	4371
2580	4205	4351	4360
2600	4205	4351	4334
2620	4411	4351	4311
2640	4411	4640	4322
2660	4411	4640	4395
2680	4411	4640	4553
2700	4411	4640	4801
2720	5396	4640	5114
2740	5396	4640	5420
2760	5396	5427	5616
2780	5396	5427	5623
2800	5396	5427	5450
2820	4862	5427	5185
2840	4862	5427	4924
2860	4862	4578	4725
2880	4862	4578	4601
2900	4862	4578	4539
2920	4522	4578	4516
2940	4522	4578	4511
2960	4522	4578	4511
2980	4522	4578	4490

Z zestawienia wynika, że na krzywych prędkości średnich nie zarejestrowano przejścia granicy stratygraficznej jura–karbon. Krzywe prędkości interwałowych i kompleksowych kontynuują się w tym miejscu w sposób ciągły. Średnia prędkość kompleksowa 3200 m/s w profilu geologicznym otworu obejmuje oprócz skał jury górnej również skały jury środkowej i górną część karbońskich o łącznej miąższości ok. 740 m. Ponadto wykresy wykazują dwudzielność utworów karbońskich, czterodzielność sylurskich i około 100-metrową warstwę anomalną w osadach kambryjskich, co odwzorowuje zróżnicowanie składu litologicznego tych osadów.

Charakterystyczny dla tego otworu jest wyraźny wzrost wartości na kontakcie warstw kredy i jury, w obrębie dolnej części utworów ludlowu i największy, na granicy utworów kambru środkowego i dolnego. Mniejszy dotyczy przejścia formacji lubelskiej do leżących niżej formacji karbońskich.

Prędkość, jako pochodna czasu, jest zależna od zmian w profilu geologicznym przewierconych warstw. Liczba możliwych do rozróżnienia warstw zależy od kontrastu właściwości sprężystych między utworami nadległymi i podścielającymi oraz stosunku miąższości danej warstwy do interwału, który określa prędkość. Obserwowane kontakty prędkości są efektem zmian w wykształceniu litologicznym poszczególnych ogniw litostratygraficznych. Efektem tego jest określenie granic między nimi. W przypadku piaskowców ilastych i mułowców piaszczystych wydzielenie granic dla cienkich warstw jest trudne.

Otrzymane wyniki stanowią znaczący materiał do uaktualnienia modelu prędkości niezbędnego do prawidłowego głębokościowego opracowania materiałów sejsmicznych z rejonu otworu wiertniczego Siedliska IG 1 i jego otoczenia. Uwzględnienie w rozkładach prędkości wyników z pomiarów w otworze Siedliska IG 1 sięgających prawie 3000 m ułatwi korelację i przyporządkowanie poziomów refleksyjnych na przekrojach do poszczególnych pięter.

Katarzyna SOBIEŃ

OBJAWY WĘGLOWODORÓW W TRAKCIE WIERCENIA

W trakcie wiercenia otworu Siedliska IG 1 obserwacje ropo- i gazonośności były prowadzone przez technika geologa W. Geigera.

Na głębokości od 0 do 2598,4 m nie odnotowano żadnych objawów węglowodorowych. W piaszczystych utworach kambru dolnego i środkowego, w interwale od 2598,4 do 3004,2 m stwierdzono zmienne wskazania metanomierza od 0,6 do 20%, a także ciągłe objawy ropy na rdzeniu pod lampą UV (tab. 19). Wytypowano kilka horyzontów kambryjskich do przeprowadzenia prób złożowych (Sokołowski, Sokołowski, 2018 – ten tom). Badania petrofizyczne nie potwierdziły spodziewanych dobrych właściwości zbiornikowych utworów kambru (Karcz, 2018 – ten tom).

