WYNIKI BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH SKAŁ, BADAŃ GEOFIZYCZNYCH I OPRÓBOWANIA HYDROGEOLOGICZNEGO

Przemysław KARCZ

WYNIKI BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNYCH SKAŁ

W celu określenia podstawowych parametrów fizycznych skał wykonano analizy określające porowatość efektywną oraz przepuszczalność poziomą (tab. 25). Badaniom poddano 15 próbek rdzeniowych i okruchowych uzyskanych ze skał osadowych kambru, syluru, dewonu, karbonu i jury. Głównym celem wykonania otworu Białopole IG 1 było dostarczenie danych stratygraficznych i litologicznych dolnego paleozoiku i ediakaru, w wyniku czego badania petrofizyczne określające właściwości zbiornikowe przewierconych poziomów litologicznych miały charakter wyłącznie uzupełniający.

Wyniki porowatości dla skał wchodzących w zakres stratygraficzny ordowiku (2214,1– 2216,4 m) oscylują w zakresie od 0,31 do 1,52%, odzwierciedlając zakres niskich porowatości. Wartości przepuszczalności poziomej odnotowane dla interwału stratygraficznego kambru oscylują również w zakresie niskich przepuszczalności, rzędu 1,0 mD.

W interwale sylurskim (2083,3–2089,0 m) dominują wartości porowatości w zakresie od 0,52 do 1,56%, co pozwala zaklasyfikować ten krótki interwał litologiczny jako cechujący się niskimi wartościami porowatości. Interwałowi sylurskiemu odpowiadają również niskie wartości przepuszczalności poziomej wynoszące 1,0 mD.

Profil dewonu (1032,8–1336,6 m) charakteryzują niskie i relatywnie podwyższone wartości porowatości w zakresie od 1,56 do 9,85%. Wartości przepuszczalności poziomej wynoszą od 1,0 do 3,5 mD, co odpowiada niskim zakresom przepuszczalności.

Karboński interwał stratygraficzny (774,2–1028,8 m) zdominowany jest przez typy litologiczne cechujące się niskimi wartościami porowatości od 0,51 do 2,58%. Odpowiadają im również niskie wartości przepuszczalności poziomej, wynoszące od 1,0 do 1,2 mD.

Profil jury opróbowany z głębokości 503,2 metrów cechuje się niską wartością porowatości, wynoszącą 4,51%. Wartość przepuszczalności poziomej, wynosząca 1,0 mD, odpowiada zakresowi niskich przepuszczalności.

Analiza danych umożliwiła dokonanie rozpoznania, że żaden z przebadanych interwałów litologicznych otworu Białopole IG 1 nie charakteryzuje się nawet co najmniej dobrymi właściwościami zbiornikowymi, za które przyjmuje się wartości porowatości większe od 15% i przepuszczalności większe od 5 mD. Wszystkie interwały litologiczne nie spełniają powyższych warunków, w wyniku czego nie mogą zostać zaklasyfikowane jako potencjalne konwencjonalne horyzonty zbiornikowe.

Tabela 25

Zestawienie parametrów fizycznych skał

Physical parameters of rocks

Głębokość [m]	Rodzaj skały	Porowatość efektywna [%]	Przepuszczalność [mD]
503,2	piaskowiec	4,51	1,0
774,2	wapień	1,10	1,0
944,3	wapień	0,51	1,2
1028,8	piaskowiec	2,58	1,0
1032,8	mułowiec	1,72	1,0
1192,2	mułowiec	4,69	1,0
1195,8	mułowiec	8,45	1,0
1269,1	piaskowiec	9,85	3,5
1271,4	piaskowiec	6,77	1,2
1272,3	mułowiec	1,59	1,0
1336,6	iłowiec	1,56	1,0
2083,3	iłowiec	1,56	1,0
2089,0	iłowiec	0,52	1,0
2214,1	piaskowiec	0,31	1,0
2216,4	piaskowiec	1,52	1,0

Jan SZEWCZYK

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

ZAKRES WYKONANYCH BADAŃ

Badania geofizyczne w otworze Białopole IG 1 zostały wykonane w ośmiu podstawowych odcinkach badań strefowych, w okresie od 21maja 1970 do 5 lutego 1971. Dodatkowo, w zależności od potrzeb związanych z realizacją prac wiertniczych, były wykonywane badania uzupełniające o charakterze technicznym. Badania prowadzono standardową aparaturą analogową produkcji radzieckiej typu AKSŁ 64, a częściowo również aparaturą AKSŁ 51M. Głównym wykonawcą badań było Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych, Zespół Geofizyki Wiertniczej z siedzibą w Lublinie. Autor brał udział zarówno w opisywanych badaniach geofizycznych, jak również w pracach interpretacyjnych zrealizowanych w latach 90. XX wieku.

Zastosowane metody badań, a także istniejące w tym czasie możliwości sprzętowe pozwalały na rozpoznanie profilu wiercenia jedynie w ograniczonym stopniu. Odnosi się to szczególnie do badań radiometrycznych, które miały podstawowe znaczenie zarówno przy rozpoznania profilu litologicznego, jak i próbach określenia właściwości petrofizycznych skał tworzących profil. Profilowania te były wykonywane sondami niekalibrowanymi metodą profilowania naturalnego promieniowania gamma (PG) oraz profilowania gamma z wychwytu radiacyjnego neutronów termicznych (PNG), indukowanych przez izotopowe źródło neutronów prędkich. Badania prowadzono za pomocą dwukanałowej sondy SP-62 produkcji radzieckiej. Jako źródło neutronów prędkich w sondzie tej stosowano źródło typu Po-Be o okresie półrozpadu T = 134 dni i aktywności w zakresie 3–6 Ci. Jednopunktowy standaryzator nie pozwalał na właściwe przeniesienie wyników kalibracji wykonywanych w warunkach laboratoryjnych na wyniki pomiarów rejestrowanych w warunkach polowych (Czubek, 1973; Szewczyk, 1998a). Profilowania neutronowe typu PNG były wykonywane przy nominalnej długości sondy rozumianej jako odległość: źródło neutronów – 2/3 długości detektora, wynoszącej 60 cm. Pomiary kontrolne prowadzono w odcinku nie mniejszym niż 50 m, na ogół w najgłębszej części badanego odcinka profilu.

Wszystkie sondy pomiarowe nie były centralizowane (położenie sondy w trakcie pomiarów mogło być w trakcie części badań nieustabilizowane). Profilowania oporności w formie pojedynczych pomiarów bądź zestawu tzw. sondowań były wykonywane klasycznymi sondami gradientowymi spągowymi, każdorazowo przygotowywanymi bezpośrednio przed pomiarami. Czas wykonywania badań, w zależności od głębokości badanego odcinka profilu, wynosił od kilkunastu do kilkudziesięciu godzin.

Wyniki źródłowych danych pomiarowych zostały zarejestrowane w formie analogowej w podstawowej skali głębokościowej 1:500. W obrębie profilu zalegania utworów karbonu zostały wykonane tzw. detalizujące profilowania typu gamma-gamma (PGG) gęstościowe, ukierunkowane na wydzielenia warstw węgla kamiennego. W odcinkach tych wykonano równocześnie powtórne pomiary typu PNG oraz PG. Wszystkie te pomiary zostały zarejestrowane w skali głębokościowej 1:200. Ze względu na zmienny w czasie charakter miar głębokości stosowanych kabli geofizycznych (m.in. ze względu na ich rozciągliwość) w poszczególnych odcinkach badawczych mogą mieć miejsce wzajemne przesunięcia głębokościowe wyników rejestracji poszczególnych typów profilowań. Element ten powinien być brany pod uwagę przy analizach danych geofizycznych.

W odcinkach odsłoniętych pod rurami okładzinowymi, niezależnie od interwału głębokościowego poszczególnych badań strefowych, były wykonywane pomiary ujednolicające w całym odcinku niezarurowanym, w odcinkach obejmujących interwały 2–5 oraz 6–8. W ramach tych badań wykonywano standardowo pomiar oporności sondą gradientową M2.5A0.25M, profilowanie średnicy otworu (SR) oraz profilowanie potencjałów samoistnych (PS). Podstawowym celem tych badań było śledzenie zmian właściwości strefy przyotworowej w obrębie warstw zbiornikowych.

W wybranych odcinkach badań strefowych zostały wykonane profilowania oporności tzw. polem sterowanym (RT), a w dwóch końcowych odcinkach badań ciągły pomiar temperatury w warunkach nieustabilizowanych termicznie.

Większość wyników badań podstawowych, po ich selekcji jakościowej i odrzuceniu pomiarów uznawanych za wadliwe jakościowo, została zdigitalizowana oraz unormowana w zakresie przewidzianym programem prac związanych z wprowadzeniem danych do Centralnej Bazy Danych Geologicznych (CBDG). W wyniku tych prac zostały utworzone, zarówno w odniesieniu do wyników badań odcinkowych, jak i do danych połączonych i unormowanych, zbiory danych geofizycznych w formacie LAS (Log ASCII Standard) o jednolitym głębokościowym kroku pomiarowym równym 25 cm. Ze względu na ograniczone możliwości techniczne oraz informatyczne dostępne w latach 90. powinna być rozważona celowość powtórnego wykonania powyższych prac z zastosowanie współczesnych metod i możliwości ich realizacji. Unikatowy charakter danych źródłowych wskazuje na bezwzględną potrzebę ich możliwie najwierniejszego i trwałego zarejestrowana w formie danych cyfrowych.

Na figurze 45 przedstawiono zestawienie graficzne odcinków badań istniejących w formie cyfrowej wraz z numerem profilowania przyjętym w systemie interpretacyjnym GEOFLOG.

Zastosowana metodyka opracowywania danych geofizycznych i ich normowania została przedstawiona w opracowaniach archiwalnych (Szewczyk, 2000; Szewczyk i in., 2001).

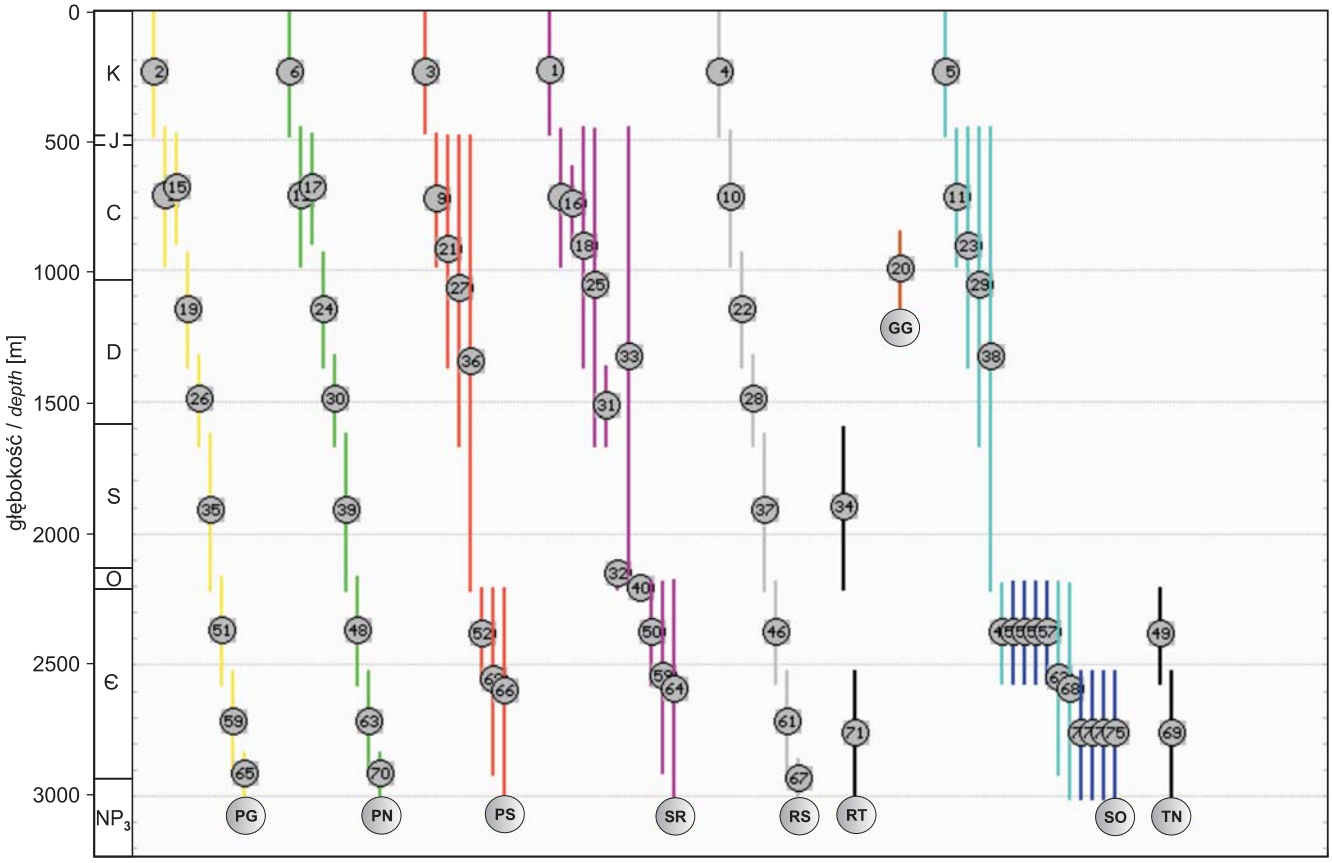


Fig. 45. Schematyczne zestawienie profilowań geofizycznych wykonanych w otworze wiertniczym Białopole IG 1

