

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH I OPRÓBOWANIA HYDROGEOLOGICZNEGO

Jan SZEWCZYK

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

ZAKRES WYKONANYCH BADAŃ

Badania z zakresu geofizyki wiertniczej zostały wykonane w okresie od 19 listopada 1987 roku do 28 października 1988 roku standardowymi aparaturami analogowymi produkcji rosyjskiej, przez Geofizykę Toruń. Badania przeprowadzono w dziewięciu podstawowych odcinkach tzw. badań strefowych. W tabeli 14 zestawiono wszystkie wykonane badania wraz z informacją na temat ich rodzaju, daty oraz odcinka głębokościowego, w których te badania wykonano. Poza standardowym zestawem metod badawczych, w odcinku głębokościowym 1000–1300 m, przeprowadzono dodatkowe badania stref mineralizacji uranowej występującej w utworach triasu dolnego (Szewczyk, 1987). Było to profilowanie naturalnego promieniowania gamma (PG), profilowanie potencjałów sa-

moistnych (PS), a także profilowanie indukcyjne (PI) oraz profilowania opornościowe (PO).

W profilu całego otworu wiertniczego wykonano praktycznie pełny zestaw badań możliwych do przeprowadzenia pod koniec lat 80. XX w., standardowymi analogowymi aparaturami karotażowymi. Otwór wiertniczy Malbork IG 1, ze względu na obszerny zrealizowany program badań, jest jednym z najpełniej zbadanych, standardowymi analogowymi aparaturami pomiarowymi, otworów na obszarze północnej części Niżu Polskiego.

Ze względu na obecność silnych zakłóceń pola elektrycznego, pomiar potencjału tego pola (PS) wykonano jedynie w dwóch pierwszych badanych odcinkach, tj. do głębokości 1400 m.

Tabela 14

Zestawienie typów badań geofizycznych wykonanych w otworze wiertniczym Malbork IG 1

Geophysical investigation in the Malbork IG 1 borehole

Odcinek badań strefowych	Data wykonywania badań	Głębokość otworu w chwili wykonywania badań [m]	Typ badań	Odcinek pomiarowy [m]
1	19–21.11.1987	1082,0	PS	250–1056
			Pśr	250–1079
			PG	5–1080
			PGG	250–1080
			PNG	5–1080
			PO × 2	250–1056
			PK	5–1070
			PA	250–1050
			SO × 4	250–1050
			POst	250–1055
mPO	250–1082			

Odcinek badań strefowych	Data wykonywania badań	Głębokość otworu w chwili wykonywania badań [m]	Typ badań	Odcinek pomiarowy [m]
2	3, 4.12.1987	1403,0	PG	965–1403
			PGG	1000–1403
			PNG	970–1403
			Pśr	950–1403
			PO × 2	950–1400
			PA/ΔT,T1,T2/	960–1403
			PK	1000–1405
			TN	1295–1403
			PS	960–1400
			SO × 4	967–1403
			POst	967–1403
			PI	967–1403
			Pśr	250–1403

Tabela 14 cd.

Odcinek badań strefowych	Data wykonywania badań	Głębokość otworu w chwili wykonywania badań [m]	Typ badań	Odcinek pomiarowy [m]
2A	11–12.01.1988	1403,0	PO × 2 PSgrad PG (1:200) PNN PG (1:500)	1000–1300 1000–1300 1000–1300 1000–1300 1000–1300
3	3–5.02.1988	2064,0	PG PGG PNG Pśr PO × 2 TN PA/ΔT,T1,T2/ PK SO × 4 POst Pśr	1353–2060 1353–2060 1353–2060 1353–2060 1353–2058 1850–2060 1500–2060 1375–2062 1345–2055 1345–2055 226–2060
3A	15.03.1988	2058,0	PAc	40–2058
4	14–15.03.1988	2643,0	PG PGG PNG Pśr PO × 2 TN PA/ΔT,T1,T2/ PK SO × 4	2010–2645 2040–2644 2010–2644 2060–2640 2060–2640 2480–2640 2060–2642 2000–2640 2058–2635
4A	14,15.03.1988		SO POst	2058–2635 2058–2635
5	7–9.04.1988	3058,0	PG PGG PNG Pśr PO × 2 TN PA/ΔT,T1,T2/ PK SO × 4 POst Pśr	2590–3055 2590–3050 2590–3055 2057–2977 2590–3055 2875–3055 2590–3057 2600–3050 2600–3055 2600–3055 2057–2977
6	3–4.05.1988	3233,0	PNG SO × 6 POst PG PGG PA/ΔT,T1,T2/ Pśr PK	3000–3233 3000–3230 3000–3230 3000–3232 3000–3233 3000–3233 2057–3229 3000–3225

Odcinek badań strefowych	Data wykonywania badań	Głębokość otworu w chwili wykonywania badań [m]	Typ badań	Odcinek pomiarowy [m]
7	1.06.1988	3276,0	PG PGG PNG + log Pśr PO PA SO × 5 POst PAc(A2,TR,T2)	3080–3264 3226–3264 3080–3264 3226–3261 3226–3256 3200–3264 3226–3256 3227–3262 1890–3227
8	9, 10.06.1988	3276,0	BSO × 5 POst mPOst PK PG PGG PNG logPNG Pśr PA POp	3226–3271 3226–3271 3226–3275 3170–3270 3226–3277 3226–3275 3226–3277 3226–3277 3226–3275 3226–3275 3226–3271
8A	21–22.06.1988	3314,0	PG PGG PNG Pśr POp POst mPOst	3220–3310 3226–3310 3226–3310 3226–3312 3226–3310 3226–3310 3226–3310
9	1–3.09.1988	3680,0	SO × 5 POp POst mPOst PG PNG PGG PA/ΔT,T1,T2/ Pśr PK TN	3260–3665 3260–3665 3260–3665 3260–3665 3260–3678 3260–3678 3260–3678 3260–3678 3227–3675 3250–3675 3465–3678
9A	23.09.1988	3680,0	PT	20–3630
9B	21.10.1988	3680,0	PAc	10–1910

Wyniki źródłowych danych pomiarowych, zarejestrowane w formie analogowej, w skali głębokościowej 1:500, zostały w pierwszej połowie lat 90. XX w. zdigitalizowane oraz unormowane w zakresie przewidzianym programem prac związanych z wprowadzeniem omawianych danych do Centralnej Bazy Danych Geologicznych (Szewczyk i in., 2001).

Na [figurze 39](#) zostały przedstawione w formie graficznej odcinki wspomnianych badań strefowych, gdzie wyszczególniono rodzaje wykonanych badań oraz pokazano numery katalogowe przyjęte dla poszczególnych badań w systemie GEOFLOG dla otworu wiertniczego Malbork IG 1. Ze względu na ograniczone możliwości techniczne oraz informatyczne dostępne w latach 90. XX w. w okresie realizacji tych prac, powinna być rozważana celowość ewentualnego powtórnego wykonania powyższych prac z zastosowaniem współczesnych metod ich prowadzenia ([tab. 14](#), [fig. 39](#))

W ramach prac interpretacyjnych związanych z wprowadzaniem danych geofizycznych do CBDG, pomiary radiometryczne, tj. profilowanie naturalnego promieniowania gamma

(PG) oraz profilowania neutronowe (PNG lub PNN), zostały unormowane oraz połączone w obrębie całego otworu. Wyniki źródłowych wybranych danych pomiarowych po zdigitalizowaniu oraz unormowaniu zostały wprowadzone do Centralnej Bazy Danych Geologicznych. Opis metodyki powyższych prac opisany został w opracowaniu archiwalnym (Szewczyk, 2000). W odniesieniu zarówno do wyników badań odcinkowych, jak i do danych połączonych i unormowanych, ich wyniki zostały utworzone w formacie LAS (Log ASCII Standard).

Profil litologiczny oraz porowatościowy. Na [figurze 40](#) zostały przedstawione wyniki unormowanych i połączonych wartości naturalnego promieniowania gamma, a także profilowania średnicy otworu ze wskazaniem głębokości połączenia poszczególnych odcinków badań.

W ramach wykonanych prac interpretacyjnych, których głównym celem było określenie parametrów petrofizycznych warstw zbiornikowych, opracowany został m.in. profil gęstości objętościowej oraz porowatości całkowitej ([fig. 41](#)).

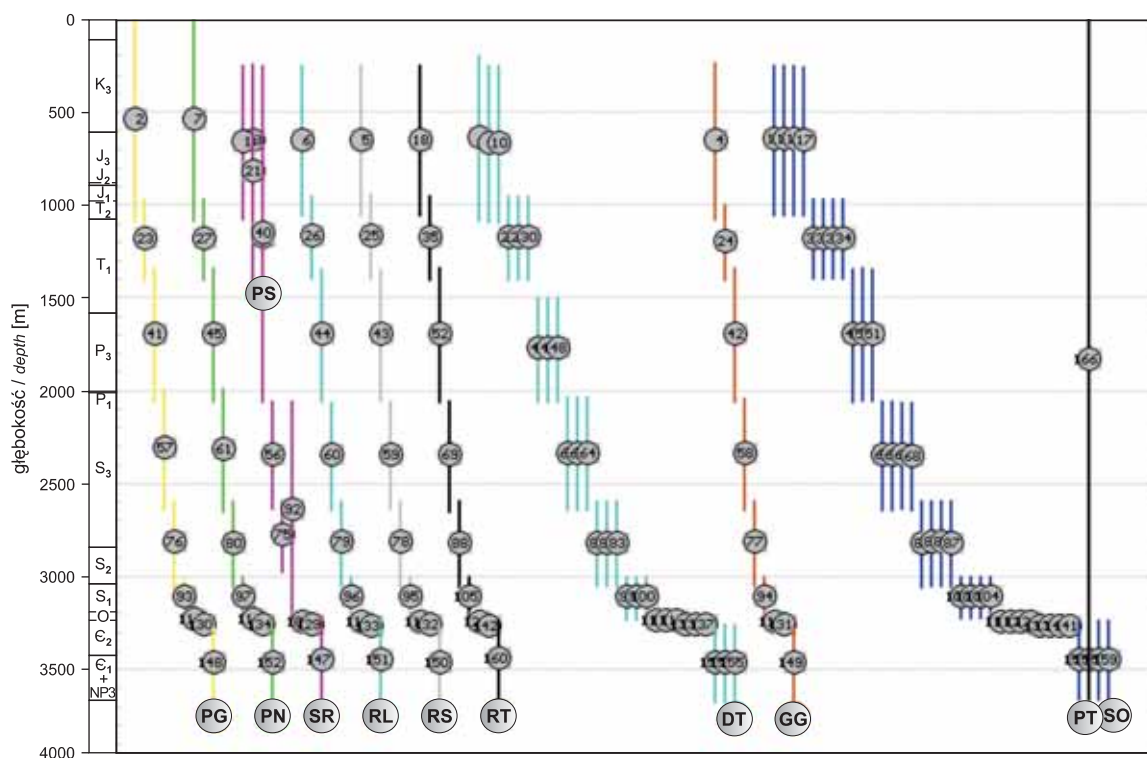


Fig. 39. Schematyczne zestawienie typów badań geofizycznych istniejących w formie cyfrowej wykonanych w otworze wiertniczym Malbork IG 1

Typy profilowań geofizycznych: PG – profilowanie naturalnego promieniowania gamma, PN – profilowanie neutronowe, PS – profilowanie potencjałów samoistnych, SR – profilowanie średnicy otworu, RL – profilowanie oporności długą standardową sondą gradientową, RS – profilowanie oporności krótką standardową sondą potencjałową, RT – profilowanie oporności polem sterowanym, GG – profilowanie gęstości objętościowej, DT – profilowanie akustyczne, PT – profilowanie temperatury, SO – sondowanie oporności

Geophysical wireline logs intervals; Malbork IG 1 borehole

Types of borehole logging methods: PG – natural gamma Ray (GR) profilowanie naturalnego promieniowania gamma, PN – neutron logs (Neutron), PS – spontaneous potential, SR – caliper, RL – deep resistivity standard gradient, RS – shallow resistivity standard normal, RT – laterolog, GG – bulk density, DT – sonic, PT – temperature, SO – resistivity sounding

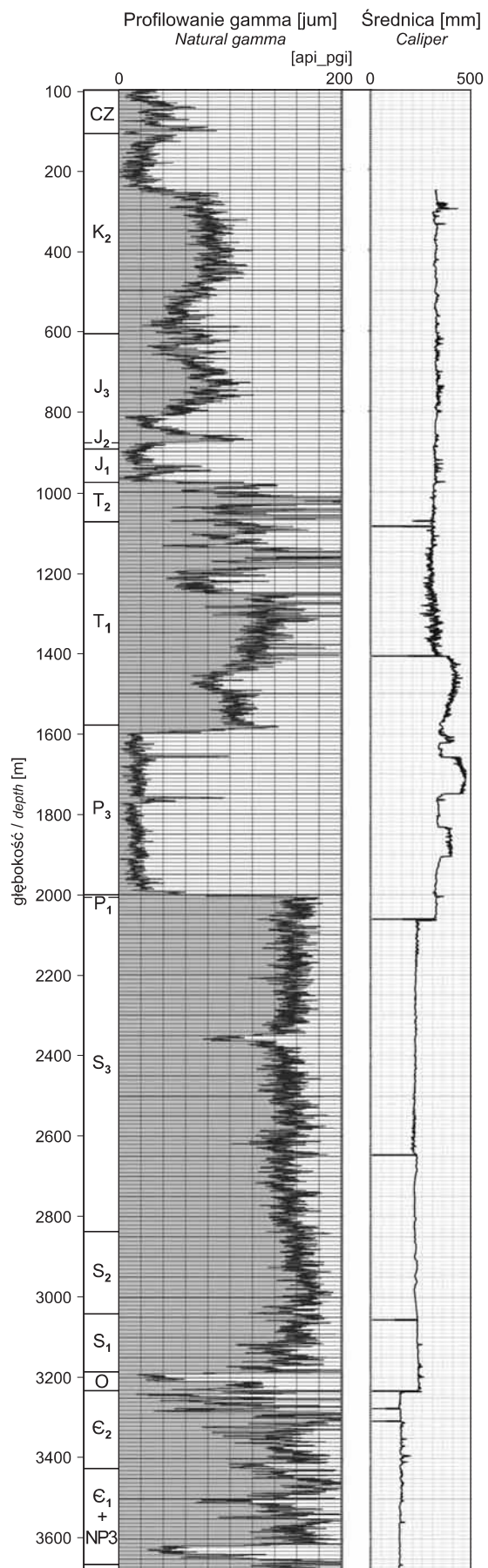


Fig. 40. Wykres unormowanego profilowania naturalnego promieniowania gamma wraz z profilowaniem średnicy otworu wiertniczego ze wskazanymi na nim głębokościami łączenia profilowań dla poszczególnych badań odcinkowych. Wskazano odcinki rdzeniowane wraz z informacją na temat uzysku rdzenia

Normalized Natural Gamma Ray Logs (GR) and Caliper Logs (CAL) with indicated depth connection point of individual wireline logs intervals. Lithology, stratigraphy, cored intervals and core yield are also shown