Andrzej SOKOŁOWSKI, Jakub SOKOŁOWSKI

WYNIKI OPRÓBOWAŃ POZIOMÓW ZBIORNIKOWYCH

Jednym z głównych powodów odwiercenia otworu Siedliska IG 1 było opróbowanie poziomów zbiornikowych kambru pod kątem możliwości występowania bituminów. W utworach kambru środkowego podczas wiercenia zachodziły znaczne ucieczki płuczki (łącznie 69 m^3). Obserwowano także wychylenia metanomierza (3–12%), a pod lampą UV – ślady ropy naftowej. Projektowano przebadanie pięciu horyzontów w utworach kambru i ordowiku oraz jednego horyzontu w utworach karbonu. Awaria uniemożliwiła opróbowanie wszystkich przewidzianych do badań horyzontów, przebadano wyłącznie kambryjski horyzont występujący na głębokości 2902,5–3010,0 m. Dodatkowo opróbowano poziom zbiornikowy karbonu (fig. 45). Analizy chemiczne wód wykonały H. Jasińska, T. Latoszyńska i W. Zielińska w Głównym Laboratorium Instytutu Geologicznego w Warszawie. Opróbowania poziomów zbiornikowych rurowymi próbnikami złoża przeprowadziła niemiecka firma VEB Bohrlochzementierung der VVB Erdol-Erdgas, 3304 Gommern/Magdeburg. Nadzór nad opróbowaniem sprawował L. Bojarski, a specjalistyczny dozór w terenie pełnił T. Kwolek.

Tabela 19

Objawy węglowodorów w profilu kambru otworu Siedliska IG 1

Hydrocarbon shows in the Cambrian interval of the Siedliska IG 1 borehole

Głębokość Depth		Stratygrafia Stratigraphy	Litologia Lithology	Lampa UV UV lamp	Metanomierz Gas detector	Inne objawy Other shows
od/ from	do/ to					
2598,4	2616,4		psc	cały rdzeń świeci plamiście na bladoniebiesko, niekiedy na przełamie na jaskrawożółto	3,5%	–
2616,4	2527,1		psc	świeci plamiście na niebiesko-żółto	3,0%	–
2627,1	2633,0		psc	świeci plamiście na bladoniebiesko, niekiedy żółto	na początku wiercenia 20%, pod koniec wiercenia 5%	–
2633,0	2636,7		psc	świeci plamiście na bladoniebiesko również na kalcycie	3,5%, 12%	–
2636,7	2645,2		psc	świeci plamiście na bladoniebiesko, niekiedy jasnożółto	4%, 8%	–
2645,2	2646,0		psc	–	4%	–
2646,0	2680,0	$Є_2$	psc	–	–	ucieczki płuczki
2646,0	2655,3		psc	–	7%	rdzeń poci się ropą
2655,3	2658,6		psc	świeci na całej długości na bladoniebiesko i jasnożółto	4,5%	–
2658,6	2664,9		psc	–	3,0%	–
2664,9	2693,6		psc	bladoniebieska poświata	0,9–4,0%	–
2693,6	2711,5		psc	–	0,8%	–
2720,5	2745,2		psc	–	0,8–1,8%	–
2754,8	2756,3		psc	–	0,8%	–
2766,3	2773,5		psc	–	0,6%	–
2936,6	2957,1		psc	–	–	objawy solanki
2976,2	2981,7	$Є_1$	psc	bladoniebieska poświata	0,6%	–
2995,8	3004,2		psc	lekkie świecenie	2,0%	–

Stratygrafia: $Є_2$ – kambr środkowy, $Є_1$ – kambr dolny. **Litologia:** psc – piaskowce

Stratigraphy: $Є_2$ – Middle Cambrian, $Є_1$ – Lower Cambrian. **Lithology:** psc – sandstone

WYNIKI BADAŃ

Poziom zbiornikowy 1296,1–1359,0 m; karbon – piaskowce, mułowce

Wynik:
przypływ wody średniozmineralizowanej
Q = 21,18 m³/h,
ciśnienie złożowe P_z = 125,4 at.

Opróbowanie przeprowadzono 20–21.03.1970 r. podczas głębienia otworu. Poziom badano rurowym próbnikiem złoża. Uszczelniacz próbnika zapięto na głębokości 1280,5 m w rurach Ø 9⅝". Opróbowano poziom zbiornikowy odsłonięty pomiędzy butem rur Ø 9⅝" a spodem otworu, którego głębokość podczas badań wynosiła 1359,0 m. Badanie przeprowadzono metodą dwukrotnego odcięcia przypływu. Podczas łącznego okresu przypływu trwającego 17 min do przewodu wiertniczego nad próbnikiem dopłynęło 6 m³ wody. Wydajność przypływu wynosiła 21,18 m³/h, a ciśnienie złożowe (wyekstrapolowane) wyniosło 125,4 at.

