

Leszek BOJARSKI, Andrzej SOKOŁOWSKI, Jakub SOKOŁOWSKI

WYNIKI OPRÓBOWAŃ HYDROGEOLOGICZNYCH

WSTĘP

Głównym celem opróbowania było przebadanie, pod kątem występowania bituminów, poziomów zbiornikowych kambru. Badania przeprowadzono w trakcie prac wiertniczych przy użyciu rurowych próbników złoża. Dodatkowo próbnikami kablowymi przebadano poziomy permu, triasu i jury (fig. 19). Opróbowania przeprowadziła ekipa Zakładu Opróbowania i Cementowań Przedsiębiorstwa Geologicznego w Warszawie. Poziomy do badań wytypowano na podstawie wyników geofizyki

otworowej. Interpretację wyników wykonał J. Szewczyk z Państwowego Instytutu Geologicznego. Analizy gazów pobranych w trakcie opróbowania przeprowadził M. Sztukowski w Laboratorium Skał Bitumicznych, a analizy chemiczne wód wykonały H. Jasińska, B. Karolak, T. Ratoszyńska i W. Zielińska w Głównym Laboratorium Chemicznym Państwowego Instytutu Geologicznego. Nadzór nad opróbowaniami sprawował L. Bojarski, a specjalistyczny dozór w terenie Z. Sowiński.

OPRÓBOWANIA PRZY UŻYCIU PRÓBNIKÓW KABLOWYCH

Badania przeprowadzono 28 IV 1972 r. przy zastosowaniu próbnika typu OPT-7-10. Czas pomiaru był stały i wynosił przy każdym zapięciu próbnika 7 min. Badania wykonywano w otworze niezarurowanym, wypełnionym płuczką wapienną, podczas strefowych pomiarów geofizycznych. Przeprowadzono 8 badań: próbnik zapinano jeden raz w

utworach kambru, jeden raz w utworach ordowiku oraz dwukrotnie w utworach permu, triasu i jury. Podczas opróbowania nie uzyskano przyływu bituminów ani wody złożowej, nie stwierdzono również żadnych objawów bitumiczności. Wyniki badań próbnikami kablowymi przedstawiono w tabeli 21.

Tabela 21

Zestawienie wyników badań próbnikami kablowymi

Results of cable probe sampling

Stratygrafia/Litologia	Głębokość zapięcia próbnika [m p.p.t.]	Ciśnienie w pojemniku próbnika [at]	Objętość pobranej próbki [dm ³]	Rodzaj próbki
Kambr/piaskowce	1615,0	0	1	filtrat płuczki
Ordowik/dolomity	1604,0	0	0	brak przyływu
Perm dolny/piaskowce	1315,0	0	0	brak przyływu
Perm górny/dolomity	1265,0	0	0	brak przyływu
Trias/piaskowce	1095,0	100	7	płuczka
Trias/piaskowce	1010,5	kilka	4	filtrat płuczki
Jura/piaskowce	922,0	0	0,5	filtrat płuczki
Jura/wapień oolitowy	733,0	0	0	brak przyływu

