

Jakub SOKOŁOWSKI

WYNIKI OPRÓBOWANIA POZIOMÓW ZBIORNIKOWYCH

Jednym z celów opróbowania otworu Brojce IG 1 było określenie perspektyw ropo- i gazoności utworów permu i karbonu w południowym obrzeżeniu niecki trzebiatowskiej. Badaniami objęto 6 poziomów: 2 poziomy permu (dolomit główny i czerwony spągowiec) opróbowane w trakcie wiercenia oraz 2 poziomy triasu dolnego, 1 poziom triasu górnego i 1 poziom jury dolnej, przebadane po zakończeniu wiercenia (fig. 49). Poziomy do badań, na podstawie interpretacji wyników badań geofizyki otworowej, opisu rdzeni wiertniczych oraz stwierdzonych objawów podczas wiercenia, wytypowali L. Bojarski, J. Szewczyk i E. Kaniewska z Instytutu Geologicznego. Opróbowanie otworu przy użyciu rurowych próbników złoża przeprowadził zespół Poszukiwania Nafty i Gazu w Pile. Nadzór nad opróbowaniem ze strony Instytutu Geologicznego sprawował L. Bojarski, a dozór w terenie A. Sokołowski i Z. Sowiński. Analizy właściwości fizyczno-chemicznych solanek

wykonano w Laboratorium Zakładu Geochemii i Chemii Analitycznej Instytutu Geologicznego, natomiast analizy gazu ziemnego w Laboratorium Pracowni Geochemii Bituminów Instytutu Geologicznego przy użyciu chromatografu GCHF 18.3. Pobrane do analizy próbki solanek i wód należy uznać za reprezentatywne dla poszczególnych horyzontów, choć – za wyjątkiem analizy dla utworów pstrego piaskowca górnego (retu) – ocena poprawności ich wykonania, dokonana na podstawie wielkości błędu obliczonego przez porównanie zawartości anionów i kationów wyrażonej w mval/dm^3 , jest negatywna. Po zakończeniu opróbowania otwór został zlikwidowany. Rezultaty badań przedstawiono w dokumentacji wynikowej otworu badawczego Brojce IG 1 opracowanej w Zakładzie Geologii Regionalnej Obszarów Platformowych Instytutu Geologicznego w 1986 r. (Bojarski, Sokołowski, w: Żelichowski i in., 1986).

OPRÓBOWANIE W TRAKCIE WIERCENIA

Poziom 3248,0–3274,0 m (perm – dolomit główny–cechsztyń: anhydryty, dolomity)

Wyniki: brak przyływu

Badanie przeprowadzono w niezarurowanej części otworu, odsłoniętej pod butem rur $\varnothing 9\frac{5}{8}$ " opuszczonych do głęb. 2825,0 m, przy głębokości otworu 3274,0 m. Poziom przewiercono w dniach 30.08–3.09.1985 r. przy użyciu płuczki barytowej o następujących parametrach: gęstość = $2,09 \text{ g/cm}^3$, wiskoza = 106, filtracja = 5, pH = 10, zasolenie = 325 i wytrzymałość strukturalna = 2/4. Opróbowanie wykonano w dniach 5–7.10.1985 r. przy użyciu próbnika złoża typu KII 2M-146. Uszczelniacz próbnika zapięto na głęb. 3248,0 m. W trakcie badania zastosowano zalewkę z płuczki o gęstości $2,09 \text{ g/cm}^3$, zalewając nią 1915 m przewodu ponad próbnikiem. Ciśnienie hydrostatyczne płuczki na badany poziom wynosiło 690 atn. Podczas opróbowania nie zaobserwowano wydobywania się powietrza na głowicy, a poziom płuczki w przestrzeni międzyrurowej utrzymywał się na stałym poziomie. Opróbowanie przeprowadzono metodą dwukrotnego odcięcia przyływu (fig. 50):

I okres przyływu: czas 15,5 min.; ciśnienie 418,6 atn–421,5 atn;

I okres odbudowy ciśnienia: czas 150 min.; ciśnienie 421,5 atn–455,3 atn;

II okres przyływu: czas 119 min.; ciśnienie 421,3 atn–430,3 atn;

II okres odbudowy ciśnienia: czas 359,5 min.; ciśnienie 430,3 atn–452,6 atn.