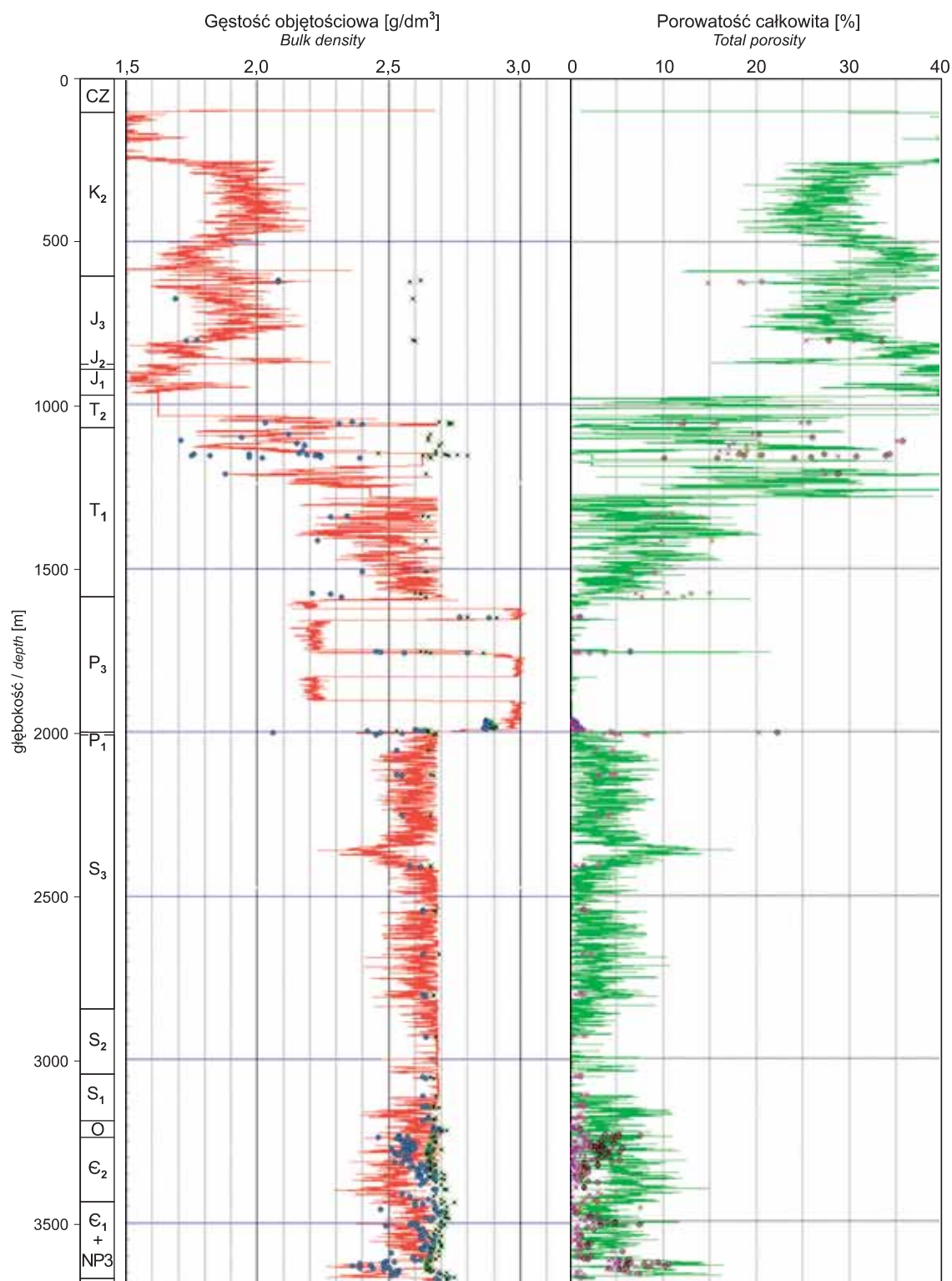


Fig. 41. Porowatość całkowita oraz gęstość objętościowa obliczona na podstawie danych geofizycznych

Dla porównania pokazano wyniki badań laboratoryjnych: porowatości całkowitej (kółka czerwone) i efektywnej (krzyżyki czerwone) oraz gęstości objętościowej (kółka niebieskie) i gęstości właściwej (krzyżyki zielone)

Total porosity and bulk density calculated after geophysical data

Results of lab investigations of these parameters also was shown. Respectively; total porosity (red circle), effective porosity (red crosses), bulk density (blue circle), matrix density (green crosses)

Ocena hydrogeologiczna

Na [figurze 42A](#) został przedstawiony profil warstw wodonośnych oraz nieprzepuszczalnych. Warstwy o dobrych właściwościach zbiornikowych występują wyłącznie w utworach mezozoicznych do głębokości około 540 metrów. Występujące w nich wody mają mineralizację rzędu 3–10 g/dm³. Piaszkowce kambru mają niskie porowatości potwierdzone bardzo niskimi przypływami wód złożowych z opróbowanego

dużego fragmentu utworów kambru środkowego, a dla większości badanych odcinków całkowitym brakiem przypływów.

Na [figurze 42B](#) przedstawiono zestawienie mineralizacji wód podziemnych, uzyskane na podstawie wykonanych badań, z wynikami badań mineralizacji dla obszaru Niżu Polskiego (Szewczyk, 2006). Wartości z otworu wiertniczego Malbork IG 1 są bliskie wartościom średnim obliczonym metodą najmniejszych kwadratów dla tego obszaru.

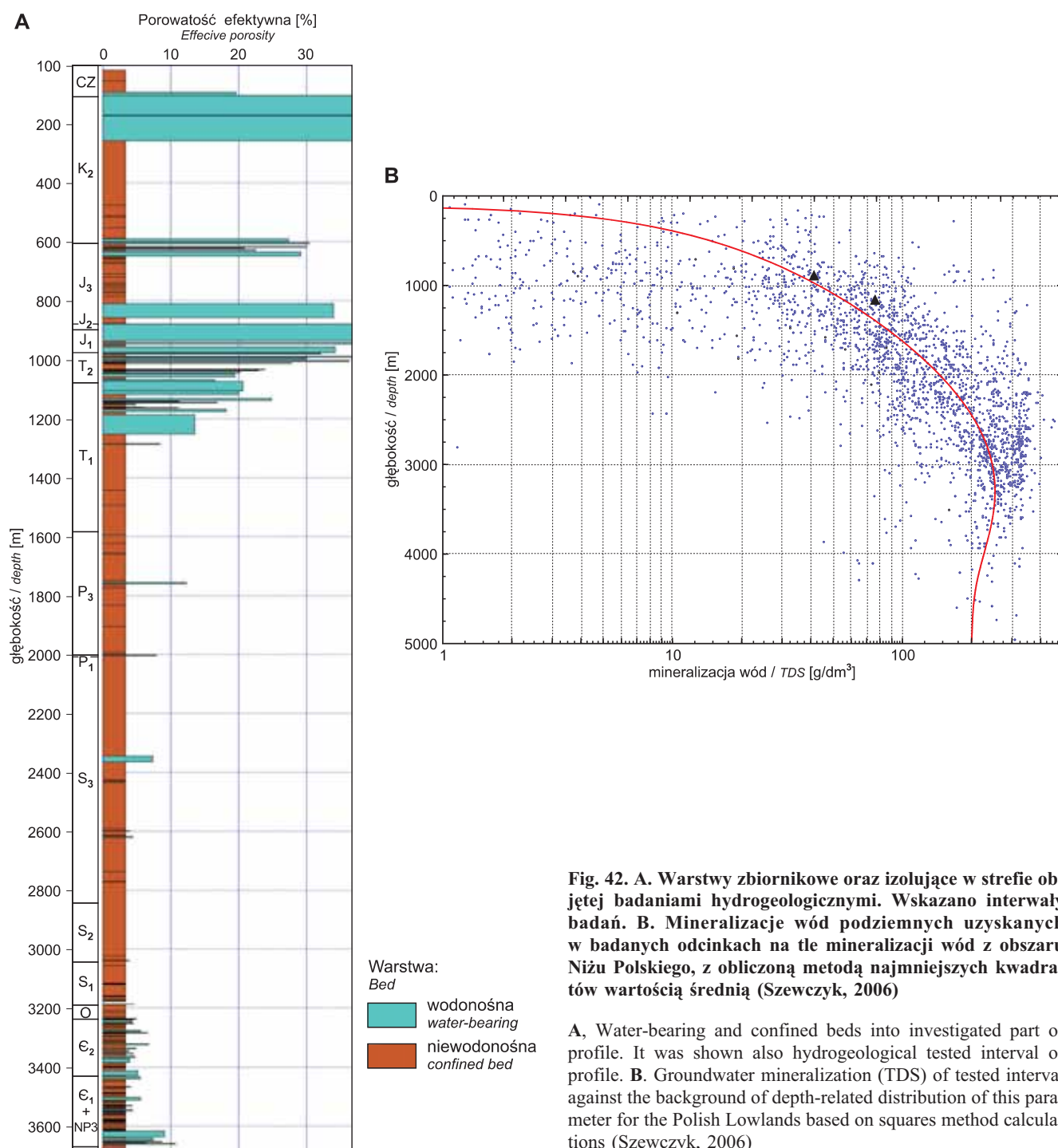


Fig. 42. A. Warstwy zbiornikowe oraz izolujące w strefie objętej badaniami hydrogeologicznymi. Wskazano interwały badań. **B.** Mineralizacje wód podziemnych uzyskanych w badanych odcinkach na tle mineralizacji wód z obszaru Niżu Polskiego, z obliczoną metodą najmniejszych kwadratów wartością średnią (Szewczyk, 2006)

A. Water-bearing and confined beds into investigated part of profile. It was shown also hydrogeological tested interval of profile. **B.** Groundwater mineralization (TDS) of tested interval against the background of depth-related distribution of this parameter for the Polish Lowlands based on squares method calculations (Szewczyk, 2006)

CHARAKTERYSTYKA TERMICZNA

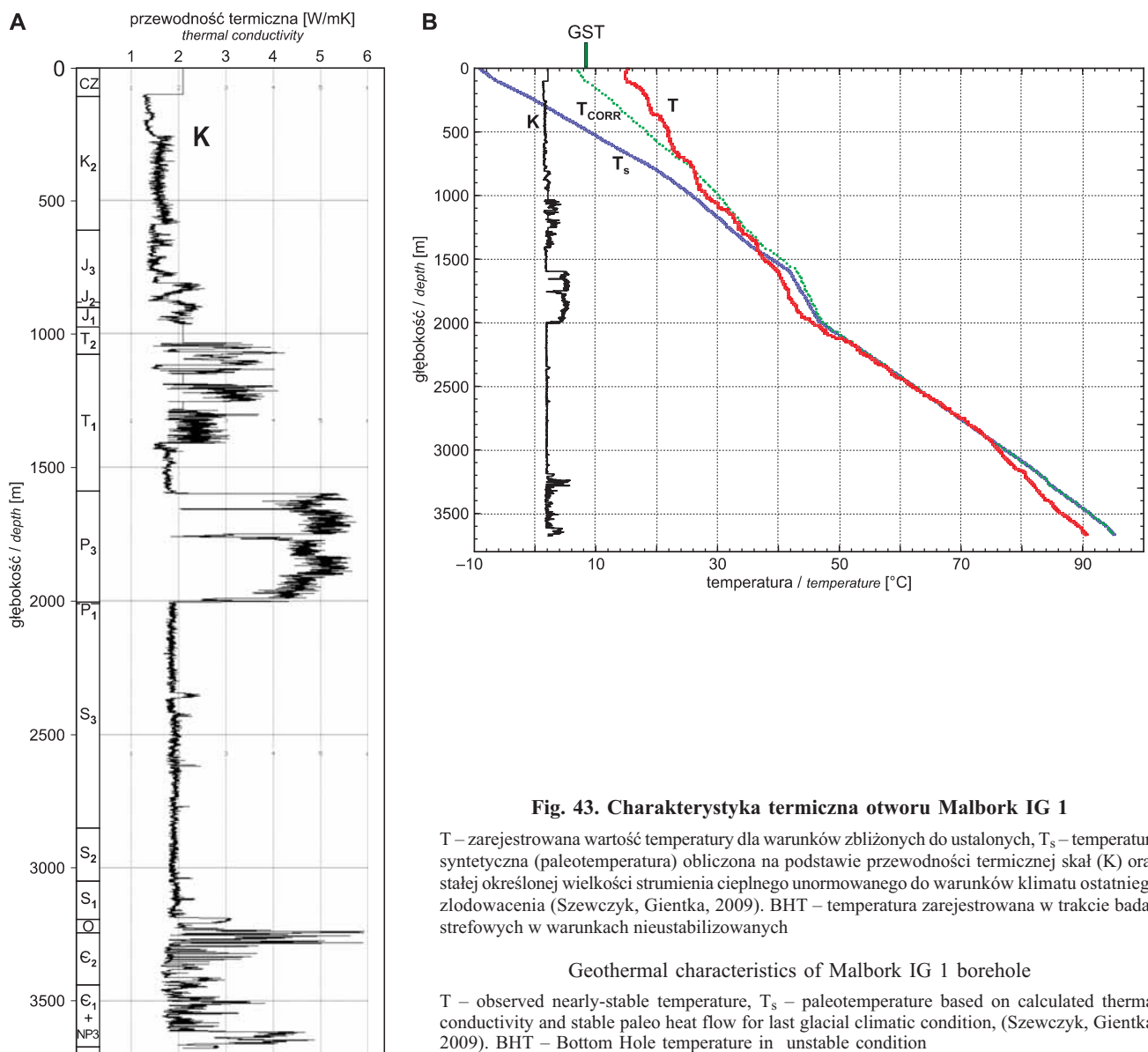
Po zakończeniu prac wiertniczych, po upływie około 14 dni od zakończenia cyrkulacji płuczki wiertniczej, w otworze wiertniczym Malbork IG 1 został wykonany pomiar temperatury w warunkach zbliżonych do ustabilizowanej. Wyraźne odbieganie wartości temperatury w strefie przypowierzchniowej, od temperatury, określanej na podstawie danych meteorologicznych wartości (GST), wskazuje na brak zaburzenia stanu równowagi termicznej w otworze w okresie wykonywania pomiarów temperatury. Dla obszaru, na którym znajduje się otwór wiertniczy Malbork IG 1 wartość GST jest równa około $8,46^{\circ}\text{C}$ (Królikowski, Stajniak, 1994; Szewczyk, 2005). W części najpłytszej, do blisko 1000 metrów, temperatura jest zawyżona, a poniżej około 3500 metrów – zaniżona od temperatury ustabilizowanej (fig. 43). Warto wspomnieć, że na podstawie danych termicznych z otworu wiertniczego Malbork IG 1 oraz pobliskiego otworu wiertniczego Prabuty IG 1 wykryto istnie-

nie efektu paleoklimatycznego w danych termicznych na obszarze Polski (Szewczyk, 2002; Szewczyk, Gientka, 2009).

Poza pomiarem temperatury w warunkach zbliżonych do ustabilizowanych, w otworze wiertniczym Malbork IG 1 wykonano pomiary temperatury maksymalnej (BHT) w warunkach nieustalonej równowagi termicznej dla pięciu głębokości:

Głębokość [m]	403	2643	3058	3233	3680
Temperatura (BHT) [$^{\circ}\text{C}$]	42,0	67	83	86	89

Otwór wiertniczy Malbork IG 1 znajduje się w strefie niskiej wartości strumienia ciepłego charakterystycznego dla obszaru platformy prekambryjskiej (Szewczyk, Gientka, 2009). Jego wartość obliczona dla otworu Malbork IG 1 wynosi $57,45 \text{ mW/m}^2$. Temperatura ustabilizowana dla głębokości 2000 metrów, tj. poza zasięgiem głębokościowym glacialnych zmian klimatycznych, wynosi $47,45^{\circ}\text{C}$ (Szewczyk, 2010).