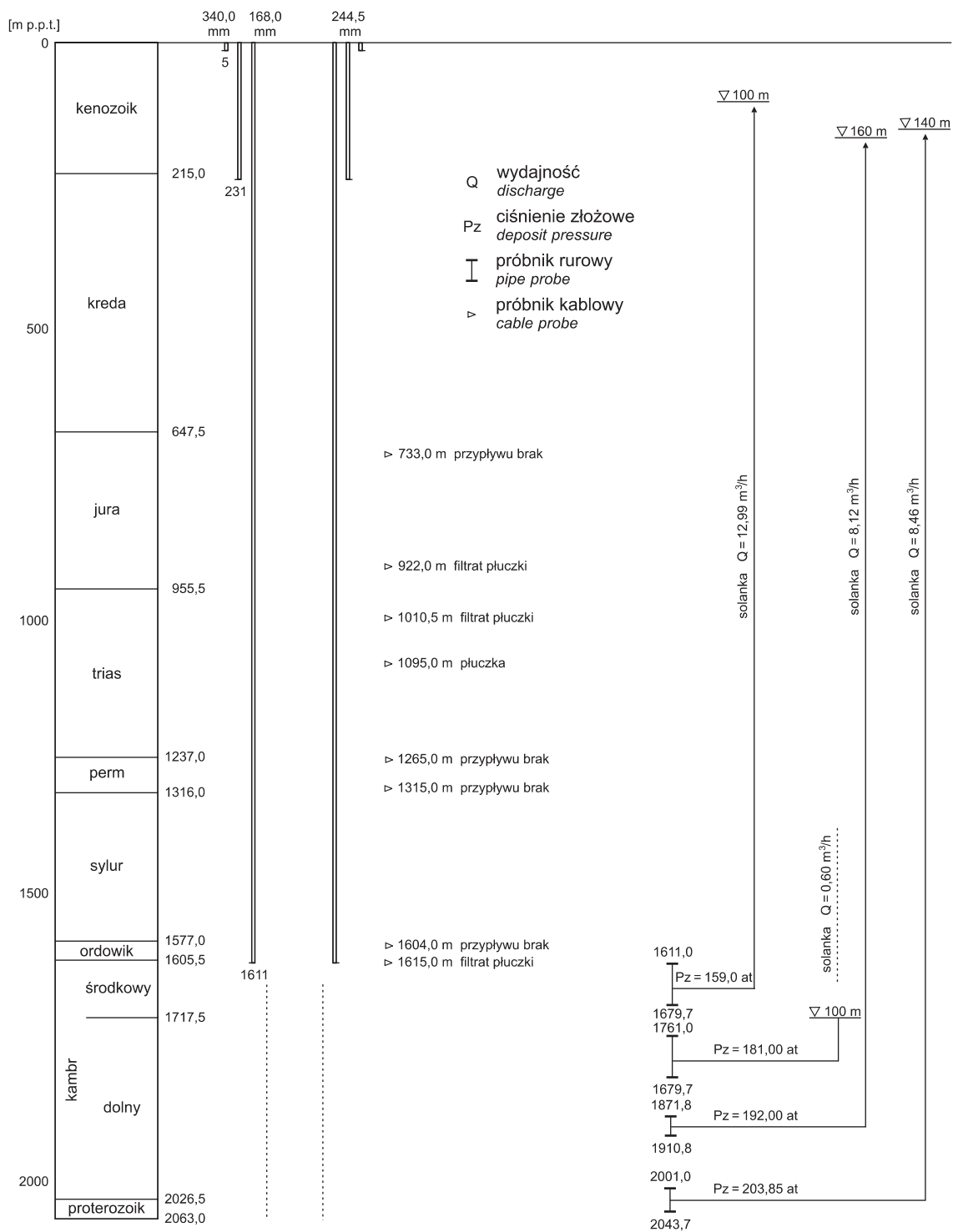


Fig. 19. Schemat opróbowania otworu

Scheme of borehole testing

OPRÓBOWANIA PRZY UŻYCIU RUROWYCH PRÓBNIKÓW ZŁOŻA

Badania przeprowadzono w otworze odsłoniętym pod butem rur $\varnothing$ 6 5/8". Kolumną rur $\varnothing$ 6 5/8" zamknięto poziomy zalegający nad utworami kambru środkowego. Badania wykonywano podczas prac wiertniczych, sukcesywnie, w miarę głębienia otworu, na coraz większych głębokościach. Opróbowania wykonano próbnikiem typu Halliburton $\varnothing$ 3 5/8".

Opróbowany poziom: 1611,0–1679,7 m – kambr środkowy (piaskowce kwarcowe)

Wyniki:

Przyływ 6,06 m³ solanki

Wydajność 13 m³/h

Ciśnienie złożowe $P_z = 159$ at

Badanie przeprowadzono w dniach 6–7 VI 1972 r. metodą jednokrotnego odcięcia przyływu (fig. 20). Uszczelniając próbnika był zapięty na głębokości 1598,5 m w rurach $\varnothing$ 6 5/8". Opróbowanie wykonano nie stosując zalewki przy 100% depresji:

I okres przyływu:

ciśnienie 155,8–159,0 at, czas 28 min,

I okres odbudowy ciśnienia:

ciśnienie 159,0 at, czas 30 min.