Przepuszczalność badanego poziomu wynosiła 74 mD, promień zasięgu badania – 146 m, współczynnik skin-efekt – 3, a wskaźnik uszkodzenia – 1,48. Wielkość skin-efektu wskazuje na uszkodzenie strefy przyotworowej spowodowane inwazją filtratu płuczki. Usunięcie uszkodzenia spowodowałoby zwiększenie uzyskiwanej wydajności poziomu.

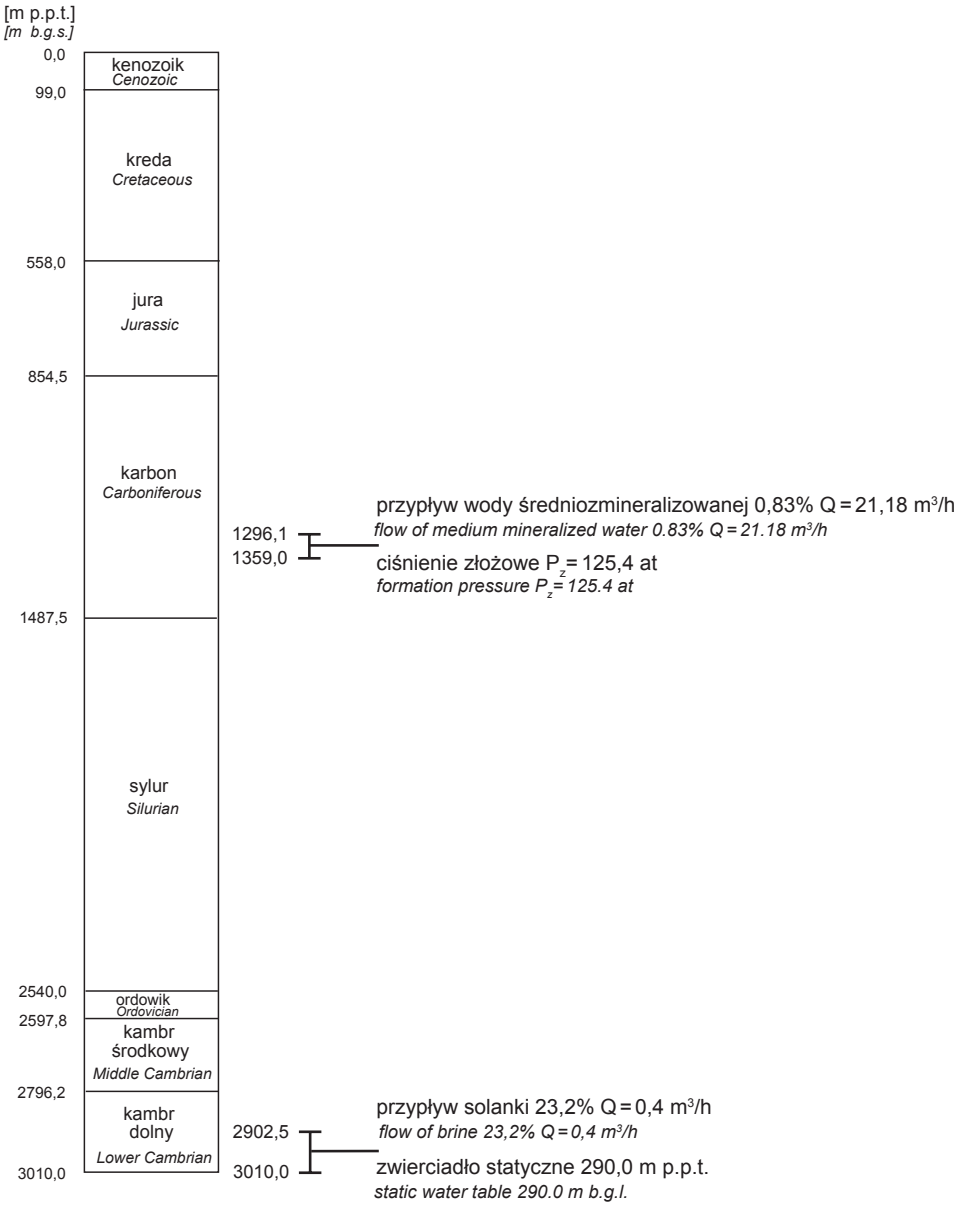


Fig. 45. Schemat opróbowania

Testing scheme

W celu wykonania analizy chemicznej 21.03.1970 r. pobrano próbkę wody. Wodę scharakteryzowano jako 0,83% wodę średniozmineralizowaną chlorkowo-sodową, jodkową (tab. 20). Typ wody przedstawiony formułą Kurłowa-Karstena, to:

$$M^{8,3}\frac{Cl^{94}}{Na^{76}K^{15}}I^{0,0014}$$

Ciężar właściwy wody wynosił 1,0051 g/cm^3, sucha pozostałość 8300 mg/dm^3, a odczyn pH = 7.

Wartości wskaźników hydrochemicznych wynoszą: rNa/rCl = 0,86, $rSO_4 \cdot 100/rCl$ = 0,9, Cl/Br = 270.

Wartości wskaźników świadczą o tym, że są to wody znacznie już zmetamorfizowane, izolowane od powierzchni terenu. Kontakt z wodami infiltrującymi z innych poziomów wodonośnych jest bardzo utrudniony, przepływ wód następuje jedynie w znikomym stopniu.

7–8.07.1970 r. próbowano opróbować rurowym próbnikiem złoża poziom zbiornikowy ordowiku–kambru (iłowce, piaskowce) znajdujący się na głębokości 2567,1–2598,4 m. Badanie było nieudane, próbnik zatrzymywał się na głębokości 1057,0 m (góra linera o Ø 6⅝"). Kilkakrotne próby przepchania próbnika przez liner okazały się bezskuteczne. Zrezygnowano z opróbowania przewidzianego do badań poziomu i kontynuowano dalsze wiercenie do końcowej głębokości 3010,0 m.