Typy profilowań geofizycznych: PG – profilowanie naturalnego promieniowania gamma, PN – profilowanie neutronowe, PS – profilowanie potencjałów samoistnych, SR – profilowanie średnicy otworu, RS – profilowanie oporności krótką sondą potencjałową, RT – profilowanie oporności polem sterowanym, GG – profilowanie gęstości typu gamma-gamma, SO – profilowanie (sondowanie) oporności, TN – profilowanie temperatury w warunkach nieustabilizowanych; numer identyfikacyjny podano w systemie GEOFLOG

Schematic depth presentation of digitized well logs in the Białopole IG 1 borehole

Types of borehole logging methods: PG – natural gamma, PN – neutron, PS – spontaneous potential, SR – caliper, RS – resistivity normal, RT – laterolog, GG – density, SO – resistivity, TN – temperature log in unstable condition; file number is given in the GEOFLOG system

WYNIKI INTERPRETACJI DANYCH GEOFIZYCZNYCH

Wyniki badań geofizycznych były wykorzystane zarówno w trakcie bieżącego ustalania profilu litologiczno-stratygraficznego, jak i przy wyborze interwałów głębokościowych dla wykonania opróbowań hydrogeologicznych.

W ramach prac interpretacyjnych prowadzonych w latach 90. ubiegłego wieku, związanych z wprowadzaniem danych geofizycznych do CBDG, pomiary radiometryczne, tj. profilowanie naturalnego promieniowania gamma (PG) oraz profilowania neutronowe (PNG), zostały unormowane oraz połączone w obrębie całego otworu. Na figurze 46 przedstawiono wyniki unormowanych i połączonych wartości naturalnego promieniowania gamma, profilowania średnicy otworu ze wskazaniem głębokości połączenia poszczególnych odcinków badań, a także został pokazany wiertniczy profil litologiczny (LITO). Zastosowana metodyka normowania profilowań gamma została opisana przez Szewczyka (2000), a metodyka opracowywania danych geofizycznych – przez Szewczyka i in. (2001).

Na figurze 47 przedstawiono wyniki obliczonych geofizycznych ocen gęstości objętościowych oraz porowatości całkowitej. Zastosowana metodyka interpretacji została opisana we wcześniejszych pracach autora (Szewczyk, 1994, 1998a, b, 2000; Szewczyk, Gientka, 1998).

Wobec braku rozpoznania prędkościowego w postaci profilowania akustycznego profilu wiercenia, została obliczona wartość tzw. syntetycznego profilowania akustycznego.

Warunki geotermiczne

W otworze Białopole IG 1 rozpoznanie pola termicznego przeprowadzono w dwóch końcowych odcinkach badań strefowych, tj. pomiary temperatury w warunkach nieustalonych

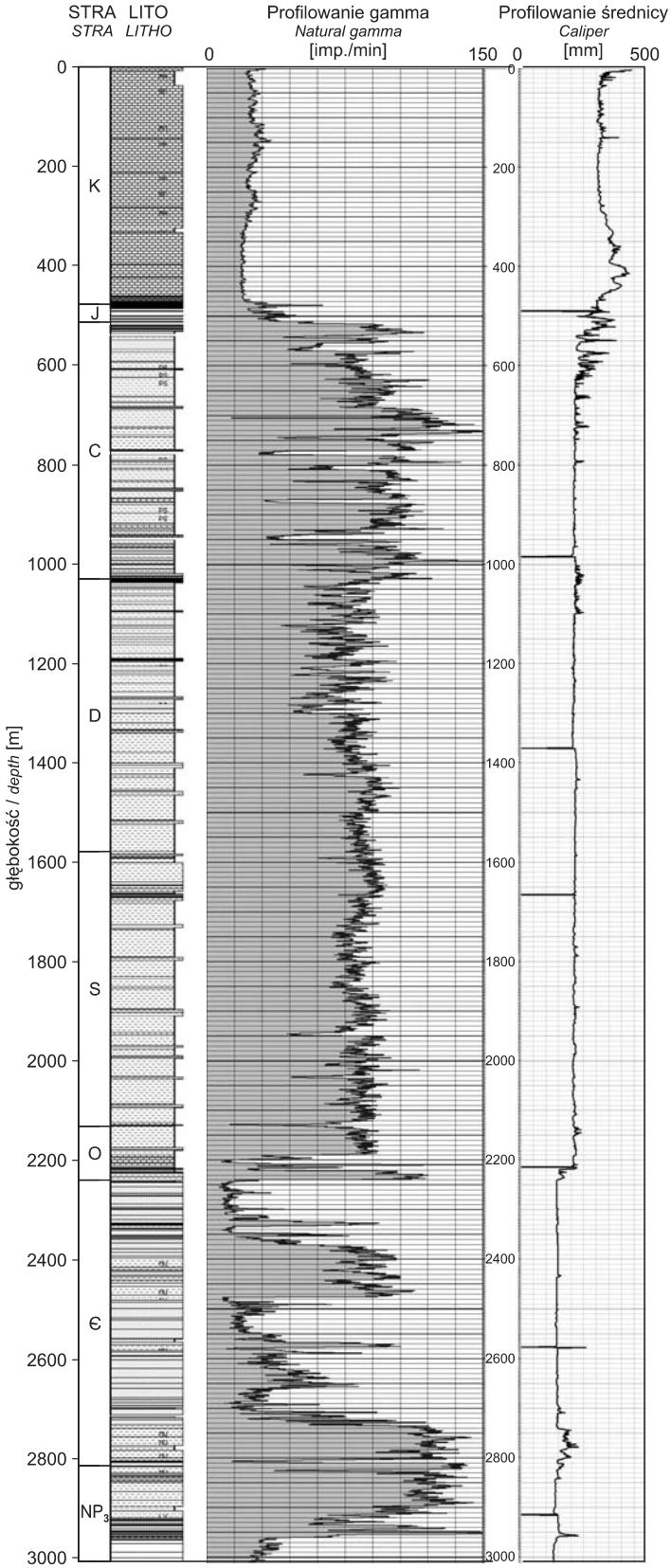


Fig. 46. Unormowane wartości profilowania naturalnego promieniowania gamma

Na wykresie profilowania średnicy otworu wskazano miejsca połączeń poszczególnych odcinków pomiarowych

Normalized values of natural gamma logs

Merging points of well log intervals are shown on caliper log

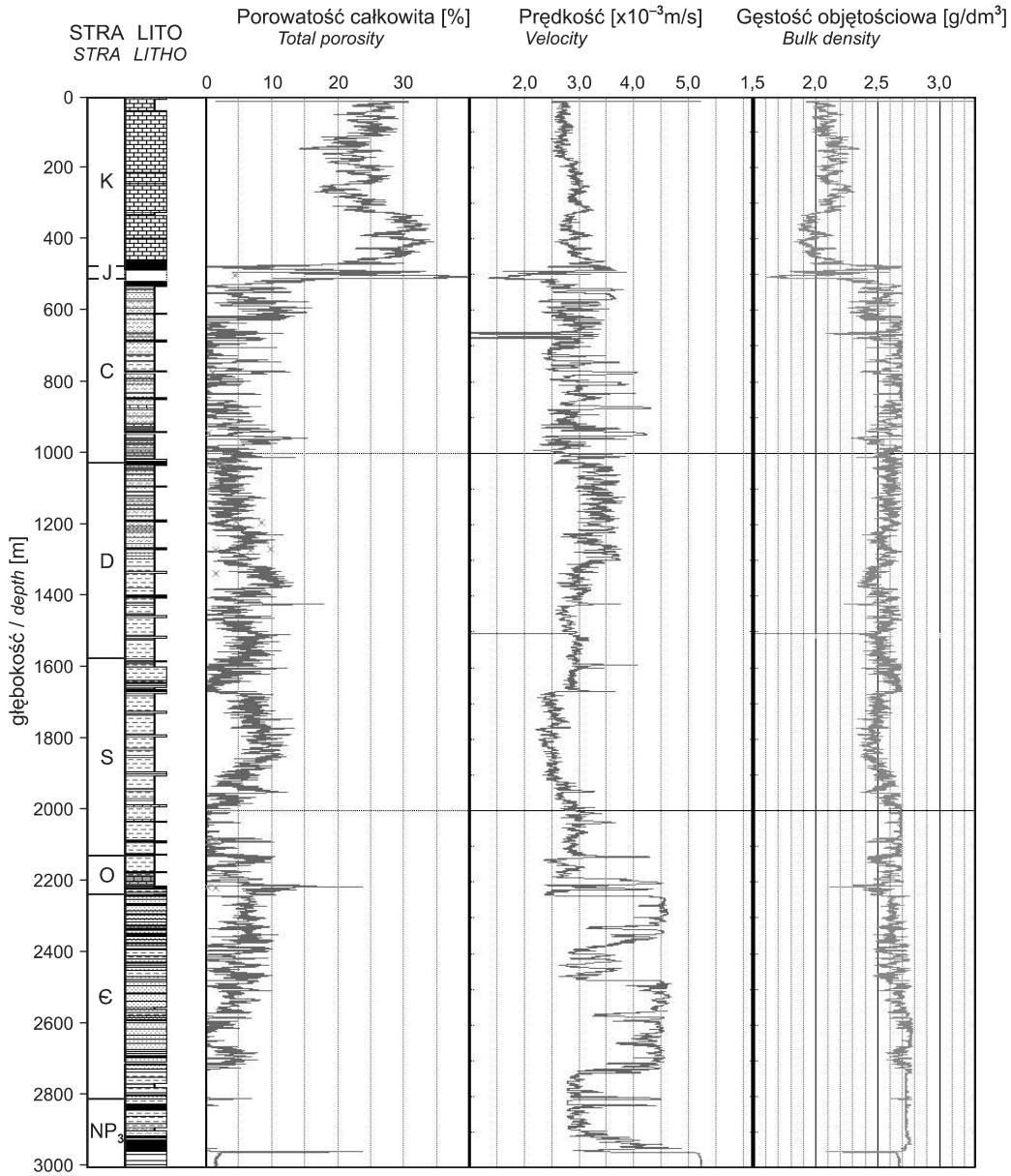


Fig. 47. Głębokościowe zestawienie wyników obliczonych wartości porowatości całkowitych, gęstości objętościowej oraz prędkości fal akustycznych

Depth distribution of the results of calculation of total porosity, bulk density and synthetic sonic velocities