Podczas trwającego 28 min przyływu do przewodu ponad próbnikiem dopłynęło 6,06 m³ solanki, wydajność wynosiła więc 13 m³/h. Zwierciadło statyczne solanki ustabilizowało się na głębokości 100 m, a ciśnienie złożowe na wartości

159 at. Wyliczony efektywny współczynnik przepuszczalności wyniósł 114 mD. Opróbowany poziom zbiornikowy nie był uszkodzony, o czym świadczy ujemna wartość skin efektu, wynosząca –5,7.

Nawierconą solankę określono jako 6,44% wodę (solankę) chlorkowo-sodowo-wapniową, jodkową. Mineralizacja ogólna solanki wynosi 64,4 g/dm³, ciężar właściwy 1,0480 g/cm³, a pH – 6,0. Skład chemiczny solanki przedstawiono w tabeli 22.

Wykonano także analizę gazu uzyskanego poprzez odgazowanie próbki solanki. Gaz składa się głównie z azotu, dwutlenku węgla, gazów szlachetnych i wodoru. Zawartość węglowodorów wynosi zaledwie 0,538662%. Skład chemiczny gazu przedstawiono w tabeli 23.

Opróbowany poziom: 1761,0–1792,2 m – kambr dolny (piaskowce i mułowce)

Wyniki:

Przyływ 0,18 m³ solanki

Wydajność 0,60 m³/h

Ciśnienie denne $P_d = 163,6$ at

Ciśnienie złożowe (wyekstrapolowane) $P_z = 181,2$ at

Opróbowanie wykonano w dniach 15–16 VI 1972 r., metodą jednokrotnego odcięcia przyływu (fig. 21). Uszczelniając próbnika zapięto na głębokości 1761 m. w otworze niezarurowanym, pod butem rur $\varnothing$ 6 5/8". Badania przeprowadzono nie stosując zalewki, przy pełnej depresji:

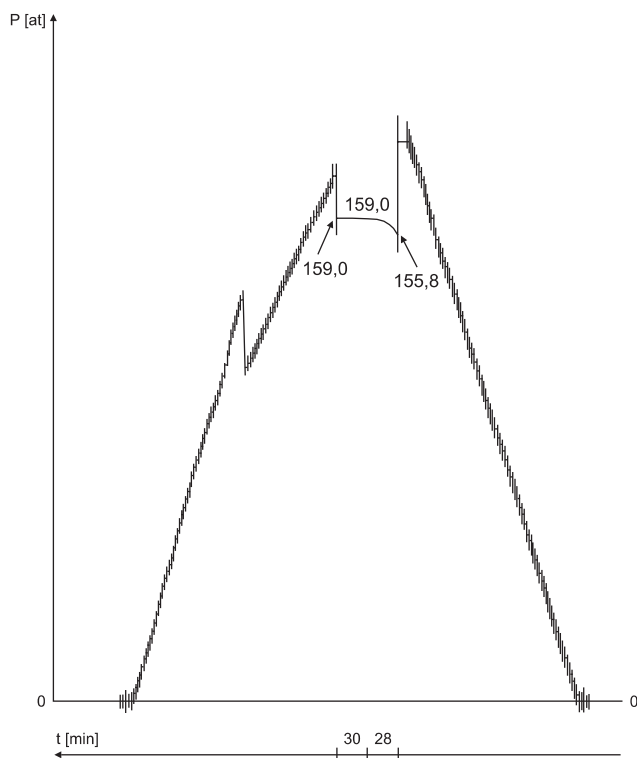


Fig. 20. Opróbowanie poziomu 1611,0–1679,7 m

Testing of 1611.0–1679.7 m interval

Tabela 22

Wyniki badań chemicznych solanki pobranej podczas opróbowania poziomu zbiornikowego 1611,0–1679,7 m