WYSTĘPOWANIE MINERALIZACJI URANOWEJ

Pierwszy sygnał o możliwości występowania mineralizacji uranowej w utworach triasu na obszarze obniżenia bałtyckiego pochodził z wykonanego w roku 1957 otworu Pasłek IG 1 (Kanasiewicz i in., 1965). Kolejny sygnał został uzyskany z otworu Prabuty IG 1. We wszystkich przypadkach występowanie mineralizacji zostało wyróżnione jedynie wynikami naturalnego promieniowania gamma (PG). Nieliczne rdzenie jedynie potwierdzały występowanie mineralizacji.

Na figurze 44 zostały przedstawione podstawowe informacje na temat właściwości petrofizycznych oraz filtracyjnych

utworów formacji perspektywicznych dla wystąpień mineralizacji uranowej. W obrębie wszystkich formacji występują liczne warstwy wodonośne (piaskowce) wykazujące właściwości filtracyjne. Szczególnie interesujące i ważne, z punktu widzenia perspektyw złożowych, jest występowanie mineralizacji uranowej w obrębie utworów formacji elbląskiej (TE) (Szewczyk, 1987). Z tego też powodu przyspągowy fragment profilu tej formacji, uważany na podstawie wcześniejszych badań za najbardziej perspektywiczny, został opróbowany hydrogeologicznie w interwale 1145–1175 m. Uzyskano znaczny

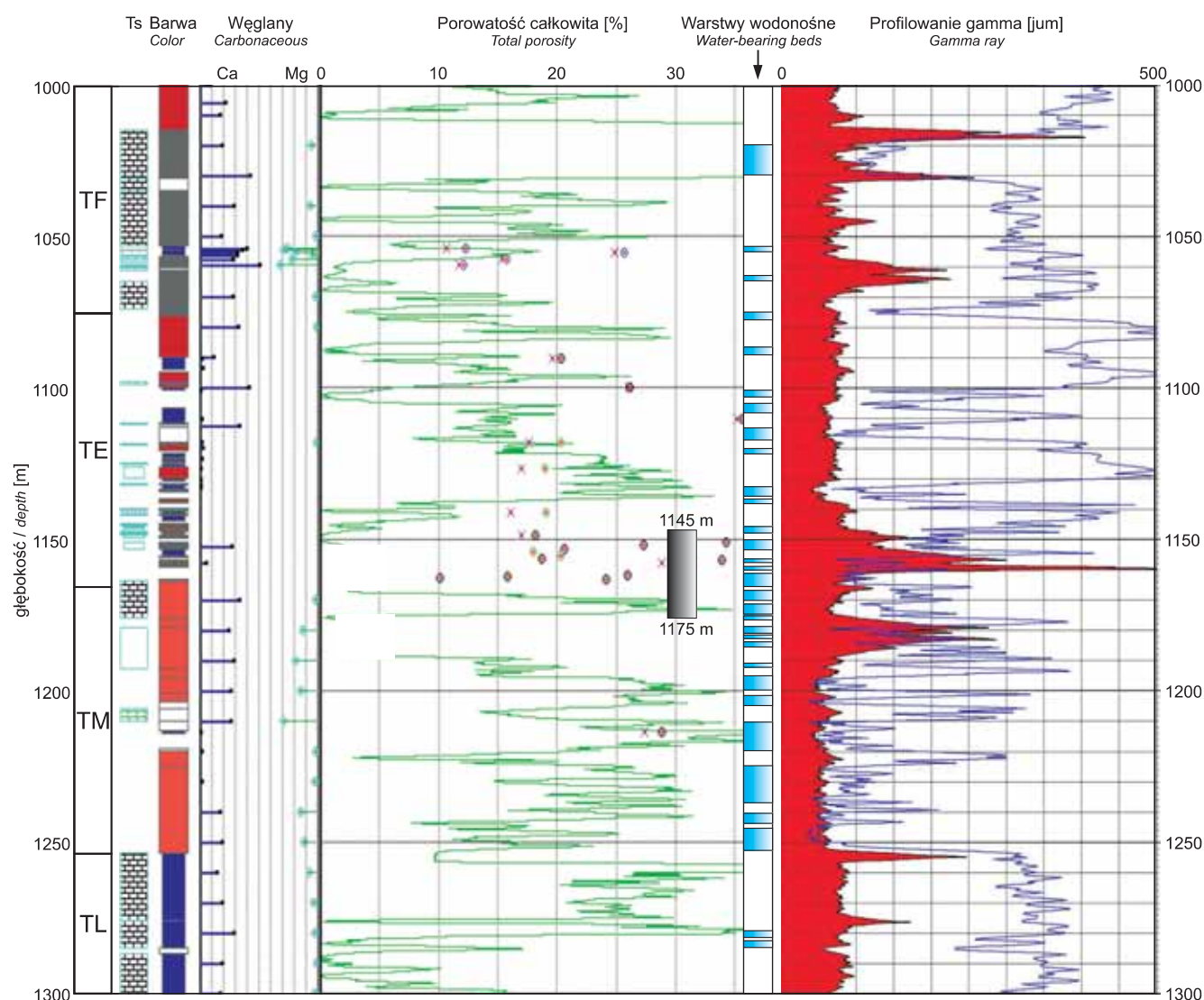


Fig. 44. Zestawienie wybranych właściwości geofizyczno-petrograficznych strefy mineralizacji uranowej z wydzielonym profilem warstw wodonośnych

Pokazano interwał wykonanych badań hydrogeologicznych, Ts – typ lepszca, Ca – zawartość kalcytu na podstawie badań laboratoryjnych, Mg – zawartość dolomitu; kółkami oraz krzyżykami oznaczono wyniki badań laboratoryjnych, odpowiednio: porowatości całkowitej oraz efektywnej; krzywa ciągła – porowatość całkowita obliczona na podstawie danych geofizycznych

Some petrophysical parameters for uranium bearing interval of profile with hydrogeological profile condition

It was shown investigated interval, Ts – type of matrix, Ca, Mg – respectively, calcium and dolomite content after lab investigation. Results of total and effective porosity, respectively circles and crosses. Continues log – total porosity calculated after geophysical data

przyływ wód zmineralizowanych sięgający $15 \text{ m}^3/\text{h}$, o mineralizacji około 32 g/dm^3 . Wynik ten potwierdza dobre właściwości filtracyjne piaskowców sygnalizowane zarówno wynikami badań geofizycznych, jak i wynikami badań laboratoryjnych. Warto podkreślić, że wykonane badania hydrogeologiczne oraz analizy właściwości petrofizycznej skał tworzących tę formację są pierwszymi tego typu badaniami wykonanymi w odniesieniu do formacji elbląskiej na omawianym obszarze.

Występowanie uranu związane jest zarówno ze strefami przepuszczalnymi, jak i nieprzepuszczalnymi. W całym interwale występowania mineralizacji obserwowana jest relatywnie wysoka i zmienna zawartość węglanów. Czynnikiem ten,

zdaniem autora (Szewczyk, 1987) ma istotne znaczenie w procesie migracji i akumulacji uranu.

Obecność mineralizacji uranowej w profilu otworu wiertniczego Malbork IG 1 rozszerza obszar stwierdzonego jej występowania w kierunku zachodnim. Wyniki uzyskane w omawianym otworze wiertniczym, są ważnym elementem w procesie rozpoznania warunków występowania mineralizacji uranowej na obszarze obniżenia bałtyckiego. Dobre właściwości filtracyjne stanowią pozytywne świadectwo potwierdzające możliwości ewentualnej eksploatacji w przyszłości hipotetycznych złóż uranu (po ich wykartowaniu) – metodą podziemnego ługowania uranu.

PODSUMOWANIE

Wyniki badań geofizycznych wykonanych w otworze wiertniczym Malbork IG 1 stanowią istotny element rozpoznania utworów piętra osadowego na badanym obszarze. Szczególnie cenne są wyniki m.in. rozpoznania wystąpień mineralizacji uranowej w obrębie utworów triasu dolnego. Należy podkreślić, że stopień szczegółowości wykonanych prac interpretacyjnych, a także postawiony cel badawczy, tj. uzyskania podstawowej wiedzy na temat uproszczonego modelu

litologiczno-petrofizycznego skał występujących w profilu, pozwalają na traktowanie uzyskanych wyników jako wstępnego wariantu interpretacyjnego. Niezbędny dalszy rozwój metodyki prac interpretacyjnych ukierunkowanych na kompleksową interpretację archiwalnych danych geofizycznych umożliwi uzyskanie sukcesywnego, pełniejszego rozpoznania profilu wiercenia Malbork IG 1.

Lidia DZIEWIŃSKA, Waldemar JÓŹWIAK

WYNIKI PROFILOWANIA PRĘDKOŚCI ŚREDNICH

W otworze wiertniczym Malbork IG 1 prace pomiarowe prędkości średnich wykonała Grupa Sejsmometrii Wiertniczej PGNiG Geofizyka Toruń w roku 1988. Pomiary wykonano metodą bezdynamitową, aparaturą CS-5G i sondą geofonową przy interwale pomiarowym 15 m . Prace prowadzono z 3 punktów wzbudzenia (PS) usytuowanych w sposób następujący:

PS 1 $d = 100 \text{ m}$ $A = 70^\circ$ $N = 0 \text{ m}$

PS 2 $d = 50 \text{ m}$ $A = 190^\circ$ $N = 0 \text{ m}$

PS 3 $d = 50 \text{ m}$ $A = 350^\circ$ $N = 0 \text{ m}$

gdzie: d – odległość punktu strzałowego od głębokiego otworu

A – azymut kierunku otwór – PS

N – wysokość PS w stosunku do wylotu głębokiego otworu.

Pomiarem objęto odcinek otworu od 50 do 3660 m . Całkowita głębokość otworu wynosi 3680 m . Można zatem przyjąć, że profilowanie prędkości średnich obejmuje cały zakres głębokości wiercenia i dotyczy utworów kenozoiku, kredy, jury, triasu, cechsztynu, syluru, ordowiku, kambru i proterozoiku.

Redukcję głębokości pomiaru wykonano, zakładając jednorodność ośrodka od punktu wybuchu do głębokości zanurzenia geofonu, a więc przy założeniu prostoliniowego przebiegu promienia sejsmicznego.

Przy interpretacji uwzględniono również wyniki profilowania akustycznego skalibrowanego wg holografu średnich prędkości w interwałach: $255,0\text{--}1407,5 \text{ m}$ i $1500,0\text{--}3677,5 \text{ m}$.

Do obliczenia krzywej prędkości średnich przyjęto jako poziom odniesienia poziom pomiaru, czyli 0 m n.p.m. przy wysokości otworu wynoszącej 6 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

h – głębokość zanurzenia geofonu głębinowego

Δh – różnica głębokości między h_{po} i poziomem odniesienia w metrach

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

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

gdzie: t_p – czas poprawiony

t_{obs} – czas obserwowany

Δt_h – poprawka wynikająca z głębokości punktu wzbudzenia, poziomu odniesienia, miąższości strefy małych prędkości, prędkości w tej strefie i prędkości pod nią.

Czas zredukowany dla poszczególnych punktów wzbudzenia liczone 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), jako średnią arytmetyczną pomiarów czasu zredukowanego z poszczególnych punktów wzbudzenia.

Wartości h_r i t_r posłużyły do obliczenia prędkości średnich (V_{sr}) zgodnie ze wzorem:

$$V_{sr} = \frac{h_r}{t_r}$$

Wszystkie wartości h_r , t_r , V_{sr} zestawiono w tabeli 15. Obliczenia wykonano przy pomocy odpowiedniego programu komputerowego.

Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do konstrukcji krzywych prędkości średnich (fig. 45A) i hodografu pionowego (fig. 45B). Do wykreślenia krzywej prędkości średnich wykorzystano wartości uśrednione z poszczególnych punktów wzbudzenia. Przedstawiony na figurze 45B hodograf pionowy wskazuje na zależność między wzrostem głębokości a czasem rejestracji.

W celu wyznaczenia poszczególnych kompleksów prędkościowych, a szczególnie ich średnich wartości zastosowano sposób 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.

Podaną metodę 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 w celu wyznaczenia stref maksymalnych gradientów prędkości, które odpowiadają granicom prędkościowym poszczególnych kompleksów.

Krzywe prędkości obliczono wyrównując pomiary czasu zredukowane 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 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 zmniejszone zostają przypadkowe skoki wartości, spowodowane ich zaokrągleniem do 1 ms lub błędami pomiarowymi. Kolejne powtarzanie wymienionych wyżej operacji powoduje 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 wieku 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 V_w (prędkość wygładzona), V_i (prędkość interwałowa), V_k (prędkość kompleksowa) obliczonych z pomiarów czasu wygładzonego zawiera tabela 16. Krzywe prędkości wygładzonych, interwałowych i kompleksowych przedstawiono na figurze 46. Wykresy powyższe wzbogacono profilem stratygraficznym wierceń, co umożliwi bezpośrednie powiązanie zmian prędkości z kompleksami stratygraficzno-litologicznymi przekroju geologicznego w otworze oraz z refleksami sejsmicznymi.

Zasadniczy wynik pomiarów profilowania prędkości, jakim jest hodograf pionowy, pokazuje jednostajny wzrost prędkości z głębokością. Lekkie załamanie na krzywej występuje na granicy utworów kredy i jury, natomiast wyraźniejsze przecięcie krzywej występuje tylko na granicy triasu i permu, gdzie dla tych samych różnic czasu obserwuje się większe zmiany głębokości. Związane to jest ze wzrostem prędkości przebiegu fali w utworach cechsztynu. Profilowanie prędkości średnich w otworze wiertniczym Malbork IG 1 obejmuje utwory kenozoiku, kredy, zredukowane utwory jury, skały triasu, permu, miąższe utwory syluru i, o niewielkiej miąższości, ordowiku oraz warstwy kambru środkowego i dolnego.

Skały kenozoiku o miąższości około 100 m posiadają stałą prędkość kompleksową 2000 m/s. W następnym interwale około 500 m notuje się średnią prędkość kompleksową 2150 m/s, która odpowiada utworom kredy górnej o wykształceniu węglanowo-ilasto-piaszczystym i mułowcowym. Na tle prawie stałej wartości, dający się zaobserwować na krzywej prędkości interwałowej, wzrost prędkości do 2250 m/s na głębokości około 500 m odpowiada utworom turonu. Natomiast na wykresie prędkości kompleksowej, wyraźny wzrost prędkości do wartości 2400 m/s ma miejsce w utworach cenomanu i wyznacza kompleks obejmujący też część górną osadów jury górnej (kimeryd).