Okresy oczekiwania na przyływ prowadzono ze spadkiem ciśnienia dennego do 421,5 atn w I cyklu i 430,3 atn w II cyklu. Wielkości te są równoważne z ciśnieniem odpowiadającym gradientowi $1,29\text{--}1,30 \text{ at/10 m}$. Porównując te wartości z regionalnym gradientem ciśnień złożowych można stwierdzić, iż badany poziom został opróbowany z odpowiednią (dostatecznie wysoką) depresją. W łącznym czasie przyływu, wynoszącym 134,5 min., nie stwierdzono dopływu do próbnika. W okresach odbudowy ciśnienie denne odznaczało się bardzo powolnym wzrostem, co wskazuje, że badany poziom jest praktycznie nieprzepuszczalny i odznacza się całkowitym brakiem właściwości zbiornikowych (wykluczono możliwość uszkodzenia strefy

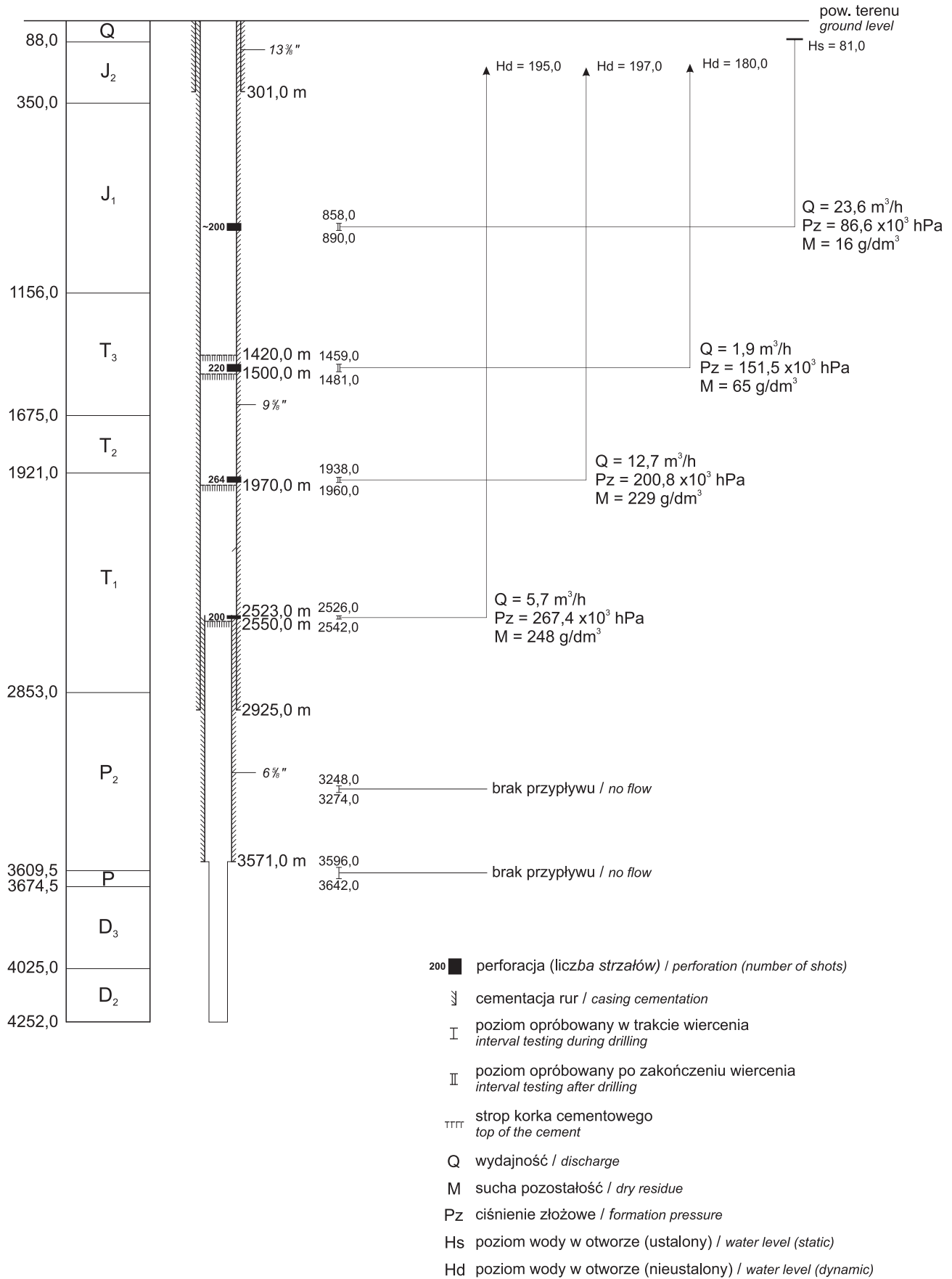


Fig. 49. Schemat opróbowania poziomów zbiornikowych w otworze Brojce IG 1

Testing scheme of Brojce IG 1 borehole

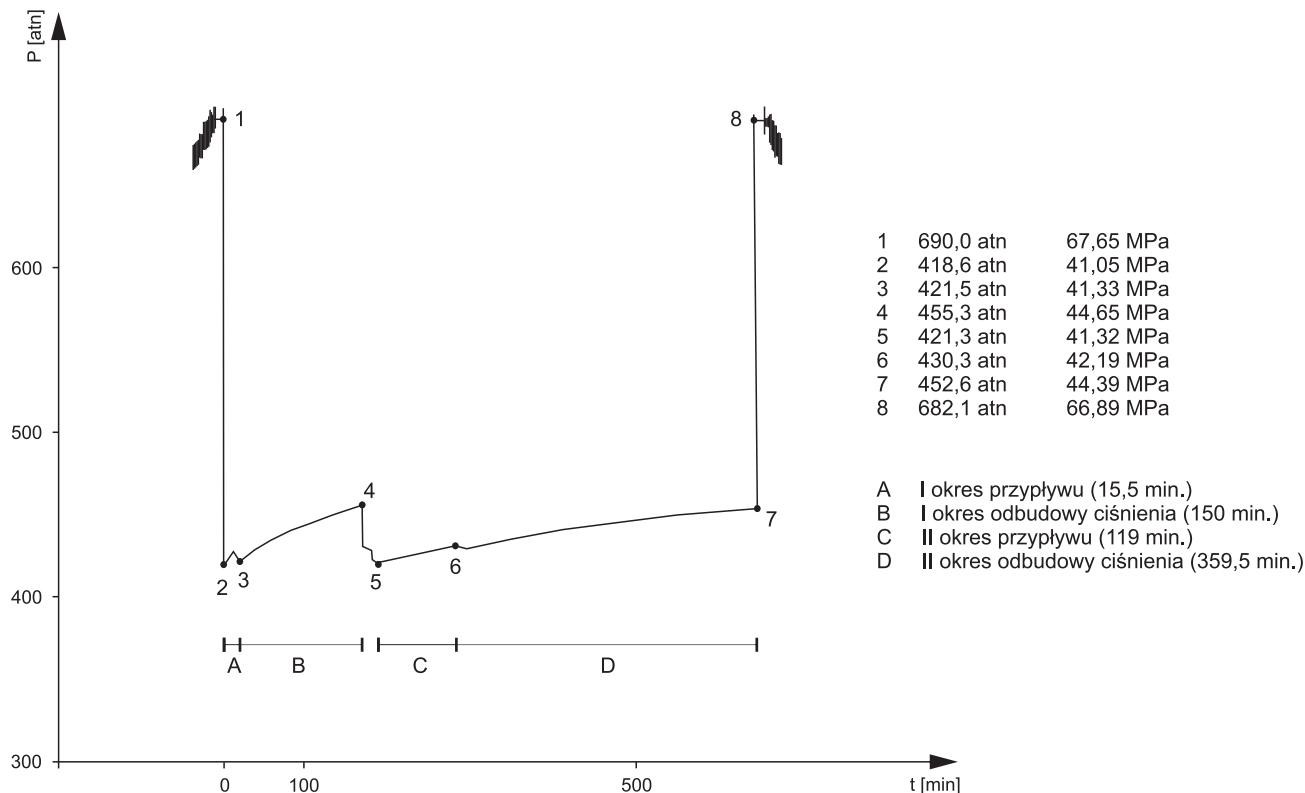


Fig. 50. Przebieg opróbowania poziomu 3248,0–3274,0 m

Testing of 3248.0–3274.0 m interval

Tabela 26

Analiza chemiczna gazu z płuczki z poziomu 3248,0–3274,0 m

Results of chemical analysis of gas sampled from drilling mud at 3248.0–3274.0 m interval