Tabela 20

Skład chemiczny wody średniozmineralizowanej pobranej z głębokości 1296,1–1359,0 m

Results of chemical analysis of medium mineralized water sampled at 1296.1–1359.0 m interval

Składnik Compound	Zawartość/ Amount		
	[mg/dm^3]	[mval/dm^3]	[% mval]
Kationy/ Cations			
Ca^{2+}	148	7,4	5,40
Mg^{2+}	53	4,4	3,20
Fe^{2+}	0,7	–	–
Na^{+}	2400	104,8	76,50
K^{+}	80	20,4	14,90
Razem/ Cations total	2681,7	137,0	100,00
Aniony/ Anions			
Cl^{-}	4320	121,8	94,13
SO_4^{2-}	51	1,1	0,85
HCO_3^{-}	384	6,3	4,87
Br^{-}	16	0,2	0,15
I^{-}	14	–	–
Razem/ Anions total	4785,0	129,4	100,00

Tabela 21

Skład chemiczny solanki pobranej z głębokości 2902,5–3010,0 m)

Results of chemical analysis of brine sampled at 2902.5–3010.0 m interval

Składnik Compound	Zawartość/ Amount		
	[mg/dm^3]	[mval/dm^3]	[% mval]
Kationy/ Cations			
Ca^{2+}	54 450	2 717,0	68,0
Mg^{2+}	660	54,0	1,4
Fe^{2+}	4,2	0,2	0,0
Na^{+}	27 000	1 174,0	29,4
K^{+}	1 850	47,3	1,2
Li^{+}	16	0,0	0,0
Razem/ Cations total	83 980,2	3 992,5	100,00
Aniony/ Anions			
Cl^{-}	141 300	3 985,0	99,4
SO_4^{2-}	202	4,2	0,1
HCO_3^{-}	68	1,1	0,0
Br^{-}	1 720	21,0	0,5
I^{-}	2	0,0	0,0
Razem/ Anions total	143 292,0	4 011,3	100,00

Poziom zbiornikowy 2902,5–3010,0 m; kambr dolny – piaskowce

Wynik:
przypływ solanki Q = 0,4 m^3/h.