W interwale występowania utworów jury śledzi się niewielkie anomalie prędkościowe. Następna podwyższona wartość średnia 2500 m/s, związana ze wzrostem procentowej

Tabela 15

Zestawienie wartości głębokości (h), czasu zredukowanego (t_r) i prędkości średnich (V_{sr})Depth (h), reduced time (t_r) and average velocity (V_{sr}) values

h [m]	t_r 1 [s]	t_r 2 [s]	t_r [s]	t_r	V_{sr} [m/s]
54	0,0000	0,0320	0,0000	0,0320	1688
69	0,0000	0,0400	0,0000	0,0400	1725
84	0,0430	0,0470	0,0000	0,0450	1867
99	0,0500	0,0530	0,0000	0,0515	1922
114	0,0580	0,0590	0,0000	0,0585	1949
129	0,0640	0,0650	0,0000	0,0645	2000
144	0,0700	0,0700	0,0000	0,0700	2057
159	0,0770	0,0760	0,0000	0,0765	2078
174	0,0840	0,0820	0,0000	0,0830	2096
189	0,0920	0,0910	0,0000	0,0915	2066
204	0,0990	0,0990	0,0000	0,0990	2061
219	0,1060	0,1070	0,1050	0,1060	2066
234	0,1120	0,1150	0,1120	0,1130	2071
249	0,1220	0,1230	0,1190	0,1213	2052
264	0,1280	0,1300	0,1280	0,1287	2052
279	0,1340	0,1380	0,1360	0,1360	2051
294	0,1420	0,1450	0,1430	0,1433	2051
309	0,1500	0,1520	0,1510	0,1510	2046
324	0,1570	0,1600	0,1580	0,1583	2046
339	0,1640	0,1690	0,1650	0,1660	2042
354	0,1720	0,1760	0,1720	0,1733	2042
369	0,1780	0,1830	0,1780	0,1797	2054
384	0,1850	0,1890	0,1850	0,1863	2061
399	0,1930	0,1950	0,1930	0,1937	2060
414	0,2010	0,2020	0,2000	0,2010	2060
429	0,2100	0,2090	0,2060	0,2083	2059
444	0,2170	0,2170	0,2140	0,2160	2056
459	0,2220	0,2240	0,2210	0,2223	2064
474	0,2290	0,2310	0,2280	0,2293	2067
489	0,2350	0,2390	0,2350	0,2363	2069
504	0,2410	0,2460	0,2410	0,2427	2077
519	0,2470	0,2530	0,2480	0,2493	2082
534	0,2540	0,2590	0,2550	0,2560	2086
549	0,2600	0,2650	0,2620	0,2623	2093
564	0,2670	0,2710	0,2690	0,2690	2097
579	0,2730	0,2760	0,2760	0,2750	2105
594	0,2810	0,2810	0,2820	0,2813	2111
609	0,2870	0,2870	0,2880	0,2873	2119
624	0,2940	0,2930	0,2940	0,2937	2125
639	0,3000	0,2990	0,2990	0,2993	2135

h [m]	t_r 1 [s]	t_r 2 [s]	t_r [s]	t_r	V_{sr} [m/s]
654	0,3050	0,3060	0,3050	0,3053	2142
669	0,3110	0,3130	0,3120	0,3120	2144
684	0,3160	0,3200	0,3190	0,3183	2149
699	0,3220	0,3260	0,3250	0,3243	2155
714	0,3280	0,3320	0,3310	0,3303	2161
729	0,3350	0,3380	0,3370	0,3367	2165
744	0,3420	0,3440	0,3430	0,3430	2169
759	0,3480	0,3510	0,3500	0,3497	2171
774	0,3550	0,3570	0,3560	0,3560	2174
789	0,3600	0,3620	0,3620	0,3613	2184
804	0,3660	0,3680	0,3680	0,3673	2189
819	0,3720	0,3730	0,3740	0,3730	2196
834	0,3770	0,3790	0,3790	0,3783	2204
849	0,3820	0,3850	0,3840	0,3837	2213
864	0,3870	0,3910	0,3900	0,3893	2219
879	0,3930	0,3960	0,3950	0,3947	2227
894	0,3990	0,4020	0,4010	0,4007	2231
909	0,4050	0,4090	0,4070	0,4070	2233
924	0,4120	0,4160	0,4130	0,4137	2234
939	0,4180	0,4230	0,4190	0,4200	2236
954	0,4230	0,4290	0,4260	0,4260	2239
969	0,4290	0,4350	0,4320	0,4320	2243
984	0,4350	0,4410	0,4380	0,4380	2247
999	0,4420	0,4470	0,4440	0,4443	2248
1014	0,4460	0,4520	0,4500	0,4493	2257
1029	0,4530	0,4570	0,4560	0,4553	2260
1044	0,4590	0,4620	0,4620	0,4610	2265
1059	0,4650	0,4670	0,4670	0,4663	2271
1074	0,4710	0,4720	0,4720	0,4717	2277
1089	0,4770	0,4760	0,4770	0,4767	2285
1104	0,4830	0,4810	0,4820	0,4820	2290
1119	0,4890	0,4870	0,4870	0,4877	2295
1134	0,4940	0,4930	0,4920	0,4930	2300
1149	0,4990	0,4990	0,4970	0,4983	2306
1164	0,5040	0,5050	0,5030	0,5040	2310
1179	0,5090	0,5110	0,5090	0,5097	2313
1194	0,5140	0,5160	0,5150	0,5150	2318
1209	0,5180	0,5210	0,5210	0,5200	2325
1224	0,5230	0,5260	0,5260	0,5250	2331
1239	0,5280	0,5310	0,5310	0,5300	2338

Tabela 15 cd.

h [m]	t_r 1 [s]	t_r 2 [s]	t_r [s]	t_r	V_{sr} [m/s]
1254	0,5330	0,5360	0,5360	0,5350	2344
1269	0,5380	0,5410	0,5420	0,5403	2349
1284	0,5430	0,5460	0,5470	0,5453	2355
1299	0,5480	0,5510	0,5520	0,5503	2360
1314	0,5530	0,5560	0,5570	0,5553	2366
1329	0,5580	0,5610	0,5610	0,5600	2373
1344	0,5630	0,5660	0,5660	0,5650	2379
1359	0,5680	0,5710	0,5710	0,5700	2384
1374	0,5730	0,5760	0,5760	0,5750	2390
1389	0,5780	0,5810	0,5810	0,5800	2395
1404	0,5830	0,5860	0,5860	0,5850	2400
1419	0,5880	0,5910	0,5910	0,5900	2405
1434	0,5930	0,5960	0,5960	0,5950	2410
1449	0,5980	0,6000	0,6010	0,5997	2416
1464	0,6020	0,6040	0,6060	0,6040	2424
1479	0,6080	0,6080	0,6110	0,6090	2429
1494	0,6130	0,6120	0,6160	0,6137	2435
1509	0,6180	0,6160	0,6210	0,6183	2440
1524	0,6220	0,6210	0,6260	0,6230	2446
1539	0,6270	0,6260	0,6300	0,6277	2452
1554	0,6310	0,6300	0,6340	0,6317	2460
1569	0,6350	0,6340	0,6380	0,6357	2468
1584	0,6380	0,6380	0,6420	0,6393	2478
1599	0,6410	0,6420	0,6450	0,6427	2488
1614	0,6460	0,6460	0,6480	0,6467	2496
1629	0,6490	0,6500	0,6520	0,6503	2505
1644	0,6520	0,6540	0,6550	0,6537	2515
1659	0,6550	0,6580	0,6590	0,6573	2524
1674	0,6580	0,6620	0,6630	0,6610	2533
1689	0,6630	0,6660	0,6660	0,6650	2540
1704	0,6670	0,6690	0,6690	0,6683	2550
1719	0,6700	0,6720	0,6720	0,6713	2561
1734	0,6730	0,6750	0,6750	0,6743	2571
1749	0,6760	0,6780	0,6780	0,6773	2582
1764	0,6790	0,6820	0,6810	0,6807	2592
1779	0,6820	0,6850	0,6840	0,6837	2602
1794	0,6850	0,6880	0,6870	0,6867	2613
1809	0,6880	0,6910	0,6900	0,6897	2623
1824	0,6910	0,6940	0,6930	0,6927	2633
1839	0,6940	0,6970	0,6960	0,6957	2644
1854	0,6970	0,7000	0,6990	0,6987	2654
1869	0,7000	0,7030	0,7030	0,7020	2662
1884	0,7040	0,7060	0,7060	0,7053	2671

h [m]	t_r 1 [s]	t_r 2 [s]	t_r [s]	t_r	V_{sr} [m/s]
1899	0,7070	0,7090	0,7090	0,7083	2681
1914	0,7110	0,7130	0,7130	0,7123	2687
1929	0,7140	0,7160	0,7150	0,7150	2698
1944	0,7170	0,7190	0,7180	0,7180	2708
1959	0,7190	0,7220	0,7200	0,7203	2720
1974	0,7210	0,7260	0,7220	0,7230	2730
1989	0,7240	0,7300	0,7260	0,7267	2737
2004	0,7270	0,7330	0,7290	0,7297	2746
2019	0,7300	0,7360	0,7330	0,7330	2754
2034	0,7340	0,7390	0,7370	0,7367	2761
2049	0,7390	0,7430	0,7420	0,7413	2764
2064	0,7440	0,7470	0,7470	0,7460	2767
2079	0,7490	0,7510	0,7520	0,7507	2770
2094	0,7530	0,7550	0,7570	0,7550	2774
2109	0,7580	0,7590	0,7610	0,7593	2777
2124	0,7630	0,7640	0,7650	0,7640	2780
2139	0,7670	0,7690	0,7690	0,7683	2784
2154	0,7710	0,7730	0,7730	0,7723	2789
2169	0,7750	0,7770	0,7770	0,7763	2794
2184	0,7790	0,7810	0,7810	0,7803	2799
2199	0,7830	0,7850	0,7850	0,7843	2804
2214	0,7870	0,7910	0,7890	0,7890	2806
2229	0,7910	0,7960	0,7930	0,7933	2810
2244	0,7950	0,8000	0,7970	0,7973	2814
2259	0,8000	0,8040	0,8020	0,8020	2817
2274	0,8050	0,8090	0,8070	0,8070	2818
2289	0,8100	0,8140	0,8120	0,8120	2819
2304	0,8150	0,8180	0,8170	0,8167	2821
2319	0,8190	0,8220	0,8210	0,8207	2826
2334	0,8230	0,8260	0,8250	0,8247	2830
2349	0,8270	0,8300	0,8290	0,8287	2835
2364	0,8310	0,8340	0,8330	0,8327	2839
2379	0,8350	0,8380	0,8370	0,8367	2843
2394	0,8390	0,8420	0,8410	0,8407	2848
2409	0,8430	0,8460	0,8450	0,8447	2852
2424	0,8470	0,8500	0,8490	0,8487	2856
2439	0,8510	0,8540	0,8530	0,8527	2860
2454	0,8550	0,8580	0,8570	0,8567	2865
2469	0,8590	0,8620	0,8610	0,8607	2869
2484	0,8630	0,8660	0,8650	0,8647	2873
2499	0,8670	0,8700	0,8690	0,8687	2877
2514	0,8700	0,8740	0,8720	0,8720	2883
2529	0,8740	0,8780	0,8760	0,8760	2887

Tabela 15 cd.

h [m]	t_r 1 [s]	t_r 2 [s]	t_r [s]	t_r	V_{sr} [m/s]
2544	0,8780	0,8820	0,8800	0,8800	2891
2559	0,8820	0,8860	0,8840	0,8840	2895
2574	0,8860	0,8900	0,8880	0,8880	2899
2589	0,8900	0,8940	0,8920	0,8920	2902
2604	0,8940	0,8970	0,8960	0,8957	2907
2619	0,8980	0,9000	0,9000	0,8993	2912
2634	0,9010	0,9030	0,9030	0,9023	2919
2649	0,9040	0,9060	0,9060	0,9053	2926
2664	0,9070	0,9090	0,9090	0,9083	2933
2679	0,9100	0,9120	0,9120	0,9113	2940
2694	0,9130	0,9160	0,9150	0,9147	2945
2709	0,9170	0,9200	0,9190	0,9187	2949
2724	0,9210	0,9230	0,9230	0,9223	2953
2739	0,9250	0,9260	0,9270	0,9260	2958
2754	0,9290	0,9300	0,9320	0,9303	2960
2769	0,9330	0,9340	0,9360	0,9343	2964
2784	0,9370	0,9380	0,9390	0,9380	2968
2799	0,9410	0,9420	0,9430	0,9420	2971
2814	0,9450	0,9460	0,9470	0,9460	2975
2829	0,9490	0,9500	0,9510	0,9500	2978
2844	0,9530	0,9540	0,9550	0,9540	2981
2859	0,9570	0,9580	0,9590	0,9580	2984
2874	0,9600	0,9610	0,9620	0,9610	2991
2889	0,9630	0,9640	0,9650	0,9640	2997
2904	0,9670	0,9670	0,9680	0,9673	3002
2919	0,9710	0,9710	0,9720	0,9713	3005
2934	0,9740	0,9750	0,9760	0,9750	3009
2949	0,9780	0,9790	0,9800	0,9790	3012
2964	0,9820	0,9830	0,9840	0,9830	3015
2979	0,9860	0,9870	0,9880	0,9870	3018
2994	0,9900	0,9910	0,9920	0,9910	3021
3009	0,9940	0,9950	0,9960	0,9950	3024
3024	0,9970	0,9990	0,9990	0,9983	3029
3039	1,0000	1,0030	1,0020	1,0017	3034
3054	1,0030	1,0070	1,0060	1,0053	3038
3069	1,0070	1,0100	1,0090	1,0087	3043
3084	1,0110	1,0130	1,0130	1,0123	3046
3099	1,0140	1,0160	1,0160	1,0153	3052

h [m]	t_r 1 [s]	t_r 2 [s]	t_r [s]	t_r	V_{sr} [m/s]
3114	1,0170	1,0190	1,0190	1,0183	3058
3129	1,0210	1,0230	1,0220	1,0220	3062
3144	1,0240	1,0270	1,0260	1,0257	3065
3159	1,0270	1,0310	1,0300	1,0293	3069
3174	1,0300	1,0340	1,0340	1,0327	3074
3189	1,0340	1,0370	1,0380	1,0363	3077
3204	1,0370	1,0400	1,0420	1,0397	3082
3219	1,0400	1,0430	1,0450	1,0427	3087
3234	1,0440	1,0470	1,0480	1,0463	3091
3249	1,0470	1,0510	1,0510	1,0497	3095
3264	1,0510	1,0550	1,0540	1,0533	3099
3279	1,0550	1,0590	1,0580	1,0573	3101
3294	1,0590	1,0620	1,0620	1,0610	3105
3309	1,0620	1,0650	1,0650	1,0640	3110
3324	1,0650	1,0680	1,0680	1,0670	3115
3339	1,0680	1,0710	1,0710	1,0700	3121
3354	1,0710	1,0740	1,0750	1,0733	3125
3369	1,0750	1,0760	1,0790	1,0767	3129
3384	1,0790	1,0780	1,0820	1,0797	3134
3399	1,0830	1,0810	1,0860	1,0833	3138
3414	1,0860	1,0840	1,0890	1,0863	3143
3429	1,0890	1,0870	1,0920	1,0893	3148
3444	1,0920	1,0900	1,0950	1,0923	3153
3459	1,0950	1,0930	1,0990	1,0957	3157
3474	1,0990	1,0960	1,1020	1,0990	3161
3489	1,1020	1,0990	1,1040	1,1017	3167
3504	1,1050	1,1030	1,1070	1,1050	3171
3519	1,1080	1,1060	1,1100	1,1080	3176
3534	1,1110	1,1090	1,1130	1,1110	3181
3549	1,1140	1,1130	1,1160	1,1143	3185
3564	1,1170	1,1170	1,1190	1,1177	3189
3579	1,1200	1,1200	1,1220	1,1207	3194
3594	1,1230	1,1240	1,1250	1,1240	3198
3609	1,1260	1,1270	1,1280	1,1270	3202
3624	1,1290	1,1310	1,1310	1,1303	3206
3639	1,1320	1,1340	1,1340	1,1333	3211
3654	1,1350	1,1380	1,1370	1,1367	3215