Składnik Component	Zawartość (w czystym gazie) Content (in pure gas)	
	[% obj.] / [%vol.]	[g/N m ³]
CH ₄	0,1043	0,748
C ₂ H ₆	0,0465	0,629
C ₃ H ₈	ślady / traces	–
H ₂	14,8711	13,369
CO ₂	10,0098	197,754
Ar	1,0268	18,318
N ₂	73,9415	924,786
Razem / Total	100,0000	1155,604
Suma węglowodorów [% obj.] Total hydrocarbons [% vol.]		0,1508
Suma składników palnych [% obj.] Total combustible components [% vol.]		15,0219
Gęstość gazu zanieczyszczonego powietrzem Density of gas contaminated with air		0,9940
Gęstość gazu czystego Density of pure gas		0,8940
Zawartość powietrza obliczona z ilości O ₂ [% obj.] Air content calculated from O ₂ amount [% vol.]		93,7671
Azot nadmiarowy [% obj.] Excess nitrogen		4,6087
Argon nadmiarowy [% obj.] Excess argon		0,0640
Zgazowanie [ml/l] Gas content [ml/l]		34

przytworowej). W płuczce, która wpłynęła do próbnika nie stwierdzono istotnych śladów węglowodorów. W dniu 7.09.1985 r. z próbnika pobrano próbkę gazu z odgazowania płuczki. Gaz scharakteryzowano jako gaz ziemny azotowy z domieszką dużej ilości wodoru i dwutlenku węgla (tab. 26). Ilość H₂ i CO₂ oraz stopień zgazowania wskazują, iż badany gaz pochodzi z fermentacji płuczki. Temperatura górotworu na głęb. 3253,0 m wynosiła 80°C. Po zakończeniu badań kontynuowano głębienie otworu.

Poziom 3596,0–3642,0 m (perm – czerwony spągowiec i wapień cechsztyński: piaskowce, zlepieńce, wapień, anhydryty)

Wyniki: Brak przyływu

Opróbowanie wykonano w interwale odsłoniętym pod butem rur Ø 6⁵/₈" znajdującym się na głęb. 3571,0 m, przy głębokości otworu 3642,0 m. Poziom przewiercono w dniach 8–12.10.1985 r. przy użyciu płuczki solno-skrobiowej o następujących parametrach: gęstość = 1,25 g/cm³, wiskoza = 50, filtracja = 5, pH = 9, zasolenie = 252 i wytrzymałość strukturalna = 0/0. Opróbowanie przeprowadzono w okresie 13–15.10.1985 r. przy użyciu próbnika złoża typu KII 2M-95. Uszczelniacz próbnika zapięto na głęb. 3596,0 m. Badanie wykonano stosując zalewkę wodną, zalewając wodą 1674 m przewodu ponad próbnikiem. Ciśnienie hydrostatyczne płuczki na badany poziom wynosiło 438,1 atn. Podczas opróbowania nie stwierdzono wypływu powietrza

na głowicy, a poziom płuczki w przestrzeni międzyrurowej nie uległ zmianie. Opróbowanie przeprowadzono metodą dwukrotnego odciążenia przyływu (fig. 51):

I okres przyływu: czas 9,5 min.; ciśnienie 171,3 atn–171,3 atn;

I okres odbudowy ciśnienia: czas 148 min.; ciśnienie 171,3 atn–220,7 atn;

II okres przyływu: czas 243,5 min.; ciśnienie 171,3 atn–171,3 atn;

II okres odbudowy ciśnienia: czas 418,5 min.; ciśnienie 171,3 atn–235,8 atn.

Badanie przeprowadzono ze spadkiem ciśnienia dennego do 171,3 atn, równoważnego z gradientem 0,48 at/10 m. Uwzględniając regionalny gradient ciśnienia złożowego na poziomie 1,1 at/10 m opróbowanie przeprowadzono z depresją przekraczającą 200 atn. W łącznym czasie przyływu, wynoszącym 253 min., nie stwierdzono dopływu. W okresach odbudowy ciśnienie denne odznaczało się bardzo powolnym wzrostem. Wykres krzywej odbudowy ciśnienia wskazuje, iż badany poziom jest praktycznie nieprzepuszczalny. Do próbnika napłynęła jedynie płuczka bez wyraźnych śladów bituminów. Dnia 15.10.1985 r. z przewodu nad próbnikiem pobrano próbkę gazu z odgazowania płuczki. Gaz scharakteryzowano jako gaz ziemny azotowy z domieszką dużej ilości wodoru (tab. 27). Wysoki stopień zgazowania oraz znaczna zawartość H_2 wskazują na fermentację płuczki. Temperatura górotworu na głęb. 3598,0 m wynosiła 88°C. Po zakończeniu opróbowania przystąpiono do dalszego głębszenia otworu.