(po ok. 2–3 dobach od ustania cyrkulacji płuczki wiertniczej). Wyniki tych badań pozwoliły na przybliżone określenie zarówno temperatury rzeczywistej (niezaburzonej), jak i wartości strumienia cieplnego (fig. 48). Prace interpretacyjne były poprzedzone obliczeniem przewodności cieplnej skał występujących w profilu. Zastosowana metodyka obliczeń tego parametru została opisana przez Szewczyka (2001) oraz Szewczyka i Gientkę (2009). Na figurze 48 przedstawiono również profil paleotemperatury dla okresu zlodowacenia wisły. Wartość gęstości strumienia cieplnego dla otworu określono na 65 mW/m^2, a średnią paleomiąższość zmarzliny dla okresu ostatniego zlodowacenia oszacowano na 177 m (Szewczyk, Nowicki, 2007). Temperatura strefy przypowierzchniowej (GST) dla otworu Białopole, określona na podstawie danych zawartych w pracy Szewczyka (2005), wynosi 9,08°C. Obliczona temperatura ustabilizowana dla głębokości 2000 m, tj. poza zasięgiem głębokościowym wpływu zmian klimatycznych, wynosi 58,78°C

Warunki hydrogeologiczne

Zgeneralizowany profil właściwości filtracyjnych skał w otworze Białopole IG 1 przedstawiono na figurze 49A. Na profilu wyróżniono warstwy wodonośne z podaniem ich porowatości efektywnej oraz warstwy izolacyjne. W części B tej

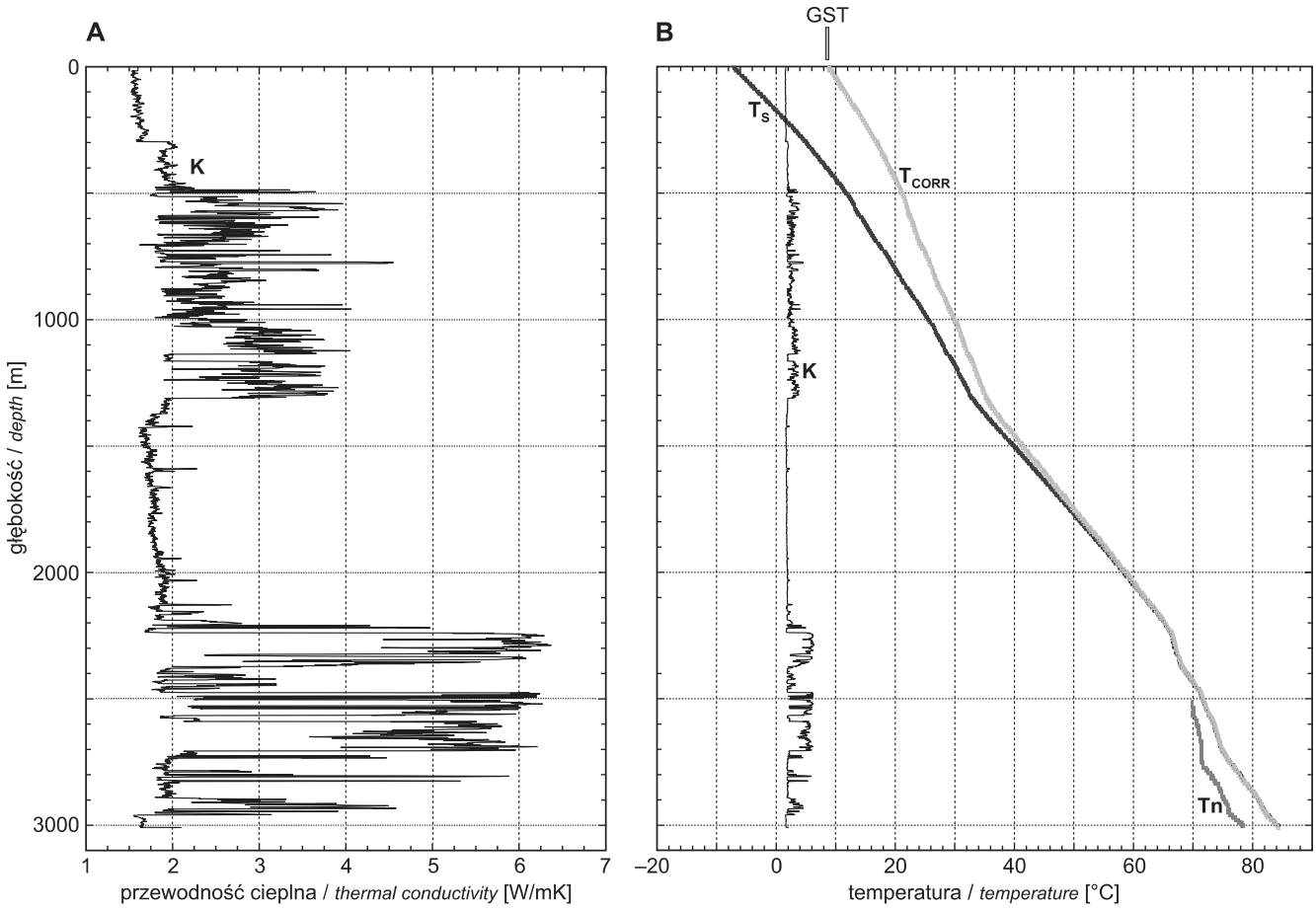


Fig 48. Charakterystyka termiczna otworu Białopole IG 1: A – profil przewodności cieplnej, B – profil temperatury unormowany dla okresu zlodowacenia wisły

K – przewodność cieplna, T_s – paleotemperatura, T_{CORR} – temperatura w otworze Białopole, T_n – temperatura obserwowana w warunkach nieustabilizowanych, GST – temperatura strefy przypowierzchniowej

Thermal characteristics of the Białopole IG 1 borehole: **A** – thermal conductivity profile, **B** – temperature profile log for the Vistulian Glaciation

K – thermal conductivity, T_s – palaeotemperature, T_{CORR} – present temperature in the Białopole borehole, T_n – temperature log in unstable condition, GST – ground surface temperature

figury pokazano wartości mineralizacji wód, uzyskane w wyniku badań hydrogeologicznych na tle rozkładu tego parametru dla Niżu Polskiego. Zaznaczona średnia wartość mineralizacji może być traktowana jako poziom odniesienia dla wyników uzyskiwanych w określonych otworach wiertniczych (Szewczyk, 2007). Wody z otworu Białopole IG 1 wykazują mineralizację niższą od wspomnianej średniej.

Warstwy wodonośne o relatywnie dobrych właściwościach występują jedynie w utworach mezozoicznych. W utworach karbonu i dewonu występują nieliczne warstwy wodonośne o słabych bądź umiarkowanych właściwościach zbiornikowych, poniżej głębokości 2500 m brak warstw wodonośnych.

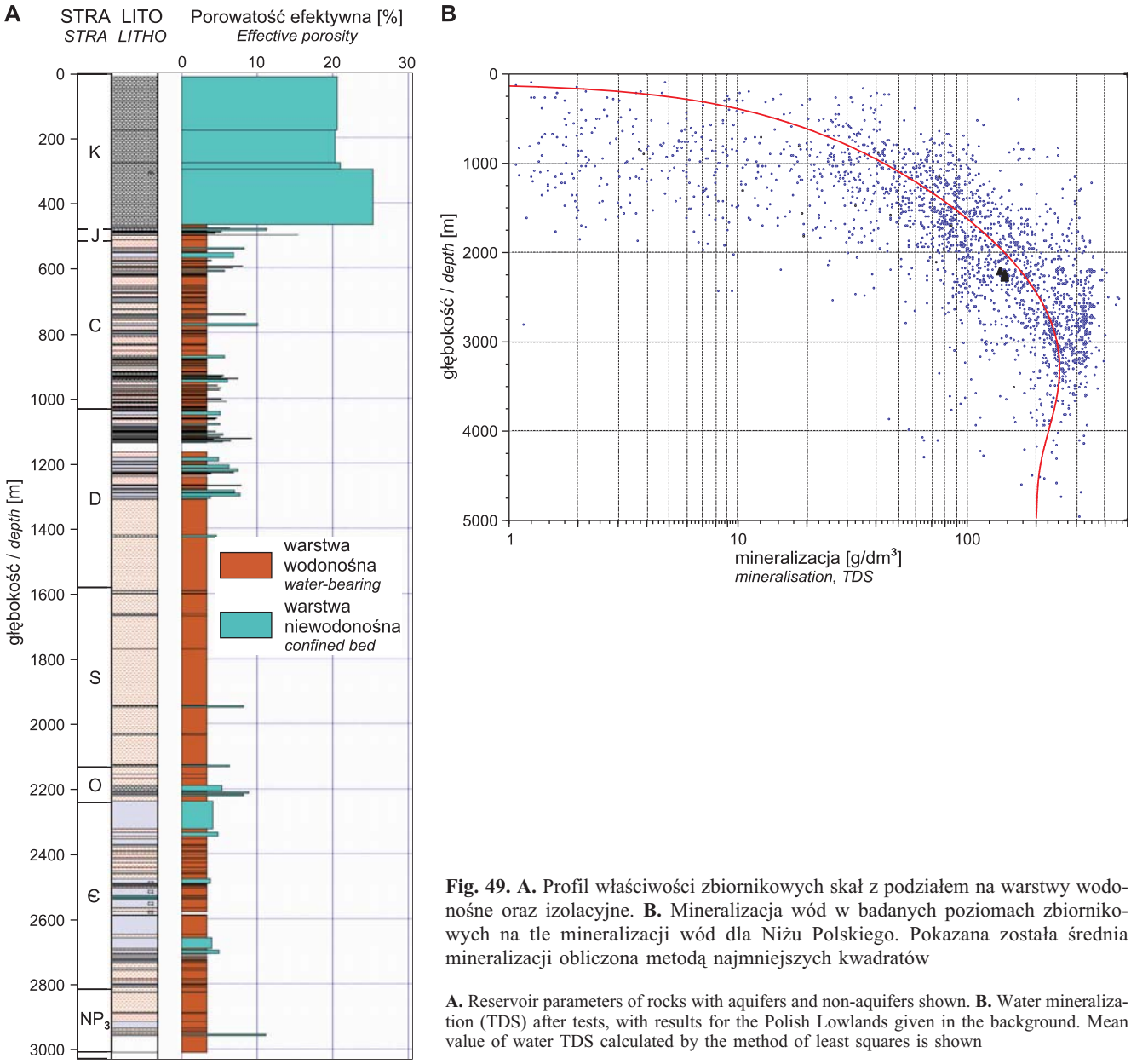


Fig. 49. A. Profil właściwości zbiornikowych skał z podziałem na warstwy wodonośne oraz izolacyjne. **B.** Mineralizacja wód w badanych poziomach zbiornikowych na tle mineralizacji wód dla Niżu Polskiego. Pokazana została średnia mineralizacji obliczona metodą najmniejszych kwadratów

A. Reservoir parameters of rocks with aquifers and non-aquifers shown. **B.** Water mineralization (TDS) after tests, with results for the Polish Lowlands given in the background. Mean value of water TDS calculated by the method of least squares is shown

Lidia DZIEWIŃSKA, Waldemar JÓŹWIAK

WYNIKI POMIARÓW GEOFIZYKI OTWOROWEJ

W otworze Białopole IG 1 pomiar średnich prędkości i pionowe profilowanie sejsmiczne (PPS) wykonała w 1971 r. Grupa Sejsmometrii Wiertniczej Przedsiębiorstwa Geofizyki Górnictwa Naftowego Kraków. Przy głębokości wiercenia 3017,6 m pomiary wykonano w przedziale głębokościowym od 50 do 3000 m.

Prace wykonano aparaturą POISK SK oraz sondą 2-geofonową TZS, stosując interwał pomiaru 25 m. Rejestracji dokonano na taśmach magnetycznych oraz na bloku oscylograficznym. Prace strzelnicze wykonano z dwóch otworów strzałowych (PS):

PS1 $d = 250$ m $A = 55°$ $N = 0$ m
PS2 $d = 625$ m $A = 63°$ $N = 0$ m

gdzie:

d – odległość punktu strzałowego od głębokiego otworu,

A – azymut, kierunek otwór – PS,

N – wysokość PS w stosunku do wylotu głębokiego otworu.