Tabela 16

Zestawienie wartości prędkości interwałowej (V_i), prędkości kompleksowej (V_k) i prędkości wygładzonej (V_w)

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]
20	1981	2001	—
40	1981	2001	1951
60	1981	2001	1999
80	1981	2001	2053
100	1981	2001	2102
120	2133	2123	2136
140	2133	2123	2149
160	2133	2123	2142
180	2133	2123	2120
200	2133	2123	2093
220	2050	2123	2067
240	2050	2132	2049
260	2050	2132	2039
280	2050	2132	2038
300	2050	2132	2044
320	2078	2132	2055
340	2078	2132	2070
360	2078	2132	2085
380	2078	2132	2101
400	2078	2132	2118
420	2172	2132	2136
440	2172	2132	2158
460	2172	2132	2183
480	2172	2132	2212
500	2172	2132	2244
520	2323	2132	2277
540	2323	2132	2310
560	2323	2132	2341
580	2323	2398	2368
600	2323	2398	2390
620	2417	2398	2406
640	2417	2398	2415
660	2417	2398	2422
680	2417	2398	2427
700	2417	2474	2435
720	2483	2474	2448
740	2483	2474	2468
760	2483	2474	2493
780	2483	2474	2520
800	2483	2474	2546
820	2557	2557	2562
840	2557	2557	2568
860	2557	2557	2561
880	2557	2557	2547

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
900	2557	2557	2531
920	2537	2564	2521
940	2537	2564	2521
960	2537	2564	2535
980	2537	2564	2560
1000	2537	2564	2595
1020	2687	2564	2634
1040	2687	2564	2674
1060	2687	2745	2709
1080	2687	2745	2737
1100	2687	2745	2760
1120	2809	2745	2779
1140	2809	2745	2797
1160	2809	2856	2817
1180	2809	2856	2841
1200	2809	2856	2868
1220	2936	2856	2897
1240	2936	2856	2925
1260	2936	2988	2951
1280	2936	2988	2974
1300	2936	2988	2992
1320	3031	2988	3008
1340	3031	2988	3022
1360	3031	2988	3037
1380	3031	3282	3055
1400	3031	3282	3078
1420	3182	3282	3108
1440	3182	3282	3148
1460	3182	3282	3199
1480	3182	3282	3265
1500	3182	3282	3345
1520	3610	3282	3442
1540	3610	3282	3552
1560	3610	3282	3672
1580	3610	3282	3794
1600	3610	4492	3914
1620	4182	4492	4028
1640	4182	4492	4135
1660	4182	4492	4240
1680	4182	4492	4346
1700	4182	4492	4452
1720	4673	4492	4556
1740	4673	4492	4651
1760	4673	4492	4729

Tabela 16 cd.

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
1780	4673	4492	4784
1800	4673	4492	4815
1820	4819	4492	4826
1840	4819	4492	4826
1860	4819	4492	4819
1880	4819	4492	4810
1900	4819	4492	4792
1920	4580	4492	4753
1940	4580	4492	4679
1960	4580	4492	4559
1980	4580	4492	4396
2000	4580	4492	4208
2020	3798	4492	4017
2040	3798	3634	3847
2060	3798	3634	3711
2080	3798	3634	3614
2100	3798	3634	3554
2120	3505	3634	3524
2140	3505	3634	3510
2160	3505	3634	3500
2180	3505	3481	3486
2200	3505	3481	3467
2220	3440	3481	3446
2240	3440	3481	3431
2260	3440	3481	3428
2280	3440	3481	3441
2300	3440	3481	3474
2320	3598	3481	3520
2340	3598	3481	3574
2360	3598	3481	3628
2380	3598	3741	3676
2400	3598	3741	3716
2420	3787	3741	3749
2440	3787	3741	3776
2460	3787	3741	3800
2480	3787	3741	3824
2500	3787	3988	3854
2520	3980	3988	3892
2540	3980	3988	3940
2560	3980	3988	4003
2580	3980	3988	4078
2600	3980	3988	4157
2620	4242	3988	4226
2640	4242	4200	4268
2660	4242	4200	4273
2680	4242	4200	4238
2700	4242	4200	4174

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
2720	4015	4200	4097
2740	4015	4200	4026
2760	4015	3971	3973
2780	4015	3971	3946
2800	4015	3971	3945
2820	4005	3971	3965
2840	4005	3971	3995
2860	4005	4041	4023
2880	4005	4041	4042
2900	4005	4041	4046
2920	4041	4041	4039
2940	4041	4041	4031
2960	4041	4103	4033
2980	4041	4103	4050
3000	4041	4103	4086
3020	4217	4103	4137
3040	4217	4103	4195
3060	4217	4103	4250
3080	4217	4327	4296
3100	4217	4327	4326
3120	4343	4327	4341
3140	4343	4327	4346
3160	4343	4327	4345
3180	4343	4327	4343
3200	4343	4417	4343
3220	4387	4417	4349
3240	4387	4417	4364
3260	4387	4417	4392
3280	4387	4417	4431
3300	4387	4417	4480
3320	4604	4417	4533
3340	4604	4417	4585
3360	4604	4735	4632
3380	4604	4735	4673
3400	4604	4735	4708
3420	4759	4735	4735
3440	4759	4735	4757
3460	4759	4735	4771
3480	4759	4735	4778
3500	4759	4735	4780
3520	4766	4735	4776
3540	4766	4735	4769
3560	4766	4735	4761
3580	4766	4735	4756
3600	4766	4680	4753
3620	4700	4680	4752
3640	4700	4680	4700

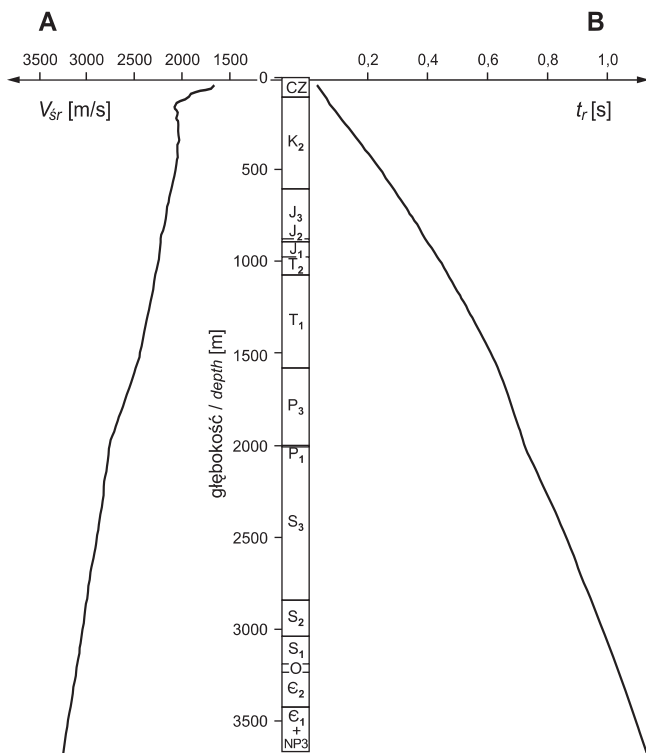


Fig. 45. Wykres prędkości średnich (A) i hodograf pionowy (B) (poz. odn. 0 m n.p.m.)

t_r – średni czas zredukowany, V_{sr} – prędkość średnia

Average seismic velocity (A) and travel-time curve (B)
(reference level 0 m a.s.l.)

t_r – average reduced time, V_{sr} – average velocity

zawartości węglanów, obejmuje warstwy jury górnej (oksford), środkowej i dolnej. Dopiero na głębokości około 1000 m, można zauważyć większą zmianę prędkości odpowiadającą granicy utworów jury i triasu. W mułowcowo-ila-tych lub piaszczystych osadach triasu obserwuje się stopniowy schodkowy wzrost wartości średniej od 2800 do 3300 m/s wydzielający kilka kompleksów w zależności od przewagi danego typu skały.

Wykresy prędkościowe w miejscu kontaktu o podobnym składzie litologicznym utworów triasu dolnego z osadami stropowymi cechsztynu zachowują ciągły sposób przejścia. Cechsztyń reprezentowany przez osady cyklotemów PZ3, PZ2 i PZ1, o łącznej miąższości około 400 m i typowym wykształceniu siarczanowo-solnym wyznacza ośrodek o wysokiej prędkości kompleksowej około 4500 m/s. Zmienność litologiczna węglanowo-ewaporatowych cyklotemów manifestuje się szerokim zakresem zróżnicowania wartości prędkości interwałowej.

Na podkreślenie zasługuje obecność w obrębie cyklotemu Z1 serii o prędkości interwałowej dochodzącej do 4800 m/s, w przedziale zalegania poziomego anhydrytu dolnego. Granica obniżenia prędkości kompleksowej do wartości 3600 m/s wyznacza strop miększych osadów syluru, reprezentowanych głównie przez utwory ilasto-mułowcowe i skały węglanowe.

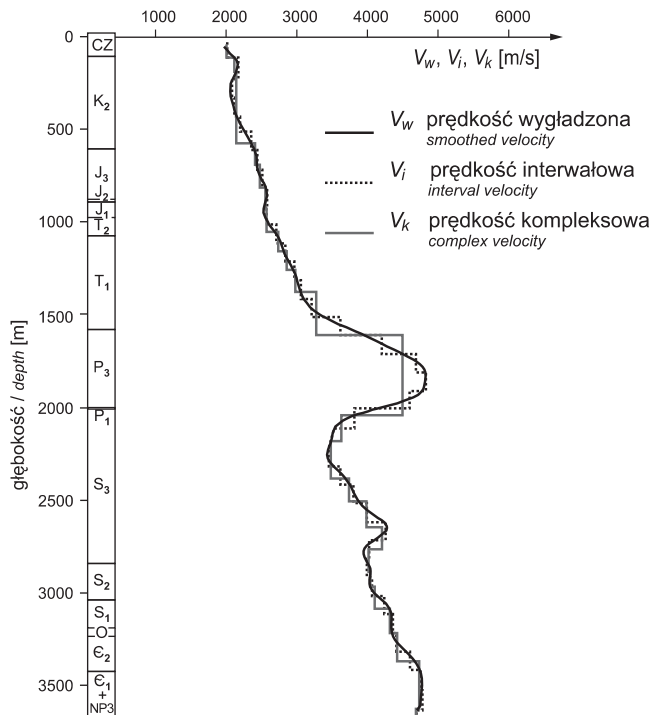


Fig. 46. Wykresy prędkości wygładzonych (V_w), interwałowych (V_i) i kompleksowych (V_k) (poz. odn. 0 m n.p.m.)

Smoothed velocity (V_w), interval velocity (V_i)
and complex velocity V_k
(reference level 0 m a.s.l.)

Od głębokości około 2350 m obserwuje się stopniowe podwyższanie prędkości interwałowych i kompleksowych, związane prawdopodobnie ze wzrostem obecności węglanów. Najwyraźniejsza anomalia zaznacza się na krzywej wartością około 4200 m/s. Następny kontrast prędkości podnosi wartość do 4350 m/s, która obejmuje dolne warstwy syluru i węglanowe skały ordowiku.

W przedziale głębokościowym odpowiadającym utworom kambru występują na krzywej kompleksowej dwie serie prędkościowe, o wartościach: 4400 i 4750 m/s, związane odpowiednio z górną i dolną częścią osadów. Na wykresie prędkości interwałowej występują w tym samym interwale głębokościowym trzy kompleksy. W obrębie utworów kambru środkowego pojawia się dodatkowa warstwa, o prędkości 4600 m/s. Wyżej wymienione zróżnicowania prędkości odwzorowują zmienność litologiczną piaszczysto-mułowcowo-ila-tych utworów kambru.

Z danych uzyskanych na podstawie profilowania prędkości średnich wynika, że granice prędkościowe występują na kontakcie utworów kredy i jury, w triasie dolnym, na kontakcie triasu i permu oraz permu i syluru. Otrzymane informacje wskazują, że szczególnie dobre warunki fizyczne rejestracji granic sejsmicznych mają miejsce w stropie i w spągu cechsztynu. Znajduje to potwierdzenie w pracach sejsmicznych,

w których rejestruje się odbicia związane z warstwami przystopowymi i przyspągowymi w cechszynie. Z analizy krzywych wynika, że zmiany prędkościowe można wydzielić też w osadach syluru oraz na granicy syluru i ordowiku oraz

w utworach kambru. Można zatem stwierdzić, że istnieją warunki do uzyskania w rejonie otworu horyzontów refleksyjnych z całego przedziału głębokościowego serii osadowej.

Leszek BOJARSKI, Andrzej SOKOŁOWSKI, Jakub SOKOŁOWSKI

WYNIKI OPRÓBOWANIA POZIOMÓW ZBIORNIKOWYCH

Celem opróbowania była charakterystyka poziomów zbiornikowych pod kątem możliwości zachowania się węglowodórów. Przeprowadzono kilka cykli badawczych poziomów kambru oraz opróbowano 2 poziomy zbiornikowe w utworach mezozoicznych (fig. 47).

Prace prowadzono zgodnie z projektem opróbowania sporządzonym przez L. Bojarskiego. Poziomy do badań wytypowali: L. Bojarski, J. Szewczyk i A. Witkowski. Opróbowania rurowymi próbnikami złoża przeprowadzała ekipa Działu Wierceń i Prób Zakładu Poszukiwania Nafty i Gazu w Wo-

łominie. Analizy wód wykonano w Laboratorium Zakładu Geochemii i Chemii Analitycznej, a analizy gazu w Zakładzie Geologii Ropy i Gazu Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie. Dwie próby gazu badano w laboratorium Zakładu Poszukiwania Nafty i Gazu w Wołominie. Próby ropy naftowej analizowano w Laboratorium Ruchowym Przedsiębiorstwa Poszukiwań Nafty i Gazu w Pile. Nadzór opróbowania pełnił L. Bojarski zaś dozór specjalistyczny w terenie sprawowali na zmianę W. Słupczyński, A. Sokołowski i Z. Sowiński.