Tabela 27

Analiza chemiczna gazu z płuczki z poziomu 3596,0–3642,0 m

Results of chemical analysis of gas sampled from drilling mud at 3596.0–3642.0 m interval

Składnik Component	Zawartość (w czystym gazie) Content (in pure gas)	
	[% obj.] / [%vol.]	[g/N m ³]
CH ₄	0,6754	4,845
C ₂ H ₆	0,1004	1,358
C ₃ H ₈	0,0590	1,180
C ₄ H ₁₀	ślady / traces	–
H ₂	12,5943	11,322
CO ₂	0,2391	4,724
Ar	0,9514	16,973
N ₂	85,3804	1067,853
Razem / Total	100,0000	1108,255
Suma węglowodorów [% obj.] Total hydrocarbons [% vol.]		0,8348
Suma składników palnych [% obj.] Total combustible components [% vol.]		13,4291
Gęstość gazu zanieczyszczonego powietrzem Density of gas contaminated with air		0,885
Gęstość gazu czystego Density of pure gas		0,857
Zawartość powietrza obliczona z ilości O ₂ [% obj.] Air content calculated from O ₂ amount [% vol.]		19,1383
Azot nadmiarowy [% obj.] Excess nitrogen		69,0397
Argon nadmiarowy [% obj.] Excess argon		0,7697

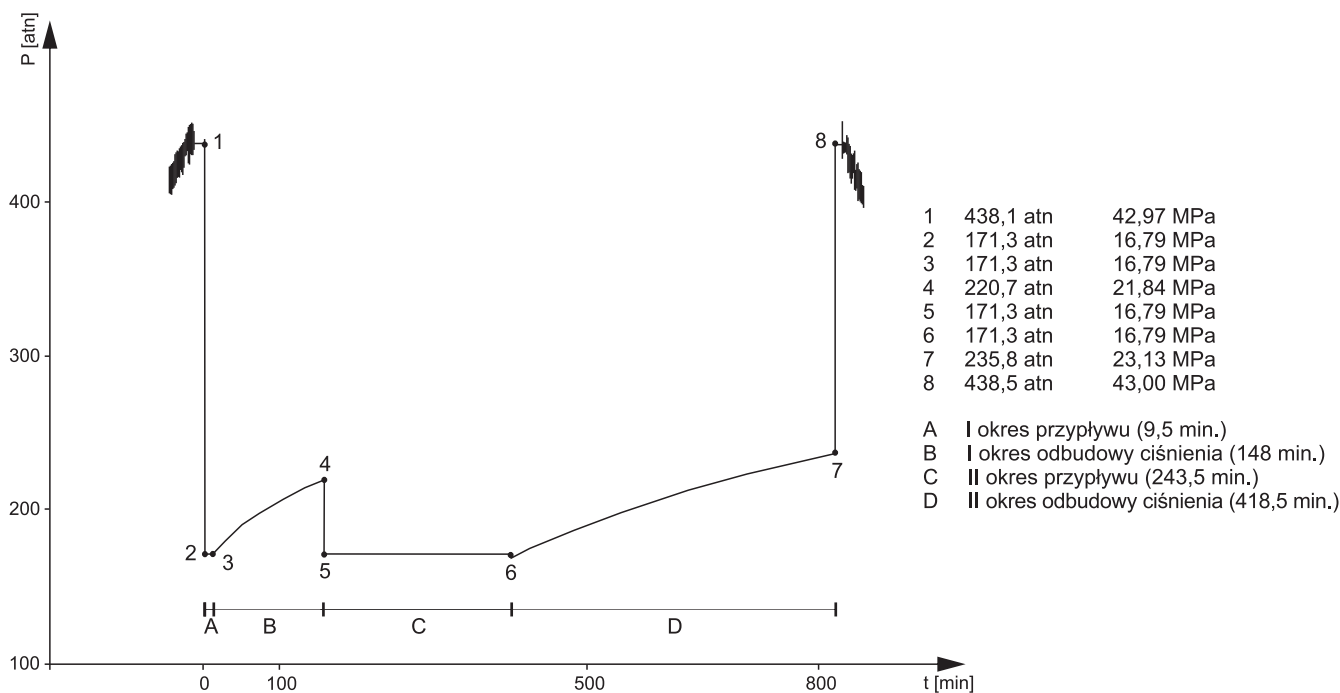


Fig. 51. Przebieg opróbowania poziomu 3596,0–3642,0 m

Testing of 3596,0–3642,0 m interval

OPRÓBOWANIE PO ZAKOŃCZENIU WIERCENIA

Opróbowanie przeprowadzono w dniach 5–27.02.1986 r. Stan techniczny otworu przed przystąpieniem do opróbowania przedstawiał się następująco:

- rury $\varnothing 13^{3/8}$ " na głęb. 0,0–301,0 m (cementowane do wierzchu);
- rury $\varnothing 9^{5/8}$ " na głęb. 0,0–2925,0 m (cementowane do wierzchu);
- rury $\varnothing 6^{5/8}$ " na głęb. 2523,0–3571,0 m (cementowane na zakładkę w rurach $\varnothing 9^{5/8}$ ").

Strop korka cementowego znajdował się na głęb. 2550,0 m.

Poziom 2526,0–2542,0 m (trias dolny – pstry piaskowiec środkowy: piaskowce)

Wyniki:

Średni przyływ solanki $Q = 5,69 \text{ m}^3/\text{h}$;

Ciśnienie złożowe $P_z = 272,7 \text{ atn}$;

Gradient ciśnienia złożowego $G = 1,08 \text{ at}/10 \text{ m}$

$(1,059 \cdot 10^{-2} \text{ MPa}/\text{m})$.

Poziom do badań udostępniono w dniu 4.02.1986 r. po likwidacji spodu otworu korkiem cementowym do głęb. 2550,0 m. Wykonano perforację bezpociskową dwóch kolumn rur: $\varnothing 6^{5/8}$ " i $\varnothing 9^{5/8}$ ", oddając 200 strzałów w rozstawie 12–13 strzałów na 1 mb perforowanego odcinka. Opróbowanie przeprowadzono w dniach 5–6.02.1986 r. za pomocą rurowego próbnika złoża typu KII 2M-146. W czasie

opróbowania stosowano płuczkę solno-skrobiową o ciężarze właściwym $1,27 \text{ g}/\text{cm}^3$, wiskozie 70, filtracji 3, pH 9, zasoleniu 240 i wytrzymałości strukturalnej o/n. Wytypowany do badań interwał przewiercono w dniu 2.07.1985 r. przy użyciu płuczki bentonitowo-skrobiowej o następujących parametrach: gęstość = $1,16 \text{ g}/\text{cm}^3$, wiskoza = 58, filtracja = 10 i pH = 8,5. Badanie wykonano stosując zalewkę wodną, zalewając wodą 649 m przewodu ponad próbnikiem. Ciśnienie hydrostatyczne płuczki na badany poziom wynosiło 306,5 atn, a początkowa depresja opróbowania 14,37 MPa. Uszczelniacz próbnika zapięto na głęb. 2515,0 m. Podczas opróbowania zaobserwowano wypływ powietrza na głowicy, początkowo silny, z czasem stopniowo malejący. Poziom płuczki w przestrzeni międzyrurowej utrzymywał się na niezmiennym poziomie. Opróbowanie przeprowadzono metodą dwukrotnego odcięcia przyływu (fig. 52):

I okres przyływu: czas 6,5 min.; ciśnienie 125,5 atn–167,3 atn;

I okres odbudowy ciśnienia: czas 121,5 min.; ciśnienie 167,3 atn–271,4 atn;

II okres przyływu: czas 60,5 min.; ciśnienie 177,9 atn–264,2 atn;

II okres odbudowy ciśnienia: czas 657 min.; ciśnienie 264,2 atn–271,6 atn.

Okresy oczekiwania na przyływ prowadzono ze spadkiem ciśnienia dennego do 167,3 atn w I cyklu i 264,2 atn w II cyklu. W łącznym czasie przyływu wynoszącym