Lokalizacja PS była uzależniona od warunków terenowych. Prace strzelnicze wykonano przy użyciu dynamitu IG-3 i zapalników gamma nr 8. Wielkość ładunków wybuchowych oraz głębokość strzelania (h) z poszczególnych PS wynosiła:

PS1 1,5–2,5 kg h = 13 m przy h_{po} 13 m
PS2 2,5–5,0 kg h = 12 m przy h_{po} 13 m

gdzie:

h_{po} – głębokość do poziomu odniesienia wspólnego dla dwóch PS, mierzona od powierzchni Ziemi.

W celu kontroli głębokości strzelania na poszczególnych PS zastosowano geofony korekcyjne K_1. Natomiast w celu kontroli momentu wybuchu przy głębokim otworze umieszczono geofon korekcyjny K_2.

Pierwsze impulsy od sondy 6-geofonowej rejestrowano na dwóch kanałach przy wzmocnieniu dla PS1: 4–8 i dla PS2: 3–8. Podczas pomiaru używano kabla karotażowego KTBO.

Morfologicznie teren pomiarów był płaski i w związku z tym nie zachodziła potrzeba wykonywania niwelacji dla poszczególnych PS. W celu doboru optymalnych warunków wykonano mikroprofilowanie prędkości dla obu pól strzałowych i obliczono prędkości w nadkładzie, które w obu przypadkach wynoszą V_o = 2000 m/s.

Poprawki czasowe na zmianę głębokości strzelania oraz na moment wybuchu wyznaczono według metody, która nie uwzględnia błędu popełnionego w momencie wybuchu, a zmianę głębokości strzelania określono według dziennika operatora. Przyjmując prędkość początkową V_o = 2000 m/s, poprawkę czasową obliczono według wyrażenia:

$$\Delta t = \frac{h - V_{śr}}{V_o}$$

Zastosowanie tej metody wynikało z faktu, że materiał był na tyle słaby, że nie udało się wyznaczyć wskazań geofonów korekcyjnych z dostateczną dokładnością.

Jakość materiału podstawowego, a w związku z tym pewność opracowania końcowego dla poszczególnych PS jest następująca:

PS1	interwał	75–3000 m	jakość dobra
PS2	interwał	100–450 m	jakość zła
	interwał	450–3000 m	jakość dobra

Wartość oceny zawiera pewność korelacji, jakość i wyrazistość impulsu oraz maksymalny błąd w określeniu wystąpienia fali.

W celu dokładniejszego powiązania materiałów pionowego profilowania sejsmicznego (PPS) z wynikami otrzymanymi metodą refleksyjną wykazano 2 rozstawy powierzchniowe: głęboki otwór – pole strzałowe, tj.

PS1 długość rozstawu D = 220 m i odległość między kanałami d = 20 m,
PS2 długość rozstawu D = 630 m i odległość między kanałami d = 30 m.

Sejsmogramy magnetyczne PPS opracowano na centrali PSZ-2M.

Na podstawie momentów wybuchów notowanych na poszczególnych taśmach magnetycznych zestawiono sejsmografy zbiorcze i wykonano przekroje czasowe.

W celu wyeliminowania zakłóceń 50 Hz zastosowano sumowanie po 2 kanały z przesunięciem o 10 ms. Na podstawie przekrojów czasowych wyznaczono dwukrotnie poprawki korekcyjne. Analizę obrazu falowego przeprowadzono na podstawie ostatecznych przekrojów czasowych, odtworzonych na centrali PSZ-2M.

Analiza przekrojów czasowych wykazała, że interwał użytecznego zapisu nie przekraczał 1,9 s. Na obu przekrojach czasowych, zwłaszcza w górnej ich części, zarejestrowano dużo zakłóceń, które uniemożliwiały korelację zarówno fal odbitych, jak i krotnych. Z tego powodu nie było możliwości jednoznacznego dowiązania tych fal do wielu zarejestrowanych refleksów o dużej dynamice zapisu na rozstawach powierzchniowych. Należy podkreślić, że ujemny wpływ na jakość rejestracji miał zdecydowanie zły stan techniczny otworu. Z uwagi na gorszą jakość przekroju czasowego z PS2 podstawę analizy stanowią tylko wyniki pomiaru z PS1.

Zestawienie otrzymanych wyników PPS z przekrojem geologicznym otworu Białopole IG 1 pozwoliło na powiązanie fal odbitych z odpowiednimi warstwami (fig. 50). Wyznaczone fale odbite na czasie około ~0,65 s można wiązać z utworami dolnej części karbonu na granicy z utworami dewonu dolnego, następnie fale rejestrujące się na czasie około ~0,85 s – z dewonem dolnym. Najwyraźniej zarejestrowana grupa fal w przedziale czasowym 1,24–1,26 s odpowiada utworom kambru środkowego. Fale odbite na czasie około 1,4 s odpowiadają przyspągowym utworom w kambrze dolnym. Natomiast grupę fal na czasie od 1,7 do 1,9 s należałoby wiązać z utworami położonymi poniżej 3000 m.

Przedstawiony obraz wskazuje, że oprócz głównych granic odbijających w całym kompleksie osadowym znajduje się wiele granic odbijających dających odbicia o niskiej dynamice zapisu, które w większości są zakłócane przez fale krotne.

Do obliczenia krzywej prędkości średnich przyjęto jako poziom odniesienia poziom pomiaru, czyli 187 m n.p.m. przy wysokości otworu wynoszącej 200 m n.p.m. Głębokość zredukowana do poziomu odniesienia została obliczona ze wzoru:

$$h_r = h - h_{po} \pm N \pm \Delta h$$

gdzie:

h_r – głębokość zredukowana punktu pomiarowego, m,
h – głębokość zanurzenia geofonu głębinowego, m,
Δh – różnica głębokości między h_{po} i poziomem odniesienia, m.

Czas obserwowany na sejsmogramach przeliczono na czas poprawiony zgodnie ze wzorem:

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

gdzie:

t_p – czas poprawiony, s,
t_{obs} – czas obserwowany, s,
Δt_h – poprawka wynikająca z głębokości punktu wzbudzania, poziomu odniesienia, miąższości strefy małych prędkości, prędkości w tej strefie i prędkości pod nią.

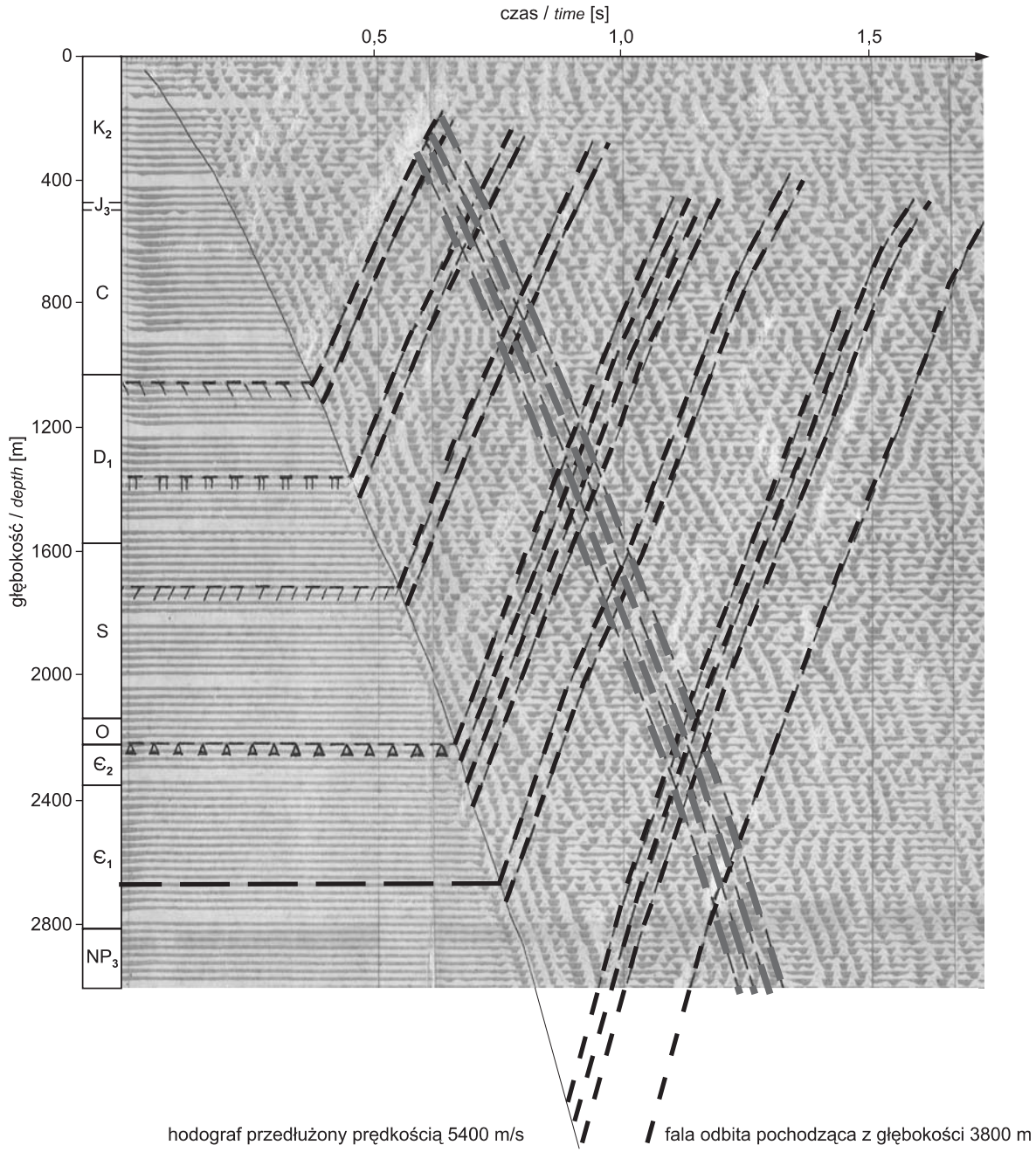


Fig. 50. Pionowe profilowanie sejsmiczne (PPS); poziom odniesienia wylotu otworu 200 m n.p.m., poziom odniesienia pomiaru 187 m n.p.m.

Vertical seismic profiling (VSP); borehole outlet reference level 200 m a.s.l., reference level 187 a.s.l.

Redukcji czasu do pionu dokonano przy założeniu jednorodności ośrodka od punktu wybuchu do głębokości zanurzenia geofonu. Czas zredukowany (t_r) dla poszczególnych punktów wzbudzania liczono na podstawie wzoru:

$$t_r = \frac{h_r}{\sqrt{h_r^2 + d^2}} \times t_p$$

W celu wyeliminowania anizotropii ośrodka obliczono średni czas zredukowany ($t_{r\acute{s}r}$), jako średnią arytmetyczną pomiarów czasu zredukowanego z poszczególnych punktów wzbudzania. Wartości h_r i t_r posłużyły do obliczenia prędkości średnich ($V_{\acute{s}r}$) zgodnie ze wzorem:

$$V_{\acute{s}r} = \frac{h_r}{t_r}$$

Wszystkie obliczone wartości h_r, t_r, $V_{\acute{s}r}$, zestawiono w tabeli 26. Obliczenia wykonano za pomocą odpowiedniego programu komputerowego.

Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do konstrukcji krzywych prędkości średnich (fig. 51A) i hodografu pionowego

Tabela 26

Zestawienie wartości h_r, t_r, $V_{śr}$

The h_r, t_r and $V_{śr}$ values

Głębokość zredukowana h_r	Czas zredukowany z punktu pomiarowego t_r [s]		Średni czas zredukowany $t_{rśr}$	Średnia prędkość fali $V_{śr}$
[m]	PS1	PS2	[s]	[m/s]
1	2	3	4	5
62	0,0330	0,0318	0,0324	1914
87	0,0455	0,0430	0,0443	1966
112	0,0580	0,0550	0,0565	1982
137	0,0710	0,0670	0,0690	1986
162	0,0835	0,0770	0,0803	2019
187	0,0960	0,0900	0,0930	2011
212	0,1040	0,0990	0,1015	2089
237	0,1160	0,1070	0,1115	2126
262	0,1230	0,1180	0,1205	2174
287	0,1320	0,1250	0,1285	2233
312	0,1420	0,1360	0,1390	2245
337	0,1500	0,1460	0,1480	2277
362	0,1590	0,1560	0,1575	2298
387	0,1650	0,1620	0,1635	2367
412	0,1740	0,1710	0,1725	2388
437	0,1810	0,1780	0,1795	2435
462	0,1880	0,1850	0,1865	2477
487	0,1960	0,1930	0,1945	2504
512	0,2100	0,2030	0,2065	2479
537	0,2180	0,2110	0,2145	2503
562	0,2240	0,2180	0,2210	2543
587	0,2320	0,2270	0,2295	2558
612	0,2400	0,2350	0,2375	2577
637	0,2480	0,2420	0,2450	2600
662	0,2560	0,2480	0,2520	2627
687	0,2610	0,2540	0,2575	2668
712	0,2680	0,2630	0,2655	2682
737	0,2770	0,2690	0,2730	2700
762	0,2840	0,2770	0,2805	2717
787	0,2890	0,2840	0,2865	2747
812	0,2960	0,2910	0,2935	2767
837	0,3010	0,2970	0,2990	2799
862	0,3090	0,3030	0,3060	2817
887	0,3160	0,3100	0,3130	2834
912	0,3240	0,3170	0,3205	2846
937	0,3280	0,3240	0,3260	2874

Tabela 26 cd.

1	2	3	4	5
962	0,3350	0,3320	0,3335	2885
987	0,3450	0,3360	0,3405	2899
1012	0,3530	0,3440	0,3485	2904
1037	0,3570	0,3540	0,3555	2917
1062	0,3620	0,3610	0,3615	2938
1087	0,3720	0,3640	0,3680	2954
1112	0,3760	0,3710	0,3735	2977
1137	0,3790	0,3760	0,3775	3012
1162	0,3850	0,3840	0,3845	3022
1187	0,3950	0,3900	0,3925	3024
1212	0,3990	0,3940	0,3965	3057
1237	0,4060	0,4020	0,4040	3062
1262	0,4120	0,4090	0,4105	3074
1287	0,4170	0,4150	0,4160	3094
1312	0,4200	0,4220	0,4210	3116
1337	0,4310	0,4270	0,4290	3117
1362	0,4370	0,4330	0,4350	3131
1387	0,4440	0,4400	0,4420	3138
1412	0,4500	0,4480	0,4490	3145
1437	0,4590	0,4550	0,4570	3144
1462	0,4670	0,4640	0,4655	3141
1487	0,4730	0,4700	0,4715	3154
1512	0,4810	0,4770	0,4790	3157
1537	0,4900	0,4840	0,4870	3156
1562	0,4970	0,4900	0,4935	3165
1587	0,5010	0,4980	0,4995	3177
1612	0,5090	0,5040	0,5065	3183
1637	0,5180	0,5120	0,5150	3179
1662	0,5240	0,5210	0,5225	3181
1687	0,5340	0,5240	0,5290	3189
1712	0,5410	0,5320	0,5365	3191
1737	0,5450	0,5380	0,5415	3208
1762	0,5520	0,5450	0,5485	3212
1787	0,5610	0,5530	0,5570	3208
1812	0,5670	0,5580	0,5625	3221
1837	0,5720	0,5660	0,5690	3228
1862	0,5800	0,5740	0,5770	3227
1887	0,5840	0,5800	0,5820	3242
1912	0,5900	0,5860	0,5880	3252
1937	0,5970	0,5920	0,5945	3258
1962	0,6040	0,5980	0,6010	3265

Tabela 26 cd.

1	2	3	4	5
1987	0,6080	0,6050	0,6065	3276
2012	0,6130	0,6110	0,6120	3288
2037	0,6230	0,6140	0,6185	3293
2062	0,6290	0,6220	0,6255	3297
2087	0,6320	0,6290	0,6305	3310
2112	0,6380	0,6350	0,6365	3318
2137	0,6440	0,6370	0,6405	3336
2162	0,6510	0,6450	0,6480	3336
2187	0,6580	0,6490	0,6535	3347
2212	0,6620	0,6550	0,6585	3359
2237	0,6670	0,6630	0,6650	3364
2262	0,6710	0,6690	0,6700	3376
2287	0,6760	0,6710	0,6735	3396
2312	0,6810	0,6770	0,6790	3405
2337	0,6870	0,6790	0,6830	3422
2362	0,6920	0,6850	0,6885	3431
2387	0,6950	0,6920	0,6935	3442
2412	0,7010	0,6970	0,6990	3451
2437	0,7070	0,7030	0,7050	3457
2462	0,7160	0,7080	0,7120	3458
2487	0,7190	0,7120	0,7155	3476
2512	0,7240	0,7170	0,7205	3486
2537	0,7290	0,7200	0,7245	3502
2562	0,7340	0,7260	0,7300	3510
2587	0,7390	0,7300	0,7345	3522
2612	0,7430	0,7350	0,7390	3535
2637	0,7470	0,7390	0,7430	3549
2662	0,7540	0,7440	0,7490	3554
2687	0,7570	0,7500	0,7535	3566
2712	0,7640	0,7560	0,7600	3568
2737	0,7690	0,7620	0,7655	3575
2762	0,7730	0,7680	0,7705	3585
2787	0,7810	0,7730	0,7770	3587
2812	0,7870	0,7800	0,7835	3589
2837	0,7940	0,7830	0,7885	3598
2862	0,7970	0,7880	0,7925	3611
2887	0,8010	0,7910	0,7960	3627
2912	0,8070	0,7980	0,8025	3629
2937	0,8120	0,8010	0,8065	3642
2962	0,8170	0,8070	0,8120	3648
2987	0,8220	0,8110	0,8165	3658

(fig. 51B). Do wykreślenia krzywej prędkości średnich wykorzystano wartości uśrednione z poszczególnych punktów wzbudzania. Hodograf pionowy wskazuje na zależność między wzrostem głębokości a czasem rejestracji.

W celu wyznaczenia poszczególnych kompleksów prędkościowych, a szczególnie ich średnich wartości, zastosowano metodę wygładzania 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 jej wykorzystania jest jednakowy odstęp między punktami pomiarowymi. Metodę tę zastosowano do wygładzania odczytów czasu z pomiarów prędkości średnich w celu obliczenia prędkości interwałowych bez przypadkowych skoków wartości wywołanych błędami pomiaru czasu. Krzywe wygładzone prędkości interwałowych obliczono, aby wyznaczyć strefy maksymalnych gradientów prędkości, które odpowiadają granicom prędkościowym poszczególnych kompleksów.

Krzywe prędkości obliczono wyrównując pomiary czasu zredukowane do pionu za pomocą 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 wyznaczone wartości wygładzono przy użyciu specjalnego programu przez zastosowanie operacji splotu z filtrem trójkątnym, stosując 20 razy filtr 0,25; 0,5; 0,25. Celem tych przekształceń, usuwających przypadkowe odchylenia poszczególnych danych pomiarowych wynikających z niedokładności pomiarów, było przygotowanie materiałów do obliczenia prędkości interwałowych.

Przy pierwszym wygładzaniu zostały zmniejszone przypadkowe skoki wartości, spowodowane ich zaokrągleniem do 1 ms lub błędami pomiarowymi. Kolejne powtarzanie wymienionych operacji sprawiło zaokrąglenie załamań (hodografu), spowodowanych zmianami prędkości w kolejnych warstwach. W ten sposób powstały dodatkowe zbiory obejmujące przetworzone pomiary czasu po ich zredukowaniu do poziomu odniesienia, wyinterpretowaniu wartości co 20 m i wygładzeniu oraz odpowiadające im wartości prędkości średnich.

Powyższe informacje są zawarte w banku danych prędkościowych utworzonym w latach 90. XX w. w Zakładzie Geofizyki PIG na potrzeby interpretacji prac sejsmicznych.

Różnice wartości czasów 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 czasu wygładzonego 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 obliczonych prędkości odpowiadają uśrednionym wartościom kompleksów warstw o prędkościach zmniejszonych lub zwiększonych w porównaniu z sąsiednimi.

Zestawienie uśrednionych wartości prędkości obliczonych z pomiarów czasu wygładzonego zawiera tabela 27. Krzywe

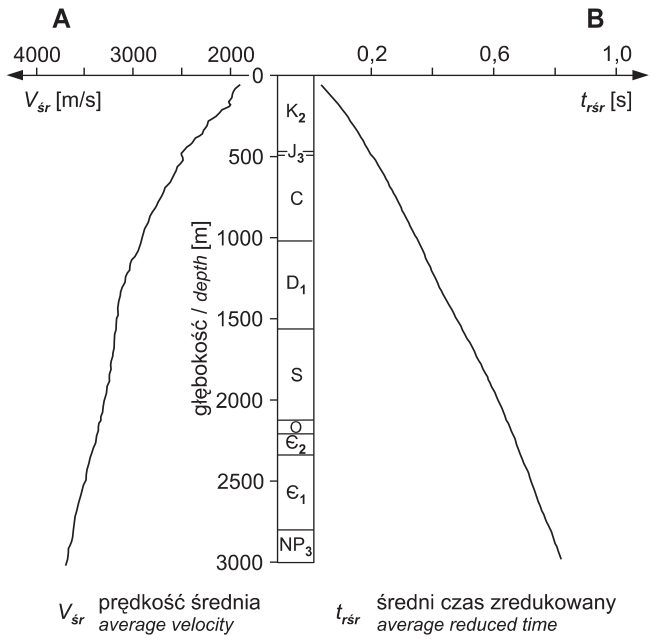


Fig. 51. Wykres prędkości średnich (A) i hodograf pionowy (B); poziom odniesienia 187 m n.p.m.

Average seismic velocity (**A**) and travel-time curve (**B**); reference level 187 m a.s.l.

prędkości wygładzonych, interwałowych i kompleksowych przedstawiono na figurze 52. Wykresy wzbogacono profilem stratygraficznym, co umożliwia bezpośrednie powiązanie zmian prędkości z kompleksami stratygraficzno-litologicznymi przekroju geologicznego w otworze oraz z refleksami sejsmicznymi.

Przedstawiona krzywa prędkości średnich wykazuje stopniowy wzrost od 2000 do 3750 m/s, charakteryzujący warstwy utworów od kredy do ediakaru. Na głębokości ok. 1050 m następuje pierwszy gwałtowniejszy wzrost prędkości średnich, odpowiadający górnym warstwom dewonu dolnego. Po tym prawie 250-m odcinku prędkość średnia wzrasta już łagodniej aż do końca profilu, z lokalnymi kulminacjami w utworach kambru i ediakaru.

Na podstawie wyników pomiarów prędkości (kompleksowych) profil otworu można podzielić na kilka głównych kompleksów. Pierwszy o prędkości ok. 2400 m/s obejmuje utwory kredy, z granicą w ich spągu. Można tu wydzielić trzy strefy: najmniejsza prędkość kompleksowa (ok. 2150 m/s) obejmuje utwory mastrychtu i kampanu, większa (ok. 2650 m/s) dotyczy santonu i koniaku, a największa (2900–3050 m/s) związana jest z osadami turonu i cenomanu.

Następny kompleks o prędkości ok. 3500 m/s wyznacza mułowcowe utwory karbonu aż do granicy związanej z utworami spągowymi tego okresu. Jest to miąższa, ponad 500-m seria o stopniowo wzrastających prędkościach średnich, interwałowych i kompleksowych. Wzrost wartości na krzywych prawdopodobnie odpowiada większej zawartości utworów piaskowcowych lub wapiennych.