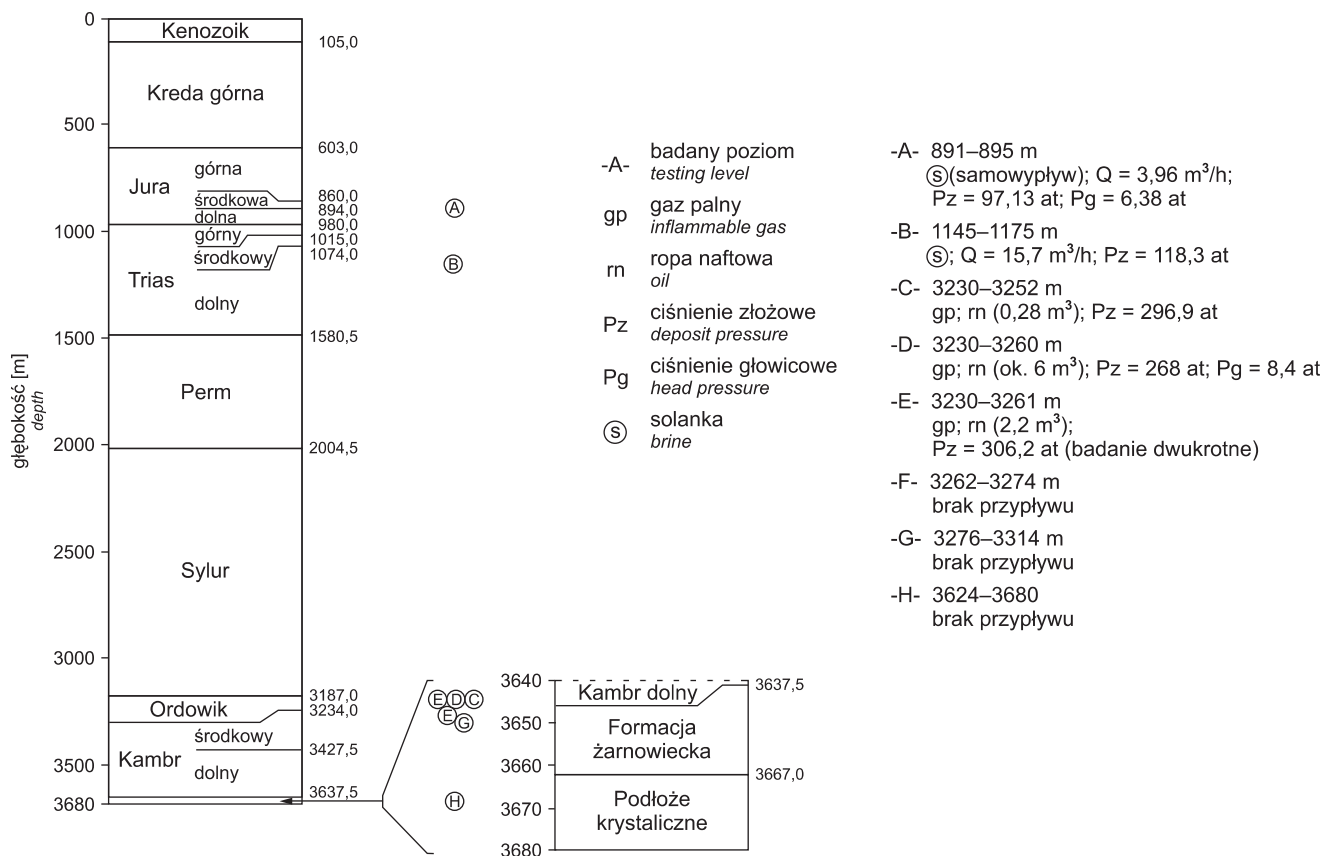


Fig. 47. Schemat opróbowania

Testing scheme

OPRÓBOWANIE W TRAKCIE WIERCENIA

Poziom 3230–3252 m; kambr środkowy – piaskowce drobnoziarniste, w stropie wapienie ordowiku (4 m)

Wynik:

- przyływ gazu palnego oraz 280 dm³ ropy naftowej,
- ciśnienie złożowe $P_z = 296,9$ at (wyekstrapolowane).

Badanie przeprowadzono w dn. 23–25.05.1988 r. przy użyciu rurowego próbnika złoża typu KJJ-2M-95. Opróbowano poziom odsłonięty pod butem rur Ø 168,3 mm. Badany poziom był przewiercany przy użyciu płuczki solno-skrobiowej, o gęstości 1,16–1,17 g/cm³, wiskozie 49, filtracji 1 i pH równym 10. Poziom opróbowano przy zastosowaniu zalewki, zalewając wodą 1012 m przewodu wiertniczego ponad próbnikiem. Uszczelniając próbnika zapięto w rurach Ø 168,3 mm. Opróbowanie przeprowadzono metodą dwukrotnego odcięcia przyływu (fig. 48):

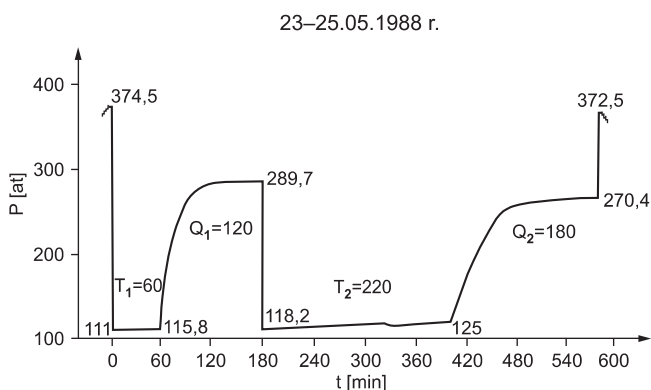


Fig. 48. Opróbowanie poziomu 3230–3252 m

Testing of 3230–3252 m interval

Tabela 17

**Skład chemiczny gazu pobranego
z głębokości 3230–3252 m
(Laboratorium PIG)**

Results of chemical analysis
of gas sampled at 3230–3252 m interval
(PGI Laboratory)

Składnik	Zawartość	
	[% obj.]	[g/Nm ³]
CH ₄	35,1552	252,1682
C ₂ H ₆	27,4356	371,0939
C ₃ H ₈	26,7371	534,5548
C ₄ H ₁₀	3,9595	105,9958
C ₄ H ₈	4,7226	126,1784
H ₂	0,1225	0,1101
CO ₂	1,8675	36,8943
Razem	100,0000	1426,9955

I okres przyływu: ciśnienie 111,0–115,8 at; czas 60 min,

I okres odbudowy ciśnienia: ciśnienie 115,8–289,7 at; czas 120 min,

II okres przyływu: ciśnienie 118,2–125,0 at; czas 220 min,

II okres odbudowy ciśnienia: ciśnienie 125,0–270,4 at; czas 180 min.

Po 120 min oczekiwania w II okresie przyływu uzyskano przyływ 280 dm³ ropy naftowej oraz gazu palnego w nieokreślonej ilości. Jest to gaz ziemny, gazolinowy, helowy (tab. 17 i 18). Objętość zalewki powiększyła się o 830 dm³. Badania wykazały, że opróbowany poziom charakteryzuje się słabymi właściwościami zbiornikowymi. Krzywa ciśnienia II cyklu po 120 min przyływu wykazuje zmniejszenie się wartości ciśnienia o 3 at, co świadczy o szybkiej szcerpywalności złoża.

Poziom 3230–3261 m; kambr środkowy – piaskowce drobnoziarniste, w stropie wapienie ordowiku (4 m)

Wynik:

- przyływ gazu palnego oraz 2,2 m³ ropy naftowej,
- ciśnienie złożowe $P_z = 306,2$ at (wyekstrapolowane).

Badanie przeprowadzono w dn. 28–29.05.1988 r. rurowym próbnikiem złoża typu KJJ-2M-95. Opróbowano poziom odsłonięty pod butem rur Ø168,3 mm. Badany poziom był przewiercany przy użyciu płuczki solno-skrobiowej o wiskozie 37, filtracji 4,5 i pH wynoszącym 8,5. Poziom opróbowano przy zastosowaniu zalewki, zalewając wodą 1012 m przewodu wiertniczego ponad próbnikiem. Uszczelniając

Tabela 18

**Skład chemiczny gazu pobranego
z głębokości 3230–3252 m
(Laboratorium ZPNiG Wołomin)**

Results of chemical analysis
of gas sampled at 3230–3252 m interval
(ZPNiG Wołomin Laboratory)

Składnik	Zawartość	
	[% obj.]	[g/Nm ³]
C ₁	70,576	506,03
C ₂	14,708	199,29
C ₃	7,416	148,99
i-C ₄	1,563	42,04
n-C ₄	2,093	56,55
=-C ₄	śląd	–
i-C ₅	0,532	18,37
n-C ₅	0,382	13,19
He	0,143	0,25
H ₂	śląd	–
CO ₂	0,033	0,65
N ₂	2,554	31,93
Razem	100,000	1017,29

próbnika zapięto w rurach Ø168,3 mm. Opróbowanie przeprowadzono metodą dwukrotnego odcięcia przyływu (fig. 49):

I okres przyływu: ciśnienie 110,7–113,6 at; czas 60 min,
I okres odbudowy ciśnienia: ciśnienie 113,6–291,6 at; czas 119 min,

II okres przyływu: ciśnienie 115,6–122,4 at; czas 240 min,
II okres odbudowy ciśnienia: ciśnienie 122,4–280,0 at; czas 241 min.

W wyniku opróbowania uzyskano przyływ gazu palnego oraz ropy naftowej w ilości nieokreślonej. Objętość zalewki powiększyła się o 680 dm³. Gaz przedostał się na powierzchnię po 160 min II okresu przyływu nie wyrzucając z przewodu zalewki. Gaz scharakteryzowano jako gaz ziemny, gazoli-

nowy, helowy (tab. 19 i 20): Skład chemiczny ropy przedstawia się następująco:

- gęstość (w temp. 20°C) 0,7908 g/cm³,
- części lotne (w temp. pokojowej) 33,35%,
- węglowodory nasycone 52,69%,
- węglowodory aromatyczne 5,85%,
- żywice 5,95%,
- asfalteny 2,16%.

Opróbowanie, przy zwiększonej miąższości w stosunku do opisanych poprzednio badań, potwierdziło słabe parametry zbiornikowe poziomu. Po 240 min przyływu krzywa odbudowy ciśnienia ma wyraźnie płaski kształt, a ciśnienie ustabilizowane w II cyklu jest niższe o 11,8 at od ciśnienia z okresu I odbudowy, co wskazuje na poziom szybko szczyptywalny.

Badanie przy wydłużonym czasie przyływu powtórzone w dniach 02–05.06.1988 r. rurowym próbnikiem złoża typu KJJ-2M-95. Opróbowano poziom odsłonięty pod butem rur Ø 168,3 mm na głębokości 3168 m. Poziom opróbowano przy zastosowaniu zalewki, zalewając wodą 1480 m przewodu wiertniczego ponad próbnikiem. Pozostałe parametry jak w poprzednim badaniu. Opróbowanie przeprowadzono metodą dwukrotnego odcięcia przyływu:

I okres przyływu: ciśnienie 154,9–154,9 at; czas 22 min,
I okres odbudowy ciśnienia: ciśnienie 154,9–296,0 at; czas 120 min,

II okres przyływu: ciśnienie 155,1–157,8 at; czas 2879 min,
II okres odbudowy ciśnienia: ciśnienie 157,8–263,2 at; czas 360 min.

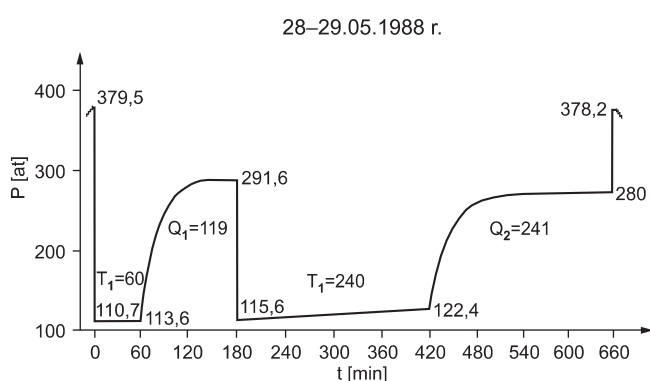


Fig. 49. Opróbowanie poziomu 3230–3261 m

Testing of 3230–3261 m interval

Tabela 19

Skład chemiczny gazu pobranego z głębokości 3230–3261 m (Laboratorium PIG, 29.05.1988 r.)

Results of chemical analysis of gas sampled at 3230–3261 m interval (PGI Laboratory, 29.05.1988)

Składnik	Zawartość	
	[% obj.]	[g/Nm ³]
CH ₄	29,6102	212,3939
C ₂ H ₆	21,6417	292,7256
C ₃ H ₈	22,2074	443,9925
C ₄ H ₁₀	3,7936	101,5546
C ₄ H ₈	5,9422	158,7636
C ₅ H ₁₂	1,5433	51,9274
C ₅ H ₁₀	1,3131	44,3092
H ₂	0,0869	0,0781
CO ₂	1,3367	26,4078
Ar	0,3669	6,5454
N ₂	12,1580	152,0601
Razem	100,0000	1490,7582

Tabela 20

Skład chemiczny gazu pobranego z głębokości 3230–3261 m (Laboratorium ZPNiG Wołomin, 29.05.1988 r.)

Results of chemical analysis of gas sampled at 3230–3261 m interval (ZPNiG Wołomin Laboratory, 29.05.1988)

Składnik	Zawartość	
	[% obj.]	[g/Nm ³]
C ₁	66,123	474,10
C ₂	16,309	220,99
C ₃	9,474	190,33
i-C ₄	1,617	43,50
n-C ₄	2,581	69,74
=-C ₄	0,025	0,65
i-C ₅	0,867	29,94
n-C ₅	0,804	27,76
He	0,141	0,25
H ₂	ślad	–
CO ₂	0,032	0,63
N ₂	2,027	25,34
Razem	100,000	1083,23

Podczas opróbowania uzyskano 2,2 m³ ropy naftowej oraz gaz palny w ilości nieokreślonej. Gaz określono jako gaz ziemny, gazolinowy, helowy (tab. 21, 22). Gaz przedostał się na

Tabela 21

**Skład chemiczny gazu pobranego
z głębokości 3230–3261 m
(Laboratorium PIG, 4.06.1988 r.)**

Results of chemical analysis
of gas sampled at 3230–3261 m interval
(PGI Laboratory, 4.06.1988)

Składnik	Zawartość	
	[% obj.]	[g/Nm ³]
CH ₄	49,4086	354,4078
C ₂ H ₆	18,8688	255,2193
C ₃ H ₈	14,6882	293,6611
C ₄ H ₁₀	2,4040	64,3550
C ₄ H ₈	3,9565	105,7097
H ₂	0,0245	0,0220
CO ₂	1,1476	22,6719
Ar	0,3058	5,4554
N ₂	9,1960	115,0143
Razem	100,0000	1216,5165

Tabela 22

**Skład chemiczny gazu pobranego
z głębokości 3230–3261 m
(Laboratorium ZPNiG Wołomin,
4.06.1988 r.)**

Results of chemical analysis
of gas sampled at 3230–3261 m interval
(ZPNiG Wołomin Laboratory, 4.06.1988)

Składnik	Zawartość	
	[% obj.]	[g/Nm ³]
C ₁	59,640	427,62
C ₂	18,725	253,72
C ₃	11,016	221,31
i-C ₄	2,419	65,07
n-C ₄	4,530	122,40
=-C ₄	0,046	1,19
i-C ₅	1,246	43,02
n-C ₅	0,931	32,15
i-C ₆	0,480	18,47
n-C ₆	0,300	11,54
He	0,102	0,18
H ₂	0,015	0,01
CO ₂	0,031	0,61
N ₂	0,519	6,49
Razem	100,000	1203,78

powierzchnię po 6 h oczekiwania na przypyływ II okresu przypyływu. Średni przypyływ ropy naftowej wynosił 0,045 m³/h. Skład chemiczny ropy naftowej przedstawiał się następująco:

- gęstość (w temp. 20°C) 0,7860 g/cm³,
- części lotne (w temp. pokojowej) 36,75%,
- węglowodory nasycone 54,51%,
- węglowodory aromatyczne 4,85%,
- żywice 2,98%
- asfalteny 0,91%.