Results of chemical analysis of brine sampled at 1611.0–1679.7 m interval

Składnik	Zawartość		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy			
Na ⁺	16 000,00	696,00	61,060
K ⁺	390,00	9,97	0,875
Ca ²⁺	6 816,56	340,15	29,841
Mg ²⁺	1 128,64	92,84	8,145
Fe ²⁺	16,67	0,90	0,079
Suma	24 351,87	1 139,86	100,000
Aniony			
Cl ⁻	38 241,50	1 078,79	96,917
Br ⁻	343,88	4,30	0,386
I ⁻	0,95	0,01	0,001
HCO ₃ ⁻	84,53	1,39	0,125
SO ₄ ²⁻	1 374,74	28,62	2,571
Suma	40 045,60	1 113,11	100,000

**Analiza gazu pobranego
z głębokości 1611,0–1679,7 m**

Analysis of gas sampled
at depth 1611.0–1679.7 m

Składnik	Zawartość składników [% obj.]
CH ₄	0,135704
C ₂ H ₆	0,064324
C ₃ H ₈	0,072929
C ₃ H ₆	0,003836
C ₄ H ₁₀	0,097093
C ₅ H ₁₂	0,164776
H ₂	0,037920
CO ₂	4,214496
Ar	1,076039
He	0,047349
N ₂	94,085534
Suma	100,000000

Tabela 23

I okres przyływu:

ciśnienie 5,5–14,7 at, czas 180 min,

I okres odbudowy ciśnienia:

ciśnienie 14,7–163,6 at, czas 120 min.

Podczas okresu przyływu do przewodu wiertniczego nad próbnikiem dopłynęło zaledwie 0,18 m³ solanki, wydajność badanego poziomu wynosiła więc 0,06 m³/h. Zarejestrowane ciśnienie denne wynosiło 163,6 at, a wyekstrapolowane ciśnienie złożowe 181,2 at. Zwierciadło solanki, stwierdzone na głębokości 1700 m, nie było jeszcze ustabilizowane. Efektywny współczynnik przepuszczalności określony w wyniku badań wynosi 0,1 mD. Wartość skin efektu, wynosząca –4,4, wskazuje na brak uszkodzenia strefy przyodwiertowej.

Występującą w badanym poziomie solankę scharakteryzowano jako 8,7% wodę (solankę) chlorkowo-sodowo-wapniową. Mineralizacja ogólna solanki wynosi 86,8 g/dm³, ciężar właściwy 1,0537 g/cm³, a pH 6,0. Skład chemiczny solanki przedstawiono w tabeli 24

W tabeli 25 podano skład chemiczny gazu uzyskanego z odgazowania próbki solanki. Gaz zawiera azot, dwutlenek węgla, gazy szlachetne, wodór i tylko 0,9142% objętościowych węglowodorów.

Opróbowany poziom: 1871,8–1910,8 m – kambr dolny
(piaskowce, mułowce)

Wyniki:

Przyływ 6,50 m³ solanki

Wydajność 8,12 m³/h

Ciśnienie denne Pd = 187,7 at

Tabela 24

**Wyniki badań chemicznych solanki pobranej podczas
opróbowania poziomu zbiornikowego 1761,0–1792,2 m**

Results of chemical analysis
of brine sampled at 1761.0–1792.2 m interval

Składnik	Zawartość		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy			
Na ⁺	20 750,00	902,63	58,509
K ⁺	500,00	12,78	0,829
Ca ²⁺	9 894,40	493,73	32,004
Mg ²⁺	1 576,72	129,70	8,407
Fe ²⁺	72,22	3,88	0,251
Suma	32 793,34	1 542,72	100,000
Aniony			
Cl [–]	52 112,74	1 470,10	97,826
Br [–]	514,77	6,44	0,429
I [–]	3,57	0,03	0,002
HCO ₃ [–]	338,11	5,54	0,369
SO ₄ ^{2–}	991,96	20,65	1,374
Suma	53 961,15	1 502,76	100,000