Tabela 27

Zestawienie obliczonych uśrednionych wartości prędkości

Calculated averaged velocity values

Głębokość [m]	Prędkość [m/s]		
	interwałowa V_i	kompleksowa V_k	wygładzona V_w
1	2	3	4
20	2002	2025	1995
40	2002	2145	1986
60	2002	2145	2005
80	2002	2145	2032
100	2002	2145	2068
120	2210	2145	2115
140	2210	2145	2172
160	2210	2145	2240
180	2210	2145	2318
200	2210	2145	2402
220	2594	2145	2486
240	2594	2666	2566
260	2594	2666	2639
280	2594	2666	2706
300	2594	2666	2770
320	2927	2666	2834
340	2927	2901	2901
360	2927	2901	2966
380	2927	3048	3022
400	2927	3048	3060
420	3053	3048	3075
440	3053	3048	3067
460	3053	3048	3048
480	3053	3048	3028
500	3053	3120	3022
520	3106	3120	3035
540	3106	3120	3069
560	3106	3120	3123
580	3106	3120	3189
600	3106	3120	3262
620	3415	3120	3333
640	3415	3485	3398
660	3415	3485	3452
680	3415	3485	3495
700	3415	3485	3532
720	3620	3485	3566
740	3620	3485	3601

Głębokość [m]	Prędkość [m/s]		
	interwałowa V_i	kompleksowa V_k	wygładzona V_w
1	2	3	4
760	3620	3640	3640
780	3620	3640	3677
800	3620	3701	3707
820	3712	3701	3725
860	3712	3701	3715
880	3712	3701	3692
900	3712	3701	3666
920	3628	3701	3640
940	3628	3712	3620
960	3628	3712	3613
980	3628	3712	3624
1000	3628	3712	3659
1020	3851	3712	3720
1040	3851	3712	3803
1060	3851	3712	3899
1080	3851	3712	3993
1100	3851	4033	4005
1120	4127	4033	4005
1140	4127	4033	4005
1160	4127	4033	4005
1180	4127	4033	4005
1200	4127	4033	4005
1220	4035	4033	4005
1240	4035	4033	4005
1260	4035	4033	4005
1280	4035	4033	4005
1300	4035	4033	4005
1320	3677	4033	4005
1340	3677	4033	4005
1360	3677	3496	3496
1380	3677	3496	3496
1400	3677	3496	3496
1420	3444	3496	3496
1440	3444	3496	3496
1460	3444	3496	3496
1480	3444	3496	3496
1500	3444	3496	3496

Tabela 27 cd.

1	2	3	4
1520	3503	3496	3496
1540	3503	3510	3512
1560	3503	3510	3512
1580	3503	3510	3512
1600	3503	3510	3512
1620	3553	3553	3567
1640	3553	3553	3567
1660	3553	3553	3567
1700	3553	3553	3567
1720	3688	3775	3796
1740	3688	3775	3796
1760	3688	3775	3796
1780	3688	3775	3796
1800	3688	3775	3796
1820	3865	3775	3796
1840	3865	3775	3796
1860	3865	3775	3796
1880	3865	3775	3796
1900	3865	3775	3796
1920	4088	4088	4101
1940	4088	4088	4101
1960	4088	4088	4101
1980	4088	4088	4101
2000	4088	4088	4101
2020	4235	4217	4235
2040	4235	4217	4235
2060	4235	4217	4235
2080	4235	4217	4235
2100	4235	4342	4357
2120	4414	4342	4357
2140	4414	4342	4357
2160	4414	4580	4630
2180	4414	4580	4630
2200	4414	4580	4630
2220	4822	4580	4630
2240	4822	4580	4630
2260	4822	4580	4630

1	2	3	4
2280	4822	4967	4991
2300	4822	4967	5038
2320	4915	4967	5028
2340	4915	4967	4968
2360	4915	4967	4884
2380	4915	4967	4937
2400	4915	4815	4745
2420	4825	4815	4731
2440	4825	4815	4765
2460	4825	4815	4839
2480	4825	4815	4940
2500	4825	4815	5049
2520	5192	5082	5145
2540	5192	5082	5211
2560	5192	5082	5236
2580	5192	5082	5219
2600	5192	5082	5161
2620	4892	5082	5071
2640	4892	5082	4959
2660	4892	5082	4838
2680	4892	5082	4722
2700	4892	4622	4625
2720	4555	4622	4555
2740	4555	4622	4521
2760	4555	4622	4527
2780	4555	4622	4576
2800	4555	4622	4662
2820	4926	4622	4773
2840	4926	4622	4892
2860	4926	5091	4999
2880	4926	5091	5077
2900	5128	5091	5121
2920	5128	5091	5137
2940	5128	5091	5136
2960	5128	5091	5130
2980	5128	5091	5130

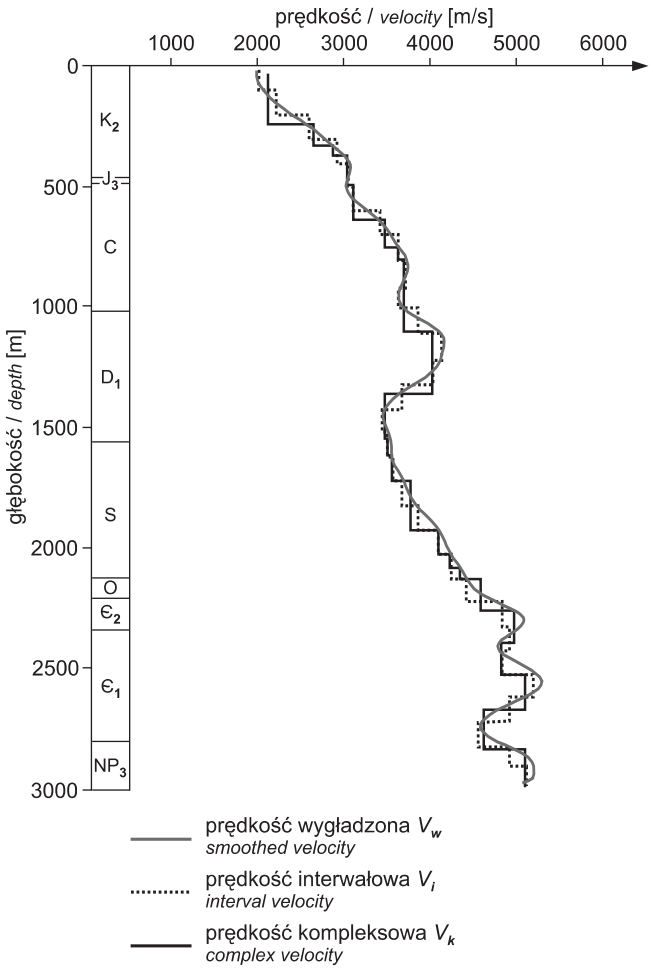


Fig. 52. Wykresy prędkości wygładzonych (V_w), interwałowych (V_i) i kompleksowych (V_k); poziom odniesienia 187 m n.p.m.

Smoothed velocity (V_w), interval velocity (V_i) and complex velocity (V_k); reference level 187 m a.s.l.

Najwyraźniejsza granica prędkościowa przypada na kontakt utworów karbonu i dewonu dolnego, wyznaczająca kolejny kompleks prędkościowy. Na wykresie prędkości interwałowych znaczny kontrast zaznacza się dokładnie na głębokości odpowiadającej stropowi utworów dewonu dolnego. Górne warstwy dewonu dolnego charakteryzują się prędkością kompleksową ponad 4000 m/s. Następny kompleks prędkościowy ok. 3600 m/s obejmuje iłowcowe i mułowcowe utwory dewonu dolnego oraz górne warstwy serii ilastej syluru. Na krzywych prędkościowych nie zaznacza się granica między utworami dewonu i syluru, która jest tu ciągła. Dolne warstwy syluru charakteryzują się znacznie większą prędkością. Zauważalny kontrast prędkości występuje na głębokości odpowiadającej utworom wapiennym ordowiku. Strop kambru środkowego koreluje się ze wzrostem wartości prędkości na krzywej interwałowej. Natomiast wyraźne granice prędkości na krzywej kompleksowej występują w utworach środkowo- i dolnokambryjskich oraz w warstwach przystropowych ediakaru.

W porównaniu z wynikami PPS można stwierdzić, że istnieje zgodność w zakresie wydzielenia granic sejsmicznych. Wykonanie pomiarów prędkości fal sejsmicznych i PPS umożliwia właściwą interpretację głębokościową przekrojów sejsmicznych w strefie lokalizacji otworu na wyniesieniu łukowsko-hrubieszowskim.

Leszek BOJARSKI, Andrzej SOKOŁOWSKI, Jakub SOKOŁOWSKI

WYNIKI OPRÓBOWANIA POZIOMÓW ZBIORNIKOWYCH

Celem opróbowania otworu była ocena możliwości zachowania się złóż węglowodorów w utworach kambru, zalegających pod kilkusetmetrowej miąższości serią uszczelniających skał ordowiku i syluru. Opróbowano 4 poziomy zbiornikowe kambru, 2 poziomy kambryjsko-ordowickie i 1 poziom syluru (fig. 53, 54). Badania przeprowadzano podczas prac wiertniczych, opróbowywując kolejne poziomy w miarę głębienia otworu. Poziomy do badań typował L. Bojarski na podstawie bezpośrednich objawów bitumiczności, charakteru litologicznego przewiercanych skał oraz interpretacji wykresu kawernomierza. Nadzór nad badaniami sprawował L. Bojarski, zaś specjalistyczny dozór w terenie pełnili W. Kowalczyk, A. Magiera i T. Kwolek. Analizy chemiczne wód wykonała H. Zielińska w Głównym Laboratorium Instytutu Geologicznego, a analizy gazu M. Sztukowski w Laboratorium Skał Bitumicznych Zakładu Geologii Ropy i Gazu Instytutu Geologicznego.

Opróbowanie rozpoczęto 28.07 i zakończono 21.11.1970 r. Opróbowania przeprowadziła ekipa specjalistów z Gömmern w Niemieckiej Republice Demokratycznej. Badania wykonywano rurowym próbnikiem złoża typu Johnston, podczas jednego opróbowania zastosowano eksperymentalnie próbnik typu Halliburton.

Poziom 1626,2–1670,8 m; sylur – iłowce wapniste

Wynik:

– brak przypływu,

– ciśnienie denne P_d = 7,2 at.

Poziom opróbowano w dn. 28–29.07.1970 r. Badanie wykonano w związku z silnym zgazowaniem płuczki podczas przewiercania utworów syluru. W wyniku opróbowania stwierdzono brak przypływu. Do przewodu wiertniczego ponad próbnikiem dopłynęło jedynie podczas osadzania pakera 25 dm^3 płuczki. Ciśnienie denne rejestrowane na manometrze