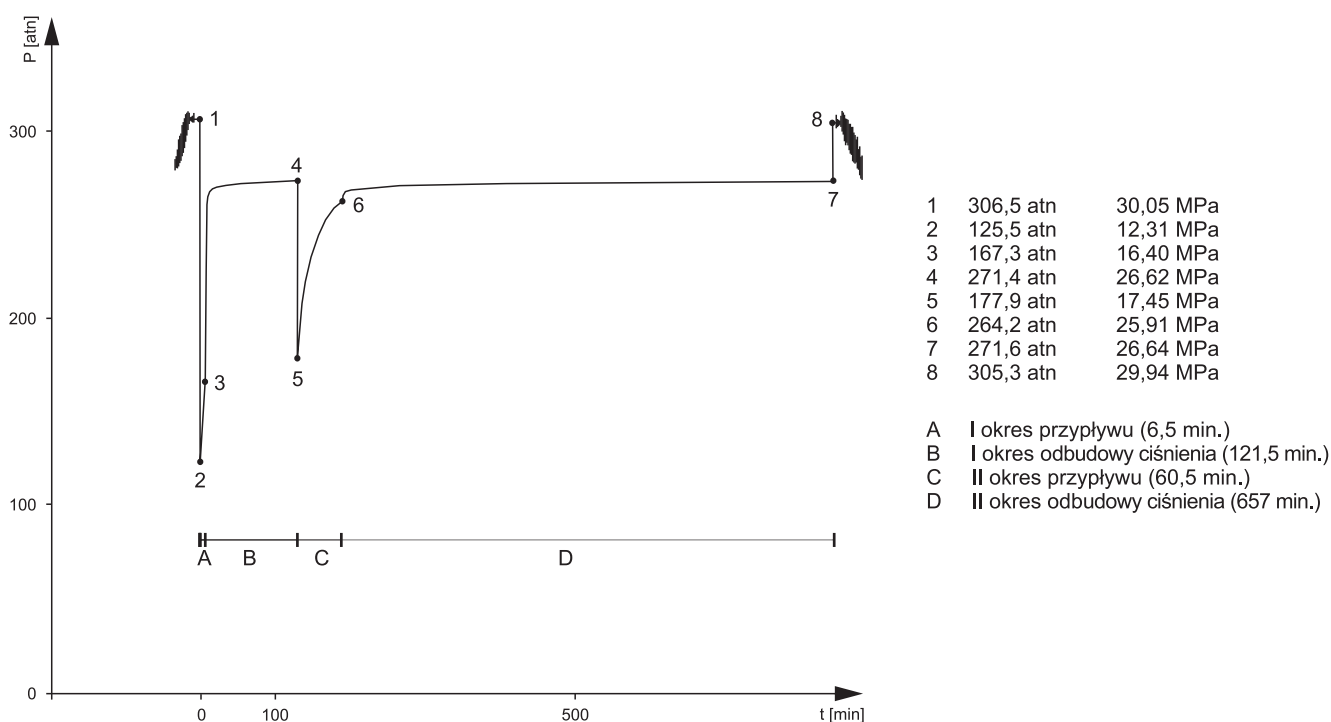


Fig. 52. Przebieg opróbowania poziomu 2526,0–2542,0 m

Testing of 2526,0–2542,0 m interval

67 min. zaobserwowano silny przyływ solanki w ilości 6,32 m³, słabo zgazowanej gazem niepalnym. Średnie natężenie przyływu wynosiło $Q = 5,69 \text{ m}^3/\text{h}$. Wysokość słupa solanki w przewodzie wiertniczym wynosiła 1664 m. Wyniki opróbowania pozwoliły na obliczenie takich parametrów złożowych, jak:

- lepkość medium złożowego: 0,76 cP;
- ciśnienie złożowe: 272,7 atn;
- gradient ciśnienia złożowego: 1,08 at/10 m;
- współczynnik hydrodynamiczny: 332,67 mD;
- współczynnik przepuszczalności: 15,8 mD;
- potencjalny wskaźnik natężenia przyływu: 3,068 m³/d/at;
- faktyczny wskaźnik natężenia przyływu: 5,578 m³/d/at;
- wskaźnik skin-efekt: -2,56;
- promień zasięgu badania: 44 m;
- wskaźnik uszkodzenia strefy przyotworowej: 0,55.

Badany poziom ma dobrą przepuszczalność, lepszą w strefie przyotworowej niż w dalszym obszarze drenażu. Temperatura badanego interwału na głęb. 2519,0 m wynosiła 67°C.