Po 47 h i 59 min II okresu przypyływu krzywa odbudowy ciśnienia ma zdecydowanie połogi kształt, co świadczy o bardzo słabych parametrach zbiornikowych. Różnica ciśnienia I i II cyklu odbudowy, wynosząca 32,8 at, wskazuje na niewielki zasięg złoża. Współczynnik uszkodzenia złoża wynoszący 1,1 świadczy, że strefa przyodwiertowa nie była uszkodzona. Promień zasięgu badania wynosił 30,08 m.

Poziom 3262–3274 m; kambr środkowy – piaskowce drobnoziarniste

Wynik:

- brak przypyływu.

Badanie przeprowadzono 11–12.06.1988 r. rurowym próbnikiem złoża typu KJJ-2M-95. Opróbowano odsłonięte pod rurami Ø 168,3 mm piaskowce przewiercone przy użyciu płuczki o gęstości 1,09 g/cm³, wiskozie 35, filtracji 5 i pH 8,5. Uszczelniając próbnika zapięto poniżej rur Ø 168,3 mm na głębokości 3262 m. Zastosowano zalewkę, zalewając wodą 1985 m przewodu wiertniczego ponad próbnikiem. Opróbowanie przeprowadzono metodą jednokrotnego odcięcia przypyływu: I okres przypyływu: ciśnienie 201,8–201,8 at; czas 60 min, I okres odbudowy ciśnienia: ciśnienie 201,8–226,4 at; czas 121 min.

Wyniki opróbowania wskazują, że parametry zbiornikowe poziomu są bardzo niskie. Nie uzyskano przypyływu, a nieustabilizowana krzywa odbudowy ciśnienia uniemożliwia określenie ciśnienia złożowego. Nie stwierdzono objawów gazowania płuczki.

Poziom 3276–3314 m; kambr środkowy – piaskowce drobnoziarniste, przewarstwienia łowca

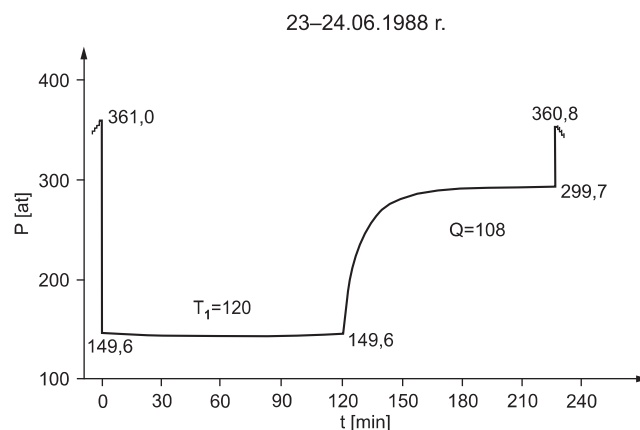


Fig. 50. Opróbowanie poziomu 3276–3314 m

Testing of 3276–3314 m interval

Wynik:

– brak przyływu

Poziom opróbowano rurowym próbnikiem złoża typu KJJ-2M-95 w dn. 23–24.06. 1988 r. Badano poziom odsłonięty pod rurami Ø 168,3 mm, który przewiercono przy użyciu płuczki, o następujących parametrach: gęstość 1,10 g/cm³, wiskoza 42, filtracja 4, pH 8,5, zapiaszczenie 0,5 i wytrzymałość strukturalna 0/0, Uszczelniacz próbniaka zapięto pod butem rur Ø 168,3 mm na głębokości 3276 m. Zastosowano zalewkę, zalewając wodą 1480 m przewodu wiertniczego po-

nad próbnikiem. Opróbowanie przeprowadzono metodą jednokrotnego odcięcia przyływu (fig. 50):

I okres przyływu: ciśnienie 149,6–149,6 at; czas 120 min,

I okres odbudowy ciśnienia: ciśnienie 149,6–299,7 at; czas 108 min.

Opróbowanie przeprowadzono po stwierdzeniu objawów „pocenia się” rdzenia solanką. Nie uzyskano przyływu płynu złożowego, co wskazuje na bardzo niską przepuszczalność opróbowanych skał.

OPRÓBOWANIE PO ZAKOŃCZENIU PRAC WIERTNICZYCH

Poziom 3624–3680 m; kambr dolny, seria żarnowiecka – piaskowce, poniżej 3662,7 m granitoidy

Wynik:

– brak przyływu.

Odsłonięty pod rurami poziom opróbowano dwukrotnie, w dn. 09–10.09 oraz 11–12.09.1988 r. przy użyciu próbniaka KJJ-2M-95 (fig. 51). Badany poziom przewiercono, stosując płuczkę o gęstości 1,11 g/cm³, wiskozie 52, filtracji 3, zasoleniu 48 i pH 8,5. Obydwa opróbowania były nieudane z powodu rozszczelnienia uszczelniacza podczas I okresu przyływów. Czas przyływu podczas pierwszego opróbowania wynosił 14 min, a podczas drugiego 18 min. Uszczelniacz próbniaka był zapięty podczas obydwu opróbowania na głębokości 3623 m. Zastosowano zalewkę – przewód wiertniczy był wypełniony wodą podczas pierwszego opróbowania na długości 1757 m, a podczas drugiego na długości 2022 m nad próbnikiem. W obu opróbowaniach manometry nie zarejestrowały wzrostu ciśnienia. Podczas badań nie stwierdzono przyływu. Po zakończeniu opisanych badań i po wykonaniu badań geo-

fizycznych spód otworu w dn. 02.10.1988 r. na głębokości 3660–3600 i 3360–3260 m zlikwidowano korkami cementowymi i przystąpiono do dalszych badań.

Poziom 3230–3260 m; kambr środkowy – piaskowce drobnoziarniste, w stropie wapienie ordowiku (4 m)

Poziom był już opróbowywany w trakcie prac wiertniczych, jednak w celu ustalenia ewentualnego uszkodzenia złoża podczas przewiercania dolnej partii otworu wykonano powtórnie badanie próbnikiem rurowym.

Badania przeprowadzono w dn. 26–28.10.1988 r. próbnikiem KJJ-2M-95 z niekompletnym zestawem, stosując prawie pełną depresję, zalewając jedynie 500 m przewodu wiertniczego nad próbnikiem wodą z dodatkiem środków pianących. Uszczelniacz próbniaka zapięto w rurach Ø 168,3 mm. W trakcie opróbowania wyróżniono następujące fazy:

I faza – wypływ powietrza – 3 h 15 min,

II faza – wypływ gazu palnego – 2 h,

III faza – pomiary ciśnienia głowicowego (pomiary prowadzono od godz. 16 w dn. 27.10.1988 r. do godz. 10 w dn. 28.10.1988 r. Ciśnienie wzrosło w tym czasie od 0,0 do 8,4 at.,

IV faza – wypływ gazu – 5 h.

Podczas wypływu gazu w IV fazie opróbowania nastąpiło uszkodzenie uszczelniacza próbniaka. Badania zakończono, po wyciągnięciu próbniaka stwierdzono w przewodzie wiertniczym obecność 2 m³ silnie zgazowanej ropy naftowej. W dniu 29.10.1988 r. pobrano próbę ropy w celu wykonania analizy.

Jej parametry to:

- gęstość (w temp. 20°C) 0,794 g/cm³,
- temperatura krzepnięcia 0°C,
- zawartość wody – brak
- zawartość parafiny 5,22% (z obliczeń),
- zanieczyszczenia mechaniczne 1%,
- rozdział grupowy:
 - węglowodory nasycone 95,5%,
 - węglowodory aromatyczne 3,0%,
 - heterogen 0,7%,
 - asfalteny 0,4%.

Ropa naftowa charakteryzuje się wysoką jakością. Odznacza się niskim ciężarem właściwym, brakiem zawartości wody oraz niewielką zawartością asfaltenów i zanieczyszczeń mechanicznych. Destylacja ropy wskazuje na bardzo korzystną, wysoką zawartość frakcji benzynowej (tab. 23). Również

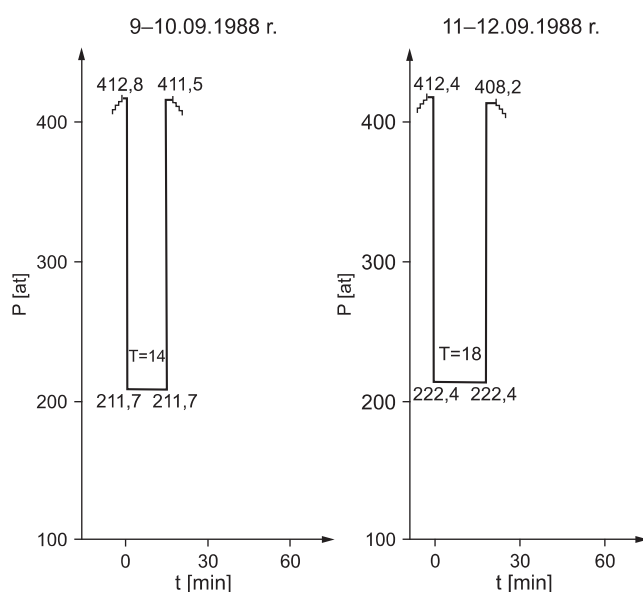


Fig. 51. Opróbowanie poziomu 3624–3680 m

Testing of 3624–3680 m interval

Tabela 23

**Destylacja frakcyjna ropy naftowej
pobranej z głębokości 3230–3260 m
(29.10.1988 r.)**

Fractional distillation of oil sampled
at 3230–3260 m interval (29.10.1988)

Temperatura [°C]	Zawartość [%]
90	1,5
100	4,0
110	7,5
120	10,5
130	15,0
140	19,0
150	23,5
160	26,5
170	29,0
180	31,5
190	34,5
200	36,5
210	39,0
220	41,5
230	43,5
240	46,5
250	49,0
260	51,5
270	54,0
280	56,0
290	58,5
300	61,5
310	65,5
Pozostałość	33,5
Straty	1,0

korzystną cechą jest niska zawartość parafiny i związana z tym niska krzepliwość.

Wyniki opróbowania (przyływ 2 m³ ropy w ciągu trwających ponad dobę badań) potwierdziły niewielką wartość eksploatacyjną opróbowanego poziomu. W celu zwiększenia przyływu przeprowadzono zabieg szczelinowania. Szczelinowanie wykonano na podstawie projektu opracowanego przez specjalistów z Instytutu Naftowego w Krośnie, a sam zabieg przeprowadziła ekipa Naftomontażu z Sanoka.

Zarurowanie otworu podczas szczelinowania:

- rury Ø 13³/₈” od 0,0 do 250 m, cementowane,
- rury Ø 9⁵/₈” od 0,0 do 2600 m, cementowane,
- rury Ø 6³/₈” od 0,0 do 3230 m, cementowane,
- rury Ø 4¹/₂” od 3220 do 3260 m, nie cementowane, szlifowane na powierzchni.

Użyto paker KH-6 5/8”, rurki wydobywcze Ø 2³/₈” (64 m b.) oraz przewód wiertniczy Ø 3¹/₂”. Do zabiegu przygotowano ok. 65 m³ cieczy szczelinującej o składzie: gigitar – 10 t, glikocel – 1,5 t, ziemia okrzemkowa (sproszkowana na mąkę) – 2,5 t, roksolat 2 – 65 kg, rokacet S 24 – 35 kg.

Szczelinowanie przeprowadzono 27.11.1988 r. przy użyciu cieczy szczelinującej z dodatkiem piasku kwarcowego. Paker zapięto na głębokości 3180 m. Ciecz zatłaczano w godz. 13–13⁵⁰ z wydajnością 1,2 m³/min, przy ciśnieniu roboczym 450–500 at. Ciśnienie głowicowe po zatłoczeniu cieczy w godz. 13.50–15.25 utrzymywało się na poziomie 380 at. Brak spadku ciśnienia świadczył o nieskuteczności szczelinowania. Po otworzeniu zasuwy głowicy, w godz. 16–22 przeprowadzono pomiary wypływającej cieczy, uzyskując objętość 9,5 m³. Po wyciągnięciu z otworu przewodu wiertniczego stwierdzono jego zatkanie piaskiem na długości 350 m oraz zatkanie połączeń napowierzchniowych. W dniu 05.12.1988 r. wytlaczano kompresorem z otworu płyn. Po uzyskaniu ciśnienia 240 at i po wytlóczeniu 11,4 m³ cieczy szczelinującej zapięto paker i przeprowadzono pomiary ciśnienia na głowicy. W okresie od 5.12.1988 r. godz. 21.00 do 6.12.1988 r. godz. 11.23 ciśnienie głowicowe sukcesywnie wzrastało od 0 do 18 at. Po otworzeniu zasuwy stwierdzono minimalny wypływ gazu palnego. W dniach od 9.12.1988 r. godz. 8 do 12.12.1988 r. godz. 8 zamknięto zasuwy i ponownie przeprowadzono pomiary ciśnienia głowicowego. Ciśnienie wzrosło od 0 do 20 at. Po zakończeniu pomiarów ciśnienia i po odpuszczeniu gazu lewym obiegiem cyrkulacyjnym, wytlóczono 3 m³ czystej ropy naftowej oraz 1,6 m³ silnie zgazowanej cieczy szczelinującej. Poziom ropy naftowej i wody stwierdzono na głębokości 1638 m p.p.t. Nieznaczny przyływ ropy potwierdził słabe właściwości zbiornikowe badanego poziomu.

Końcowym etapem badań poziomu 3230–3260 m było ponowne opróbowanie rurowym próbnikiem złoża oraz powtórne wytłaczanie płynu kompresorem. Badanie próbnikiem KJJ-2M-95 przeprowadzono w dn. 14–16.12.1988 r. Stworzono prawie pełną depresję, zalewając wodą tylko 700 m przewodu wiertniczego nad próbnikiem. Opróbowanie wykonano metodą jednokrotnego odcięcia przyływu (fig. 52):

I okres przyływu: ciśnienie 79,3–207,8 at; czas 1443 min

I okres odbudowy ciśnienia: ciśnienie 213,2–246,8 at; czas 728 min.

Podczas trwającego 1440 min przyływu uzyskano 4,4 m³ zgazowanej cieczy szczelinującej oraz 70 dm³ czystej ropy naftowej. Ciśnienie złożowe wynosiło 268 at. Promień zasięgu badania był bardzo mały, wynosił zaledwie 6 m. Krzywa wzrostu ciśnienia świadczy o znikomych właściwościach zbiornikowych poziomu. Wskaźnik uszkodzenia wynosił 0,12 – strefa przyodwiertowa była zestymulowana. Podczas badań z otworu wydobyto łącznie 26,9 m³ cieczy szczelinującej. Podczas zabiegu szczelinowania wtłoczono około 60 m³, w otworze pozostało więc około 33 m³ cieczy. W celu zbilansowania cieczy wtłoczonej podczas szczelinowania, przeprowadzono jeszcze jeden zabieg wtłaczania przy użyciu kompresora, który odbył się 5.01.1989 r. Zabieg wykonano przy użyciu rurek Ø 2⁷/₈” zapuszczonych do głębokości 3258 m. Rurki miały zamontowane dysze na głębokościach 700, 1104, 1594,

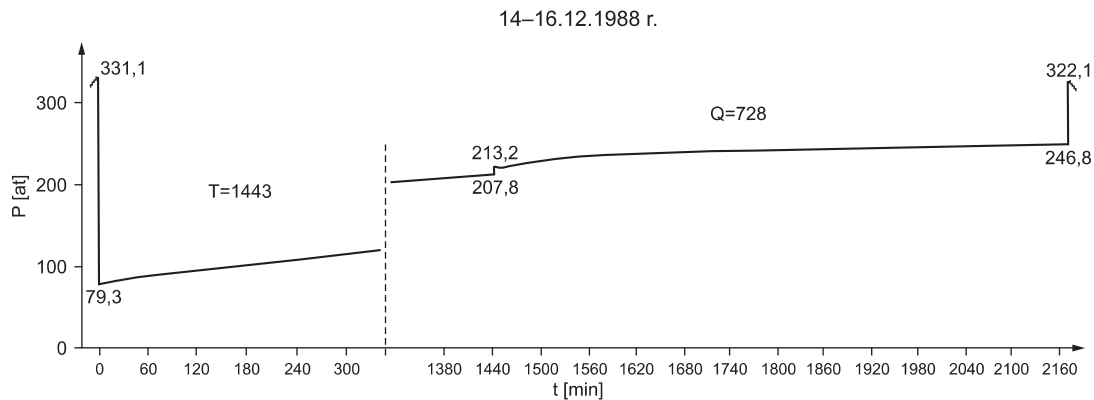


Fig. 52. Opróbowanie poziomu 3230–3260 m

Testing of 3230–3260 m interval

1999, 2409 i 2805 m. Objętość otworu wynosiła 53,5 m³. Podczas zabiegu wytłoczono 44,5 m³ płynu. Po zakończeniu włączania poziomu płynu w otworze zalegał na głębokości około 2700 m, co wytwarzało depresję mającą spowodować wywołanie złoża.