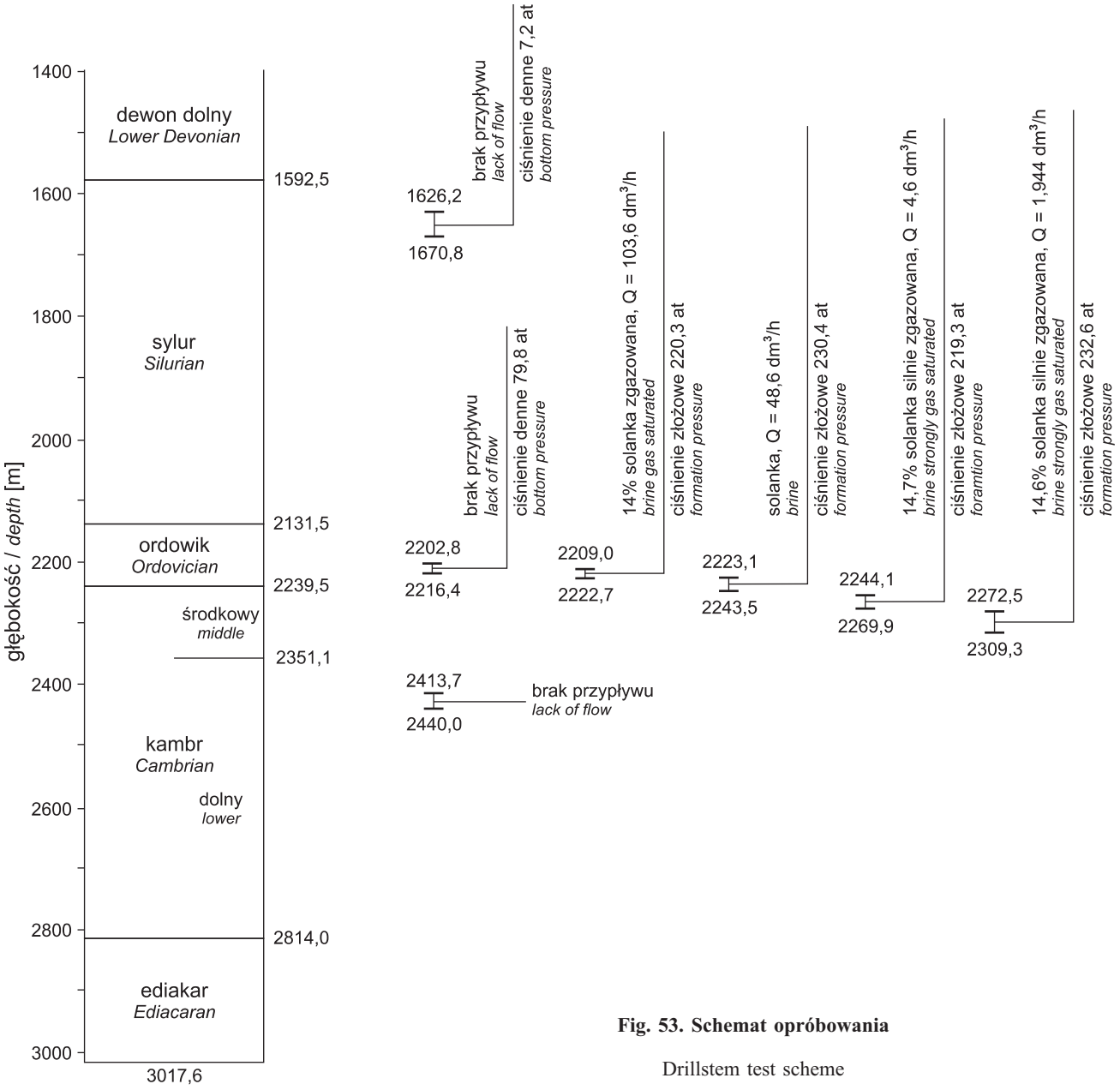


Fig. 53. Schemat opróbowania

Drillstem test scheme

głębinowym po 121 min odbudowało się tylko do 7,2 at (fig. 54A). Temperatura w badanym poziomie wynosiła 46°C. Opróbowany poziom nie ma właściwości zbiornikowych.

Poziom 2202,8–2216,4 m; ordowik – wapienie, piaskowce
Wynik:
– brak przypływu,
– ciśnienie denne P_d = 79,8 at.

Opróbowanie przeprowadzono w dn. 9–10.09.1970 r. Podczas trwającego 79 min przypływu stwierdzono całkowity brak dopływu do próbnika. Pobrano jedynie 10 dm^3 płuczki wiertniczej zanieczyszczonej przypuszczalnie smarami. Nie można wykluczyć, że były to śladowe ilości ropy naftowej. Temperatura na głębokości 2210 m wynosiła 59°C. Wzrost ciśnienia zarejestrowanego na manometrze głębinowym przedstawiono na figurze 54B i w tabeli 28. Opróbowanie wykazało brak właściwości zbiornikowych skał w utworach ordowiku.

Poziom 2209,0–2222,7 m; ordowik – wapienie, piaskowce
Wynik:
– przypływ solanki,
– wydajność 103,6 dm^3/h,
– ciśnienie złożowe P_z = 220,3 at.

Opróbowanie przeprowadzono w dn. 1–02.10.1970 r. Wykonano dwa zapięcia próbnika. Pierwsze zapięcie wykonano rurowym próbnikiem złoża Halliburton w ramach prac wdrożeniowych mających na celu jego szerokie zastosowanie przy opróbowaniu głębokich otworów wiertniczych wykonywanych przez Instytut Geologiczny. Po trwającym 30 min przypływie do przewodu wiertniczego nad próbnikiem dopłynęło ok. 80 dm^3 płuczki z nikłymi śladami bituminów. Ciśnienie złożowe ok. 220 at wskazywało na istnienie poziomu zbiornikowego.

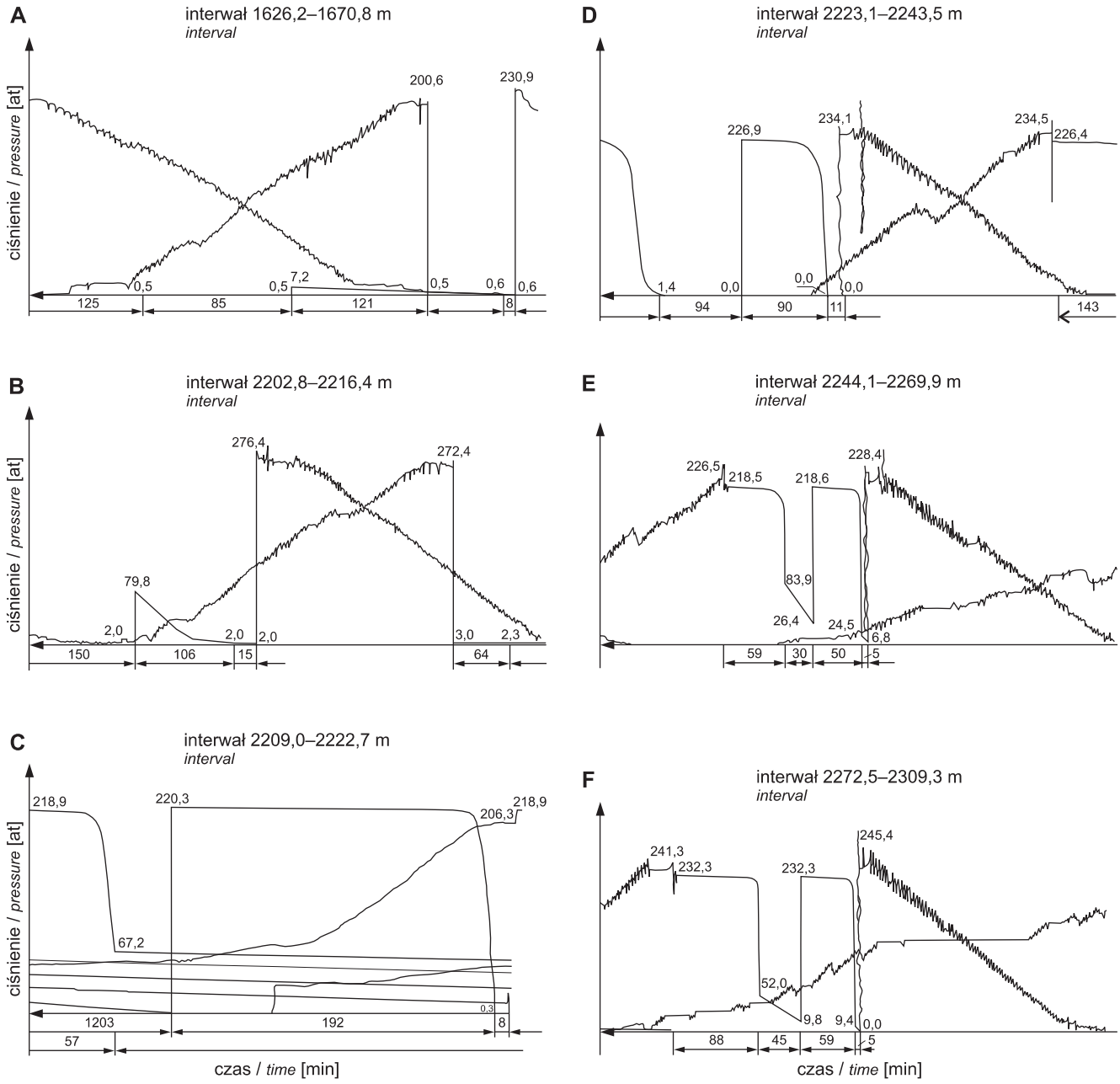


Fig. 54. Opróbowania poziomów zbiornikowych

Testing of reservoir intervals

Opróbowanie powtórzono przy użyciu próbnika typu Johnston. Podczas trwającego 1211 min przypływu do przewodu wiertniczego dopłynęło 2090 dm^3 solanki silnie zgazowanej gazem palnym. Średni przypływ wyniósł 103,6 dm^3/h. Wzrost ciśnienia zarejestrowanego przez manometr głębinowy przedstawiono na figurze 54C i w tabeli 28. Ciśnienie złożowe w wysokości 220,3 at ustabilizowało się już podczas I okresu stabilizacji, co uniemożliwiło wyliczenie parametrów złożowych. Powolna odbudowa ciśnienia po całkowitym okresie przypływu w fazie jego stabilizacji wskazywała na silne uszkodzenie strefy przyodwiertowej. Temperatura w złożu wynosiła 60°C.

Pobraną próbkę wody określono jako 14% solankę typu Cl–Ca–Na, J, Fe (tab. 29). Sucha pozostałość wynosiła 140,5 g/dm^3, ciężar właściwy 1,1047 g/cm^3, pH 6. Solanka wykazywała bardzo wysoki stopień zmetamorfizowania, wyrażony stosunkiem rNa : rCl = 0,45. Wskazuje to, że proces przemian hydrochemicznych zachodził w całkowitym odizolowaniu od wód otaczających.

W solance stwierdzono gaz ziemny bezgazolinowy. Suma węglowodorów wyniosła 80,6112% obj., a suma składników palnych 80,7606% obj., zawartość składników kwaśnych 0,2334% obj. (tab. 30).

Tabela 28

Wzrost ciśnienia dennego

Increase of bottom pressure

Początkowy wzrost ciśnienia		Końcowy wzrost ciśnienia	
czas [min]	ciśnienie [at]	czas [min]	ciśnienie [at]
Poziom 2202,8–2216,4 m			
0	2,0	0	2,3
20	4,4	64	3,0
40	9,1	–	–
60	22,3	–	–
80	47,5	–	–
100	73,2	–	–
106	79,8	–	–
Poziom 2209,0–2222,7 m			
0	0,3	0	67,2
4	111,9	16	215,4
8	180,1	36	218,5
10	204,6	46	218,6
16	218,9	55	218,8
56	219,7	57	218,9
96	220,0	–	–
131	220,3	–	–
192	220,3	–	–
Poziom 2223,1–2243,5 m			
0	0,0	0	1,4
4	42,0	24	191,9
24	214,1	64	214,1
32	220,1	70	220,0
40	222,9	80	222,4
52	225,2	100	224,5
64	226,0	120	225,7
76	226,4	130	226,0
84	226,9	134	226,3
90	226,9	138	226,3
–	–	143	226,4
Poziom 2244,1–2269,9 m			
0	24,5	0	83,9
4	212,2	4	209,4
14	217,3	14	215,4
24	218,2	24	217,1
34	218,5	34	217,8
38	218,5	44	218,2
42	218,6	48	218,2
46	218,6	52	218,2
50	218,6	56	218,5
–	–	59	218,5
Poziom 2272,5–2309,5 m			
0	9,4	0	52,0
4	230,7	4	229,5
14	231,9	24	231,7
24	232,1	44	232,1
34	232,3	64	232,3
44	232,3	84	232,3
59	232,3	88	232,3