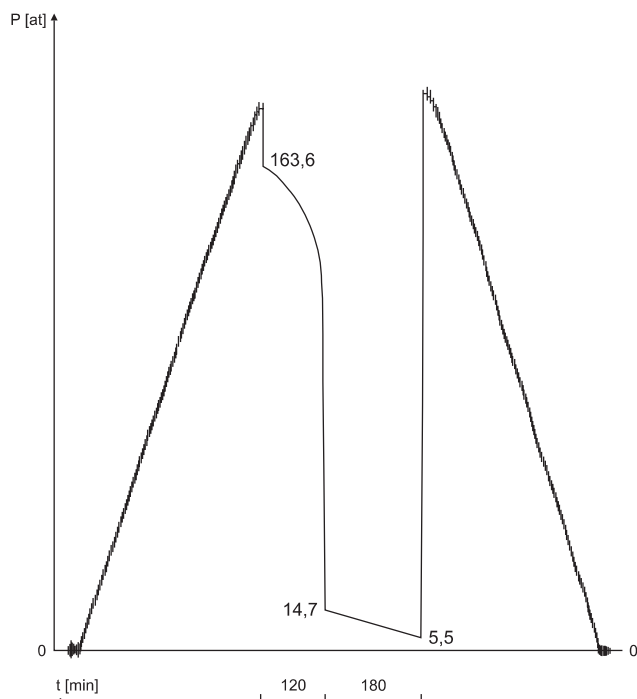
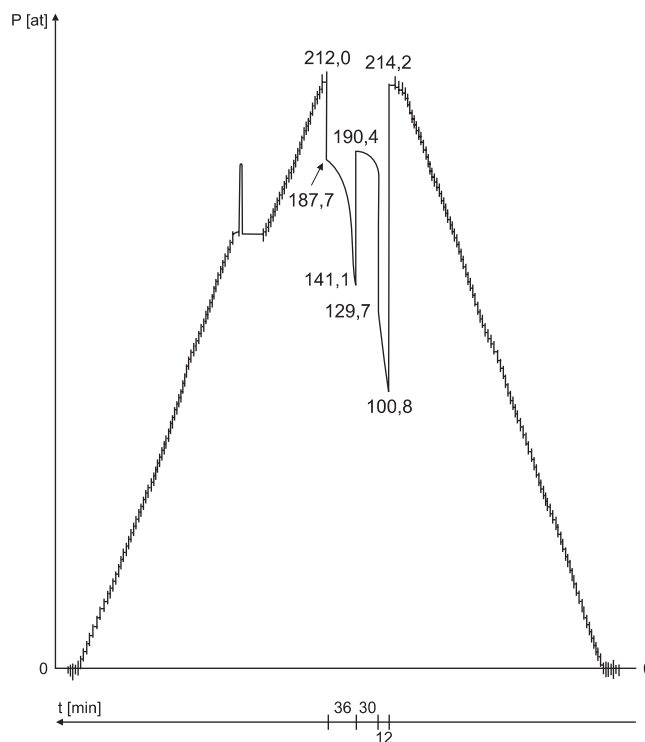


Fig. 21. Opróbowanie poziomu 1761,0–1792,2 m

Testing of 1761.0–1792.2 m interval

Tabela 25**Analiza gazu pobranego
z głębokości 1761,0–1792,2 m**Analysis of gas sampled
at depth 1761.0–1792.2 m

Składnik	Zawartość składników [% obj.]
CH ₄	0,428904
C ₂ H ₆	0,218799
C ₂ H ₄	0,002438
C ₃ H ₈	0,141490
C ₃ H ₆	0,007315
C ₄ H ₁₀	0,115248
H ₂	0,097823
CO ₂	7,445068
Ar	1,506408
He	0,008907
N ₂	90,027680
Suma	100,000000