W dniach 06–18.01 prowadzono pomiary ciśnienia głowicowego na przemian z pomiarami wznosu zwierciadła płynu w otworze. Pomiarów głębokości lustra płynu dokonywano manometrem głębinowym zapuszczonym przy użyciu wyciągu Camco. W okresie od 06.01.1989 r. godz. 10 do 18.01.1989 r. godz. 15, czyli w ciągu 293 h przypływ wyniósł 4,3 m³ (3,9 m³ wody szczelinującej i 0,4 m³ ropy naftowej). Średni przypływ wynosił więc 14,7 dm³/h, w tym 1,4 dm³/h ropy. Zwierciadło wody w otworze wzniosło się w tym okresie do poziomu 2416 m p.p.t. Maksymalna wartość ciśnienia głowicowego wynosiła 5 at.

Kilkakrotne badania rurowym próbnikiem złoża poziomu roponośnego kambru środkowego, wykonanie szczelinowania oraz dwukrotne obniżanie zwierciadła płynu w otworze przy użyciu kompresora wykazało nieznaczny przypływ ropy naftowej z wyraźną tendencją do dalszego zmniejszania się. Z poziomu wydobyto (łącznie z badaniami wykonanymi w trak-

cie wiercenia) około 8,5 m³ ropy naftowej. Opróbowany poziom przypuszczalnie ma formę soczewki, która stopniowo ulegała szczypaniu. Nie ma szans na uzyskanie otworem Malbork IG 1 z poziomu kambru środkowego przypływu ropy naftowej o wartości przemysłowej.

Poziom 1145–1175 m; trias dolny – piaskowce, mułowce
Wynik

- przypływ solanki,
- wydajność 15,7 m³/h,
- ciśnienie złożowe $P_z = 118,3$ at.

Opróbowanie przeprowadzono w dniach 28–29.01.1989 r. Zastosowano próbnik typu KJJ-2M-95. Poziom odsłonięto, perforując wzmocnionymi ładunkami bezpociskowymi rury Ø 244,5 i Ø 168,3 mm. Spód otworu odizolowano korkiem aluminiowym założonym na głębokości 1210 m. Badany poziom był przewiercany od 26 do 28.11.1987 r. przy użyciu płuczki o następujących parametrach: gęstość 1,24; wiskoza 65; filtracja 8 i pH 9. Uszczelniacz próbnika zapięto na głębokości 1100 m. Poziom opróbowano przy pełnej depresji. Zastosowano metodę dwukrotnego odcięcia przypływu (fig. 53). I okres przypływu: ciśnienie 115,1–115,1 at; czas 10 min,

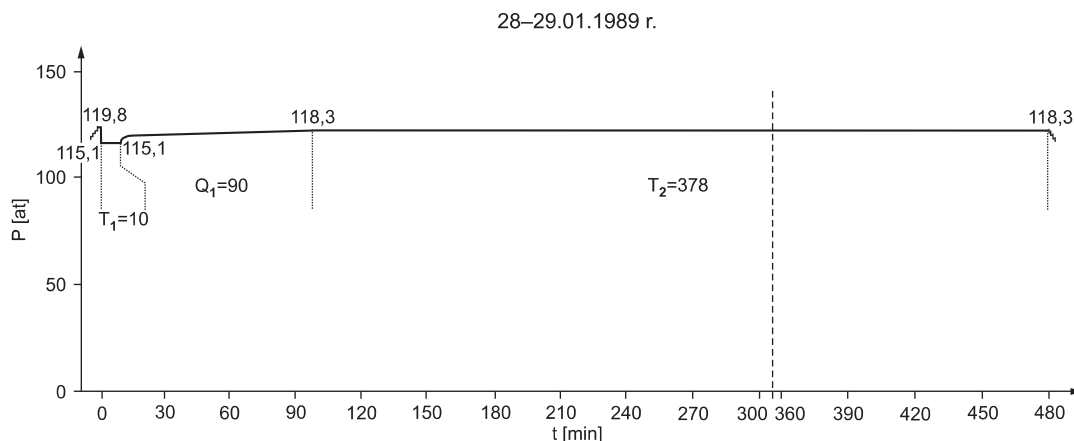


Fig. 53. Opróbowanie poziomu 1145–1175 m

Testing of 1145–1175 m interval

I okres odbudowy ciśnienia: ciśnienie 115,1–118,3 at; czas 90 min,

II okres przyływu: ciśnienie 118,3–118,3 at; czas 378 min.

Podczas 12 min efektywnego czasu przyływu do próbnika napłynęło 3,15 m³ wody, średnia wydajność wynosiła więc 15,7 m³/h. Zapis manometru głębinowego wykazywał bardzo szybką stabilizację ciśnienia złożowego, co świadczyło o wyjątkowo korzystnych parametrach zbiornikowych. Nieustabilizowane zwierciadło wody stwierdzono na głębokości 130 m p.p.t. Wyliczona głębokość zwierciadła ustabilizowanego wyniosła 14 m p.p.t. Pobrano próbę solanki w celu wykonania analizy chemicznej (tab. 24). Jest to 7,5% solanka Cl–Na, J o gęstości 1,054 g/cm³ i pH wynoszącym 5,81. Solanka jest słabo przeobrażona, o czym świadczy wysoka wartość wskaźnika hydrochemicznego rNa:rCl = 0,789. Pobrano również próbki gazu (tab. 25). Zawartość węglowodorów wynosi 24,0868% obj., a składniki palne występują w ilości 24,2172% obj. zawartość gazu w 1 dm³ solanki wynosiła 131 cm³.

Tabela 24

**Skład chemiczny solanki pobranej
z głębokości 1145–1175 m**

Results of chemical analysis of brine sampled
at 1145–1175 m interval

Składnik	Zawartość		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[%mval]
Kationy			
Na ⁺	23000	1000	74,42
K ⁺	148	3,78	0,29
Ca ²⁺	4150	207	15,39
Mg ²⁺	1570	129	9,60
FeT	5,79	0,311	0,02
Mn ²⁺	1,99	0,0724	0,01
Li ⁺	2,32	0,334	0,02
Sr ²⁺	133	3,04	0,23
Cu ²⁺	<0,09	0,00283	0,00
Pb ²⁺	<0,2	0,00193	0,00
Ni ²⁺	0,43	0,0146	0,00
Zn ²⁺	9,59	0,293	0,02
Razem	29021,41	1344	100,00
Aniony			
Cl ⁻	45000	1270	97,55
HCO ₃ ⁻	329	5,39	0,41
SO ₄ ²⁻	1170	24,3	1,87
F ⁻	0,27	0,0142	0,00
Br ⁻	172	2,15	0,17
J ⁻	8,1	0,0638	0,00
Razem	46679,37	1302	100,00
Łącznie	75700,78	–	–

Tabela 25

**Skład chemiczny gazu pobranego
z głębokości 1145–1175 m
(Laboratorium PIG)**

Results of chemical analysis
of gas sampled at 1145–1175 m interval
(PGI Laboratory)

Składnik	Zawartość	
	[% obj.]	[g/Nm ³]
CH ₄	14,6526	105,1030
C ₂ H ₆	4,3354	58,6406
C ₂ H ₄	1,3662	17,2537
C ₃ H ₈	2,9982	59,9430
C ₃ H ₆	0,4188	7,9936
C ₄ H ₁₀	0,1698	4,5455
C ₄ H ₈	0,1458	3,8954
H ₂	0,1304	0,1172
CO ₂	0,0395	0,7803
Ar	0,3039	5,4215
He	0,0285	0,0513
N ₂	75,4109	943,1641
Razem	100,0000	1206,9092

Poziom 881–895 m; jura środkowa i dolna – piaskowce, mułowce

Wynik:

- przyływ solanki,
- wydajność 3,96 m³/h,
- ciśnienie złożowe P_z = 97,13 at (wyekstrapolowane),
- ciśnienie głowicowe P_g = 6,38 at.

Badania przeprowadzono w dn. 30–31.01.1989 r. Poziom udostępniono do badań, perforując bezpościskowo wzmocnionymi ładunkami rury Ø 244,5 i Ø 168,3 mm. Oddano 10 strzałów/1 mb. Głębszą partię otworu odizolowano korkiem aluminiowym założonym na głębokości 930 m. Po wykonaniu perforacji nastąpił samoczynny wypływ solanki z przestrzeni pierścieniowej. Samoczynny wypływ ustabilizował się na poziomie 3,96 m³/h (tab. 26). Łącznie wydobyto około 74 m³ solanki. Czas badań był ograniczony pojemnością zbiorników. Zmierzone po zakończeniu wypływu ciśnienie głowicowe wynosiło 6,38 at, a wyliczone ciśnienie złożowe 97,13 at.

W badanym poziomie występuje 4,16% solanka Cl–Na, J o gęstości 1,03 g/cm³ i pH równym 6,42 (tab. 27). Solanka jest słabo przeobrażona – wskaźnik hydrochemiczny rNa : rCl wynosi 0,817. Zawartość gazu w 1 dm³ solanki wynosiła 97,14 cm³. Suma węglowodorów wynosi 25,0225% obj., zaś suma składników palnych 25,6948% obj. Zwraca uwagę duża zawartość metanu, wynosząca 23,7678% obj. (tab. 28).

Po zakończeniu badań otwór zlikwidowano, zakładając korki cementowe w głębokości 920–820 i 30–0 m. Przestrzeń wewnątrzotworowa pomiędzy korkami zalano gęstą płuczką ilową.

Tabela 26

Zestawienie pomiarów wydajności i temperatury wody podczas wypływu samoczynnego z głębokości 881–895 m

Set of discharge and water temperature measurements during artesian flow at 881–895 m interval

Data	Godzina	Wydajność [m ³ /h]	Temperatura wody [°C]
30.01.1989	1100	–	–
30.01.1989	1400	3,96	–
30.01.1989	1500	2,88	12,0
30.01.1989	1600	3,79	12,0
30.01.1989	1700	3,96	12,0
30.01.1989	1800	3,96	12,0
30.01.1989	1900	3,96	12,0
30.01.1989	2000	3,96	14,0
30.01.1989	2100	3,96	14,0
30.01.1989	2200	3,96	14,5
30.01.1989	2300	3,96	14,5
30.01.1989	2400	3,96	14,5
31.01.1989	100	3,96	14,5
31.01.1989	200	3,96	15,0
31.01.1989	300	3,96	15,0
31.01.1989	400	3,96	15,0
31.01.1989	500	3,96	15,0
31.01.1989	600	3,96	15,0
31.01.1989	700	3,96	15,0

Tabela 27

Skład chemiczny solanki pobranej z głębokości 881–895 m

Results of chemical analysis of brine sampled at 881–895 m interval

Składnik	Zawartość		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[%mval]
Kationy			
Na ⁺	13000	564	75,99
K ⁺	127	3,25	0,44
Ca ²⁺	2140	107	14,39
Mg ²⁺	802	66	8,88
FeT	1,82	0,0978	0,01
Mn ²⁺	0,62	0,0226	0,00
Li ⁺	1,51	0,217	0,03
Sr ²⁺	83,1	1,9	0,26
Cu ²⁺	0,05	0,00157	0,00
Pb ²⁺	<0,1	0,000955	0,00
Ni ²⁺	<0,1	0,00341	0,00
Zn ²⁺	<0,1	0,00306	0,00
Razem	16156,40	743	100,00
Aniony			
Cl ⁻	24500	690	97,43
HCO ₃ ⁻	317	5,2	0,73
SO ₄ ²⁻	575	12	1,69
F ⁻	0,45	0,0237	0,00
Br ⁻	79	0,989	0,14
I ⁻	7,3	0,0575	0,01
Razem	25478,75	708	100,00

Tabela 28

Skład chemiczny gazu pobranego z głębokości 881–895 m (Laboratorium PIG)

Results of chemical analysis of gas sampled at 881–895 m interval (PGI Laboratory)

Składnik	Zawartość	
	[% obj.]	[g/Nm ³]
CH ₄	23,7678	170,4864
C ₂ H ₆	0,8272	11,1887
C ₂ H ₄	0,3354	4,2357
C ₃ H ₈	0,0951	1,9013
H ₂	0,6936	0,6235
CO ₂	0,0365	0,7210
Ar	1,0594	18,8996
N ₂	73,1850	915,3235
Razem	100,0000	1123,3797

PODSUMOWANIE

Podczas opróbowania utworów kambru nie udało się uzyskać przyływu ropy naftowej o wartości przemysłowej. Łącznie z poziomów zbiornikowych kambru środkowego uzyskano około 8,5 m³ ropy naftowej lekkiej, o gęstości 0,794 g/cm³, beziarkowej, niskoparafinowej, o zawartości 36% frakcji benzynowej i o wysokiej kaloryczności.

Piaskowce kambru środkowego wykazują jednak minimalne właściwości zbiornikowe. Leżą one w strefie anomalnie niskich ciśnień złożowych. Zanikanie przyływu ropy w końcowym okresie opróbowania, po wydobyciu zaledwie 8,5 m³ ropy, świadczy o istnieniu tu niewielkiej soczewki, odizolowanej od basenu roponośnego kambru. Uzyskane wyniki pozwalają jednak znacznie poszerzyć strefę roponośną w utworach kambru i w przypadku większej szczelinowatości

skał jest szansa na uzyskiwanie przyływów ropy o wartości przemysłowej.

Solanki występujące w badanych poziomach utworów mezozoicznych zalegają, na co wskazują wartości wskaźnika hydrochemicznego $rNa : rCl$, w strefie utrudnionej wymiany z wodami mniej zmineralizowanymi, występującymi w wyższych poziomach stratygraficznych. Infiltracja jest powolna. Badane solanki należą do wód zmetamorfizowanych i w późniejszych okresach częściowo wysłodzonych. Przewiercone i badane w otworze Malbork IG 1 poziomy mezozoiczne nie są perspektywiczne pod kątem występowania złóż węglowodorów.

Skład chemiczny solanki występującej w badanym poziomie jurajskim umożliwia jej zastosowanie w balneoterapii.