Badanie przeprowadzono po zakończeniu wiercenia otworu, 6.02.1971 r., metodą sczerpywania płynu łyżką wiertniczą. Wydajność określona sczerpywaniem wynosiła 0,4 m^3/h przy depresji 13,0 m. Zwierciadło statyczne płynu ustabilizowano na głębokości 290,0 m poniżej terenu.

Z głębokości 1200,0 m pobrano łyżką próbkę wody do analizy chemicznej. Wodę scharakteryzowano jako 23,2% solankę chlorkowo-wapniowo-sodową, jodkową. Ciężar właściwy solanki wynosi 1,1698 g/cm^3, sucha pozostałość – 232 500 mg/dm^3 a odczyn pH = 6. Typ solanki określony formułą Kurłowa-Karstena to:

$$M^{232}\frac{Cl^{99}}{Ca^{68}Na^{29}}I^{0,002}$$

Poza składnikami wymienionymi w odpisie analizy (tab. 21) metodą spektralną stwierdzono w wodzie obecność jonów strontu, baru, manganu i miedzi. Nie stwierdzono obecności wanadu, chromu, molibdenu, kobaltu, niklu, cynku, ołowiu ani srebra.

Wskaźniki hydrochemiczne:
rNa/rCl = 0,30, rSO_4· 100/rCl = 0,106, Cl/Br = 82,15.

Wartości wszystkich wyliczonych wskaźników hydrochemicznych wskazują na bardzo szczelną całkowitą izolację od powierzchni terenu i młodszych od kambru poziomów wodonośnych. Są to charakteryzujące się stagnacją hydrodynamiczną wysokozmineralizowane wody reliktowe w wysokim stopniu zmetamorfizowane. Występowanie takich wód może świadczyć o obecności w pobliżu złóż bituminów.

Po zakończeniu opróbowania poziomu 2902,5–3010,0 m przystąpiono 12.02.1971 r. do wykonania korka cementowego izolującego przebadany poziom od wyższych poziomów wodonośnych. W trakcie wykonywania korka nastąpiło przychwycenie rur syfonowych Ø2 ⅜” którymi tłoczono do otworu zaczyn cementowy. Pomimo prowadzenia intensywnych, długotrwałych prac instrumentacyjnych awarii nie zdołano usunąć. Dodatkowo uznano, że istnieje znaczne prawdopodobieństwo niedostatecznej izolacji kolumny rur o Ø 4½” w przewidzianych do eksploatacji horyzontach. Wskazywałaby na to stwierdzona podczas przewiercania tych horyzontów duża chłonność złoża, co nawet w przypadku usunięcia awarii stwarzałoby poważne trudności przy kontynuowaniu projektowanych opróbowań. 14.04.1971 r. zaniechano prowadzenia prac instrumentacyjnych i przystąpiono do likwidacji otworu.

PODSUMOWANIE

Z przyczyn technicznych założony program prac badawczych nie został w pełni wykonany. Nie opróbowano wszystkich przewidzianych do badań perspektywicznych poziomów kambru, szczególnie kambru środkowego ani poziomu ordowiku. Otwór blokowała unieruchomiona kolumna rur syfonowych o Ø 2⅜", uniemożliwiając zapuszczenie rurowego próbnika złoża. W utworach kambru wykonano jedynie opróbowanie poziomu zbiornikowego kambru dolnego znajdującego się na głębokości 2902,5–3010,0 m. Nie stwierdzono bezpośrednich objawów węglowodorów, jednak wyniki badań (skład chemiczny solanki i wartości wskaźników hydrochemicznych) wskazują na możliwość występowania w pobliżu złóż bituminów. Parametry obecnej w opróbowanym poziomie karbońskim wody średniozmineralizowanej wskazują, że może ona być stosowana w balneoterapii lub do wyrobu niektórych kosmetyków, głównie dodatków do kąpieli.

Otwór zlikwidowano mimo niespełnienia głównego zadania wiercenia.