**Fig. 22. Opróbowanie poziomu 1871,8–1910,8 m**

Testing of 1871.8–1910.8 m interval

Ciśnienie złożowe (wyekstrapolowane) $P_z=192,0$ at

Badany poziom opróbowano dnia 3 VII 1972 r. metodą dwukrotnego odcięcia przyływu (fig. 22). Uszczelniając próbnika zapięto pod butem rur $\varnothing 6\ 5/8''$ w otworze niezarusowanym. Badania przeprowadzono przy 100% depresji nie stosując zalewki:

I okres przyływu:

ciśnienie 100,8–129,0 at, czas 12 min.,

I okres odbudowy ciśnienia:

ciśnienie 129,0–190,4 at, czas 30 min.,

II okres przyływu:

ciśnienie 141,1–187,7 at, czas 36 min.

Podczas obydwu okresów przyływu do przewodu wiertniczego nad próbnikiem dopłynęło łącznie $6,5\text{ m}^3$ solanki, wydajność wynosiła $8,12\text{ m}^3/\text{h}$. Ciśnienie denne odczytane z manometru osiągnęło 187,7 at, a wyekstrapolowane ciśnienie złożowe 192,0 at. Z zwierciadła solanki po zakończeniu badań znajdowało się na głębokości 160 m. Wyniki opróbowania umożliwiły obliczenie niektórych parametrów złożowych. Efektywny współczynnik przepuszczalności wynosił 8,2 mD, wskaźnik wydajności otworu $7\text{ m}^3/\text{d/at}$, promień zasięgu badania 58 m, a skin efekt $-3,3$. Ujemna wartość skin efektu świadczy o braku uszkodzenia strefy przyodwiertowej.

Występującą w badanym poziomie solankę określono jako 11,2% wodę (solankę) chlorkowo-sodowo-wapniową, jodkową o mineralizacji wynoszącej $112,3\text{ g}/\text{dm}^3$, ciężarze właściwym $1,0524\text{ g}/\text{dm}^3$ i pH równym 6,0. Skład chemiczny solanki przedstawiono w tabeli 26. Próbkę solanki w celu wykonania analizy chemicznej rozpuszczonego gazu z badanego poziomu nie pobierano.

Tabela 26**Wyniki badań chemicznych solanki pobranej podczas opróbowania poziomu zbiornikowego 1871,8–1910,8 m**Results of chemical analysis
of brine sampled at 1871.8–1910.8 m interval

Składnik	Zawartość		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy			
Na ⁺	27500,00	1196,25	57,261
K ⁺	620,00	15,85	0,759
Ca ²⁺	13706,00	683,93	32,738
Mg ²⁺	2327,84	191,49	9,166
Fe ²⁺	29,44	1,58	0,076
Suma	44183,28	2089,10	100,000
Aniony			
Cl ⁻	66401,15	1873,18	98,444
Br ⁻	590,72	7,39	0,388
I ⁻	2,74	0,02	0,001
HCO ₃ ⁻	120,75	1,98	0,104
SO ₄ ²⁻	971,38	20,22	1,063
Suma	68086,74	1902,79	100,000