Tabela 29

Skład chemiczny solanki

Results of chemical analysis of brine

Składnik	Zawartość		
	[mg/dm^3]	[mval/dm^3]	[% mval]
Poziom 2209,0–2222,7 m			
Kationy			
Ca^{2+}	25405	1268,0	50,9
Mg^{2+}	2500	206,0	8,3
Fe^{3+}	58	3,1	0,1
Na^{+}	22800	991,8	39,8
K^{+}	900	23,0	0,9
Σ	51663	2491,9	100,0
Aniony			
Cl^{-}	87040	2455,0	99,4
SO_4^{2-}	27	0,6	–
HCO_3^{-}	68	1,1	–
Br^{-}	1030	13,0	0,6
J^{-}	4	–	–
Σ	88169	2469,7	100,0
Łącznie	139772		
Poziom 2244,1–2269,9 m			
Kationy			
Ca^{2+}	27715	1353,0	54,2
Mg^{2+}	1390	114,0	4,6
Fe^{3+}	87	4,7	0,2
Na^{+}	23000	1000,5	40,0
K^{+}	950	24,3	1,0
Σ	53142	2496,5	100,0
Aniony			
Cl^{-}	87040	2455,0	99,4
SO_4^{2-}	19	0,4	–
HCO_3^{-}	93	1,5	–
Br^{-}	980	12,0	0,6
J^{-}	3	–	–
Σ	88135	2468,9	100,0
Łącznie	141277	–	–
Poziom 2272,5–2309,3 m			
Kationy			
Ca^{2+}	27140	1351,0	52,1
Mg^{2+}	2240	184,0	7,1
Fe^{3+}	85	4,6	0,1
Na^{+}	23700	1031,0	39,7
K^{+}	1000	25,6	1,0
Σ	54165	2596,2	100,0
Aniony			
Cl^{-}	94130	2655,0	99,5
SO_4^{2-}	30	0,6	–
HCO_3^{-}	87	1,4	–
Br^{-}	1030	13,0	0,5
J^{-}	3	–	–
Σ	95280	2670,0	100,0
Łącznie	149445	–	–

Tabela 30

Skład chemiczny gazu

Results of chemical analysis of gas

Składnik	Zawartość	
	[% obj.]	[g/Nm^3]
Poziom 2209,0–2222,7 m		
CH_4	77,3979	554,943
C_2H_6	2,9423	39,927
C_3H_8	0,2693	5,424
C_4H_{10}	0,0002	0,006
C_5H_{12}	0,0015	0,042
CO_2	0,2334	4,614
N_2	18,1899	227,556
Ar	0,2483	4,430
He	0,5678	1,022
H_2	0,1494	0,135
Razem	100,0000	838,099
Poziom 2244,1–2269,9 m		
CH_4	82,8172	593,7993
C_2H_6	2,9396	39,8904
C_3H_8	0,3281	6,6079
C_4H_{10}	0,0667	1,8009
C_5H_{12}	0,0103	0,3564
C_6H_{14}	0,0034	0,1394
CO_2	0,2690	5,3181
N_2	12,8769	161,0900
Ar	0,1293	2,3067
H_2	0,5595	0,5036
Razem	100,0000	811,8127
Poziom 2272,5–2309,3 m		
CH_4	79,2561	568,266
C_2H_6	2,6822	36,397
C_3H_8	0,2681	5,400
C_4H_{10}	0,0393	1,061
C_5H_{12}	0,0033	0,114
CO_2	0,3205	6,336
N_2	16,6398	208,164
Ar	0,1697	3,027
H_2	0,6210	0,559
Razem	100,0000	829,324

Poziom 2223,1–2243,5 m; ordowik – kambr środkowy – piaskowce i mułowce

Wynik:

– przypływ solanki silnie zanieczyszczonej płuczką,

– wydajność 48,6 dm^3/h,

– ciśnienie złożowe P_z = 230,4 at (wyekstrapolowane).

Poziom opróbowano w dn. 14–15.10.1970 r. Podczas trwającego 105 min przypływu do przewodu wiertniczego dopłynęło 85 dm^3 solanki silnie zanieczyszczonej płuczką (fig. 54D). Średni przypływ wyniósł zaledwie 48,6 dm^3/h. Wzrost ciśnienia dennego podczas okresów stabilizacji przedstawiono w tab. 28. Ciśnienie złożowe (wyekstrapolowane) wyniosło 230,4 at. Warunki zbiornikowe badanego poziomu są bardzo niekorzystne. Współczynnik przepuszczalności wyniósł 1,53 mD, a wskaźnik wydajności otworu PJ = 0,005 m^3/d. Wskaźnik uszkodzenia warstwy DR = 3,69 i promień zasięgu badania próbnikiem r = 8,3 m świadczą o słabych warunkach przypływu z badanych warstw. Współczynnik sprawności warstwy wynosi 26,3%. Po usunięciu blokady przypływ mógł ulec trzykrotnemu zwiększeniu.

Poziom 2244,1–2269,9 m; kambr środkowy – piaskowce i mułowce

Wynik:

– przypływ silnie zgazowanej solanki,

– wydajność 4,6 m^3/h,

– ciśnienie złożowe P_z = 219,3 at (wyekstrapolowane).

Badania wykonano w dn. 20–21.10.1970 r. W okresie sumarycznego przypływu trwającego 35 min do przewodu wiertniczego nad próbnikiem dopłynęło 2,67 m^3 silnie zgazowanej solanki. Gaz palił się długotrwałym, niebieskim płomieniem. Średni przypływ solanki wyniósł 4,6 m^3/h. Badanie przeprowadzono w 4 okresach pomiarowych: I przypływ – 5 min, I wzrost ciśnienia – 50 min, II przypływ – 30 min, II wzrost ciśnienia – 59 min (fig. 54E). Przebieg wzrostu ciśnienia zarejestrowany na manometrze głębinowym umieszczonym w próbniku przedstawiono w tabeli 28.

Temperatura na głębokości 2245 m wynosiła 64°C, ciśnienie denne – 218,5 at i wykazywało minimalną tendencję wzrostową. W wyniku ekstrapolacji krzywej wzrostu ciśnienia określono ciśnienie złożowe, które wyniosło 219,3 at. Współczynnik przepuszczalności wyniósł 928 mD, co świadczy o korzystnych warunkach zbiornikowych badanego poziomu. Potwierdziły to wartości wskaźnika wydajności PJ = 1,47 m^3/d/1 at i potencjalnego wskaźnika wydajności WPW = 7,5 m^3/d/1 at. Bardzo duży promień zasięgu badania r = 133 m również wskazywał na dobre warunki drenażowe w badanym poziomie.

Opróbowane piaskowce zostały w trakcie wiercenia w znacznym stopniu zakolmatowane płuczką wiertniczą. Świadczy o tym wysoka wartość skin efektu S = 27,5 oraz wskaźnik uszkodzenia złoża DR = 5,1. Zablokowanie porów piaskowca płuczką wiertniczą spowodowało, że współczynnik sprawności badanego poziomu wynosił tylko 19,5%. Po usunięciu uszkodzeń poziomu wtórnymi zabiegami intensyfikacyjnymi przypływ solanki mógł zwiększyć się pięciokrotnie.

Podczas opróbowania pobrano próbę solanki w celu określenia jej składu chemicznego. Sucha pozostałość solanki wynosiła

147,5 g/dm^3, ciężar właściwy 1,1052 g/cm^3 i pH 6. Solankę scharakteryzowano jako 14,7% solankę Ca–Na–Cl, J, Fe (tab. 29). Wartość wskaźnika hydrochemicznego rNa : rCl = 0,41.

Gaz wydzielający się z solanki określono jako gaz ziemny metanowy, bezgazolinowy o podwyższonej zawartości azotu. Suma węglowodorów wyniosła 86,1653% obj., a składników palnych 86,7248% obj. W gazie nie stwierdzono podwyższonej zawartości węglowodorów ciężkich (tab. 30).

Poziom 2272,5–2309,3 m; kambr środkowy – piaskowce i mułowce

Wynik:

– przypływ silnie zgazowanej solanki,

– wydajność 1,944 m^3/h,

– ciśnienie złożowe P_z = 232,6 at (wyekstrapolowane).

Poziom opróbowano w dn. 30–31.10.1970 r. Podczas łącznego przypływu trwającego 50 min do przewodu wiertniczego nad próbnikiem dopłynęło 1,62 m^3 silnie zgazowanej solanki. Średnia wydajność wyniosła 1,944 m^3/h. Wolny gaz wydzielający się z solanki palił się intensywnym, niebieskim płomieniem. Badanie przeprowadzono metodą czterokrotnego odcięcia: I przypływ – 5 min, I wzrost ciśnienia – 59 min, II przypływ – 45 min, II wzrost ciśnienia – 88 min (fig. 54F). Wzrost ciśnienia zarejestrowany na manometrze głębinowym przedstawiono w tabeli 28.

Wyekstrapolowane ciśnienie złożowe wyniosło 232,6 at i było zaledwie o 0,3 at wyższe od ciśnienia zarejestrowanego przez manometr głębinowy. Warunki zbiornikowe poziomu określono jako dobre, o czym świadczy wartość współczynnika przepuszczalności wynosząca 630 mD. Wartości wskaźnika wydajności otworu PJ = 0,258 m^3/d/1 at oraz potencjalnego wskaźnika wydajności otworu WPW = 7,3 m^3/d/1 at wskazywały na możliwość uzyskania przypływu o wartości przemysłowej. Badany poziom został zanieczyszczony przez płuczkę wiertniczą, co potwierdziła wysoka wartość skin efektu S = 129,4 i wartość wskaźnika uszkodzenia DR = 28,2. Współczynnik sprawności badanego poziomu wynosił zaledwie 3,5%. Po zastosowaniu zabiegów intensyfikacyjnych istniała możliwość uzyskania ok. 28 razy większego przypływu. Promień zasięgu badania wyniósł r = 31 m. Temperatura na głębokości 2274 m wynosiła 66°C.

W badanym poziomie stwierdzono występowanie solanki o suchej pozostałości wynoszącej 146,0 g/dm^3, ciężarze właściwym 1,1096 g/cm^3 i pH = 6. Pod względem chemicznym wodę scharakteryzowano jako 14,6% solankę Ca–Na–Cl, J, Fe (tab. 29). Wskaźnik hydrochemiczny rNa : rCl = 0,39 (jedna z najniższych wartości stwierdzonych dotychczas w Polsce) jednoznacznie wskazał na wody reliktowe o silnie zaawansowanych procesach przemian chemicznych.

Wydzielający się gaz określono jako gaz ziemny bezgazolinowy o podwyższonej zawartości azotu. Wśród węglowodorów oprócz metanu (79,3% obj.) stwierdzono obecność etanu (2,7% obj.) i propanu (0,3% obj.). Pozostałe węglowodory występowały w ilościach śladowych (tab. 30).

Poziom 2413,7–2440,0 m; kambr dolny – mułowce laminowane piaskowcem

Wynik:

– brak przypływu.

Poziom opróbowano w dn. 20–21.11.1970 r. W trakcie opróbowania stwierdzono brak przypływu. Uzyskano zaledwie 15 dm^3 płuczki wiertniczej, która wpłynęła do próbnika podczas jego zapinania. Temperatura na głębokości 2415,3 m wynosiła 66°C. Na manometrze nie zarejestrowano ciśnienia ze względu na całkowity brak właściwości zbiornikowych skał badanego poziomu.

Podsumowanie. Najkorzystniejszymi właściwościami zbiornikowymi spośród badanych poziomów odznaczają się piaskowce kambru środkowego (z wyjątkiem części stropowej). Poziomy kambru środkowego charakteryzują się wydajnościami 1,9–4,6 m^3/h oraz znaczną przepuszczalnością – wartość współczynnika przepuszczalności zawiera się w granicach 630–928 mD. Stropowe partie kambru środkowego odznaczają się znacznie mniejszą przepuszczalnością (współczynnik przepuszczalności 1,53 mD) oraz znikomymi przypływami (kilkadziesiąt dm^3/h). Całkowitym brakiem właściwości zbiornikowych odznaczają się poziomy syluru (ciśnienie tylko 7,2 at), ordowiku i kambru dolnego (manometr nie zarejestrował wzrostu ciśnienia).

Poziomy kambru środkowego leżą w strefie występowania wód Ca–Na–Cl, bardzo perspektywicznej dla występowania węglowodorów. Wysoki stopień zmetamorfizowania solanek (rNa : rCl = 0,39–0,41) wskazuje na wody reliktowe, silnie przeobrażone podczas długotrwałych procesów geologicznych. Bezpośrednim wskaźnikiem możliwości występowania złóż węglowodorów jest gaz wysokometanowy występujący w stanie wolnym w solance. Opróbowania wykazały, że poziomy zbiornikowe kambru środkowego charakteryzują się korzystnymi warunkami dla zachowania się złóż węglowodorów.