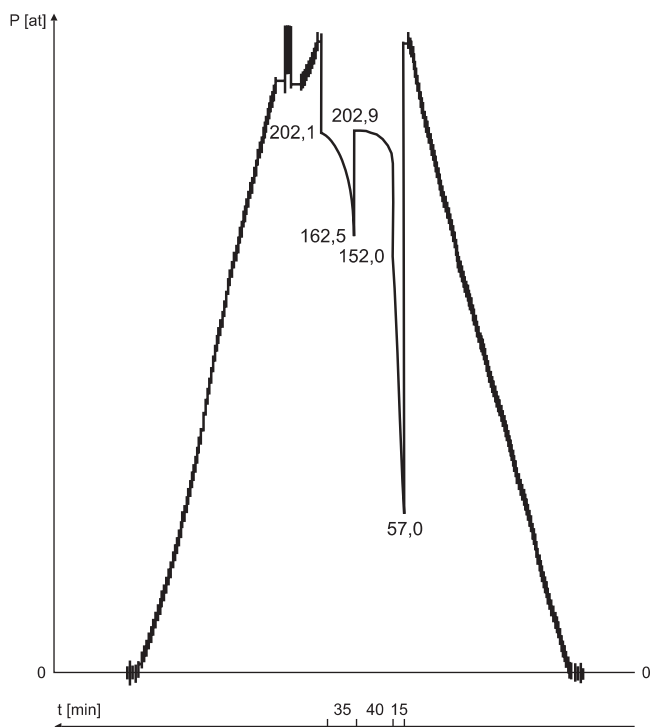


Fig. 23. Opróbowanie poziomu 2001,0–2043,7 m

Testing of 2001.0–2043.7 m interval

Opróbowany poziom: 2001,0–2043,7 m – kambr dolny i podłoże krystaliczne (piaskowce, podłoże krystaliczne)

Wyniki:

Przyływ 7,05 m³ solanki

Wydajność 8,46 m³/h

Ciśnienie denne $P_d = 202,1$ at

Ciśnienie złożowe (wyekstrapolowane) $P_z = 203,85$ at

Badanie przeprowadzono dnia 18 VII 1972 r. metodą dwukrotnego odcięcia przyływu (fig. 23). Uszczelniając próbnika był zapięty na głębokości 2001,0 m w otworze niezarurowanym, pod butem rur $\varnothing 6 \frac{5}{8}$ ". Opróbowanie wykonano nie stosując zalewki, przy 100 % depresji:

I okres przyływu:

ciśnienie 57,0–152,0 at, czas 15 min.,

I okres odbudowy ciśnienia:

ciśnienie 152,0–202,9 at, czas 40 min.,

II okres przyływu:

ciśnienie 162,5–202,1 at, czas 35 min.

Podczas trwającego 50 min. przyływu do przewodu ponad próbnikiem dopłynęło 7,05 m³ solanki, wydajność wynosiła więc 8,46 m³/h. Zwierciadło statyczne solanki ustabilizowało się na głębokości 140 m. Ciśnienie denne odczytane wynosiło 202,1 at, a ciśnienie złożowe wyekstrapolowane określono w wysokości 203,85 at. Wyliczono efektywny współczynnik przepuszczalności wynoszący 48 mD. Strefa przyodwiertowa była nieznacznie uszkodzona, na co wskazuje wartość skin efektu, wynosząca 4,15. Promień zasięgu badania wyniósł 120 m, a wskaźnik wydajności potencjalnej 11,6 m³/d/at.

Tabela 27

Wyniki badań chemicznych solanki pobranej podczas opróbowania poziomu zbiornikowego 2001,0–2043,7 m

Results of chemical analysis
of brine sampled at 2001.0–2043.7 m interval

Składnik	Zawartość		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy			
Na ⁺	26000,00	1131,00	49,949
K ⁺	700,00	17,90	0,790
Ca ²⁺	18162,38	906,30	40,025
Mg ²⁺	2503,13	205,91	9,094
Fe ²⁺	60,00	3,22	0,142
Suma	47425,51	2264,33	100,000
Aniony			
Cl ⁻	80307,15	2265,46	99,053
Br ⁻	748,94	9,37	0,410
I ⁻	2,95	0,02	0,001
HCO ₃ ⁻	120,75	1,98	0,086
SO ₄ ²⁻	493,92	10,28	0,450
Suma	81673,71	2287,11	100,000

Tabela 28

Analiza gazu pobranego z głębokości 2001,0–2043,7 m

Analysis of gas sampled at depth 2001.0–2043.7 m

Składnik	Zawartość składników [% obj.]
CH ₄	0,649893
C ₂ H ₆	0,072359
C ₂ H ₄	0,004089
C ₃ H ₈	0,032995
C ₃ H ₆	0,008410
C ₄ H ₁₀	0,026546
C ₅ H ₁₂	0,006413
C ₆ H ₁₄	0,004807
H ₂	0,089247
CO ₂	5,269201
Ar	1,797702
He	0,069840
N ₂	91,968498
Suma	100,000000

Nawierconą solankę określono jako 12,9% wodę (solankę) chlorkowo-sodowo-wapniową, jodkową. Mineralizacja ogólna solanki wynosi $129,1 \text{ g/dm}^3$, ciężar właściwy $1,1363 \text{ g/cm}^3$, a pH 6,0. Skład chemiczny solanki przedstawiono w tabeli 27.

Wykonano analizę gazu uzyskanego poprzez odgazowanie próbki solanki. Gaz składa się głównie z azotu, dwutlenku węgla, gazów szlachetnych i wodoru. Zawartość węglowodorów wynosi zaledwie 0,8055% objętościowych. Skład chemiczny gazu przedstawiono w tabeli 28.

PODSUMOWANIE

Opróbowane poziomy piaskowce kambru charakteryzują się korzystnymi warunkami zbiornikowymi. Przeprowadzone przy pełnej depresji (bez stosowania zalewki) badania wykazały, iż przyływy wynoszą przeważnie $8\text{--}12 \text{ m}^3/\text{h}$. Zalegająca nad utworami kambru seria nieprzepuszczalnych skał ordowiku i syluru stwarza korzystne warunki dla zachowania się złóż węglowodorów. Solanki odznaczają się wysokim stopniem zmetamorfizowania, wartości wskaźnika hydrochemicznego $r_{\text{Na}}/r_{\text{Cl}}$ wynoszą 0,50–0,65. Badania chemiczne solanek wykazały nieco podwyższoną zawartość składników biofilnych: jodu w ilości $1\text{--}3,6 \text{ mg/dm}^3$ i bromu w ilości $343\text{--}748 \text{ mg/dm}^3$. Mineralizacja solanek wzrasta wraz z głębokością (fig. 24).

Charakter chemiczny występujących w utworach kambru solanek oraz całkowita izolacja od wyższych poziomów zbiornikowych wskazują na istnienie korzystnych warunków dla zachowania się złóż węglowodorów. Podczas opróbowania nie stwierdzono jednak bezpośrednich objawów bitumiczności, świadczących o bliskości złóż ropy i gazu. Rozpuszczone w solankach gazy zawierały jedynie śladowe ilości węglowodorów.

Występowania złóż węglowodorów można się na tym obszarze spodziewać w obrębie pozytywnych, wyniesionych struktur geologicznych.

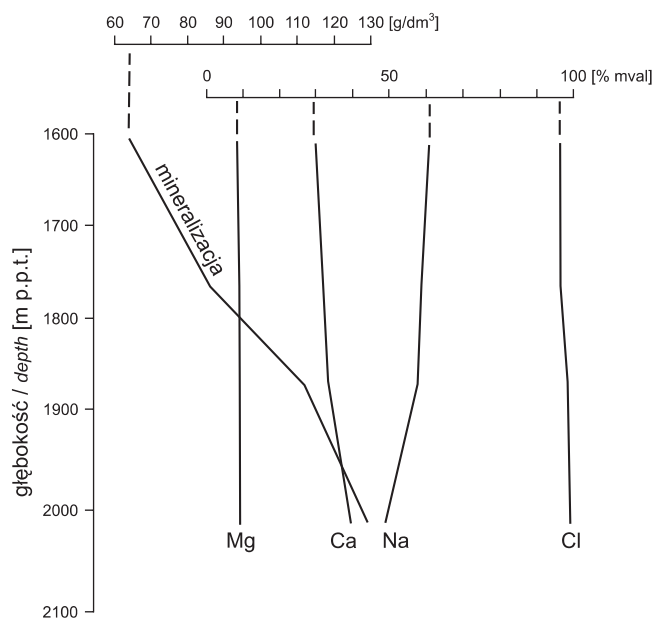


Fig. 24. Wykres zależności mineralizacji ogólnej i stężenia wybranych jonów od głębokości

Graph of relationship between total mineralization and concentration of selected ions against depth