Uzyskany płyn złożowy scharakteryzowano jako solankę typu Cl-Na-Ca o mineralizacji (wyrażonej jako sucha pozostałość) 248,5 g/dm³, gęstości 1,166 g/cm³ i odczynie lekko kwaśnym (pH = 6,34). Zawartość głównych jonów wynosiła: Cl⁻ – 147 800 mg/dm³, Na⁺ – 73 200 mg/dm³ i Ca⁺² – 19 400 mg/dm³. Z pierwiastków biofilnych bromki występują w stężeniu 1300 mg/dm³, a jodki – 8,6 mg/dm³. Wyniki analizy chemicznej solanki przedstawiono w tabeli 28. W dniu 6.02.1986 r. z przewodu nad próbnikiem pobrano próbkę gazu. Gaz obecny w solance określono jako gaz ziemny azotowy z niewielką ilością metanu (5% obj.) i zawartością węglowodorów 8,7% obj. (tab. 29).

Po zakończeniu opróbowania badany poziom zlikwidowano korkiem cementowym do głęb. 1970,0 m i przystąpiono do opróbowania horyzontu pstrego piaskowca górnego.

Poziom 1938,0–1960,0 m (trias dolny – pstry piaskowiec górny [ret]: piaskowce, ilowce, mułowce)

Wyniki:

- Średni przyływ solanki $Q = 12,7 \text{ m}^3/\text{h}$;
- Ciśnienie złożowe $P_z = 204,8 \text{ atn}$;
- Gradient ciśnienia złożowego $G = 1,057 \text{ at}/10 \text{ m}$.

Poziom do badań udostępniono w dniu 9.02.1986 r., wykonując perforację bezpociskową rur $\varnothing 9\frac{5}{8}$ " z rozstawem 12 strzałów na 1 mb perforowanego odcinka (264 strzały). Opróbowanie wykonano w dniach 10–11.02.1986 r. za pomocą rurowego próbnika złoża typu KII 2M-146. W czasie opróbowania stosowano płuczkę solno-skrobiową o ciężarze właściwym 1,25 g/cm³, wiskozie 70, filtracji 3, pH 9, zasoleniu 240 i wytrzymałości strukturalnej o/n. Badany poziom zbiornikowy przewiercono w dniach 28–29.05.1985 r. przy użyciu płuczki bentonitowo-skrobiowej o następujących parametrach: gęstość = 1,15 g/cm³, wiskoza = 56, filtracja = 9, pH = 8 i wytrzymałości strukturalnej 8/12. Bada-

Tabela 28

Analiza chemiczna solanki pobranej z poziomu 2526,0–2542,0 m

Results of chemical analysis of brine sampled at 2526.0–2542.0 m interval

Składnik Component	Zawartość Content		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy / Cations			
Ca ⁺²	19 400	986,1	22,03
Mg ⁺²	2500	205,7	4,68
Sr ⁺²	738	16,8	0,38
Fe _{og.}	1,02	0,1	0,00
Na ⁺	73 200	3184,0	72,45
K ⁺	649	16,6	0,38
Li ⁺	14,3	2,1	0,05
Mn ⁺²	14,6	0,5	0,01
Cu ⁺²	<0,3	0,0	0,00
Pb ⁺²	4,86	0,0	0,00
Ni ⁺²	<0,5	0,0	0,00
Zn ⁺²	26,1	0,8	0,02
Razem Cations total	96 547,88	4412,7	100,00
Aniony / Anions			
Cl ⁻	147 800	4168,9	99,01
SO ₄ ⁻²	881	18,3	0,43
HCO ₃ ⁻	409	6,7	0,16
Br ⁻	1300	16,3	0,39
I ⁻	8,6	0,1	0,00
F ⁻	2,24	0,1	0,00
Razem Anions total	150 400,84	4210,4	99,99
Łącznie Total	246 948,72	–	–
Błąd analizy / Analysis error			
	2,35%	niedopuszczalny unacceptable	

nie wykonano stosując zalewkę wodną, zalewając wodą 40 m przewodu ponad próbnik. Ciśnienie hydrostatyczne płuczki na badany poziom wynosiło 237,1 atn, a początkowa depresja opróbowania 7,35 MPa. Uszczelniacz próbnika zapięto na głęb. 1928,0 m. Opróbowanie przeprowadzono metodą dwukrotnego odcięcia przyływu (fig. 53):

I okres przyływu: czas 4,5 min.; ciśnienie 129,0 atn–145,9 atn;

I okres odbudowy ciśnienia: czas 79,5 min.; ciśnienie 145,9 atn–203,9 atn;

II okres przyływu: czas 25,0 min.; ciśnienie 168,9 atn–202,4 atn;

II okres odbudowy ciśnienia: czas 80,5 min.; ciśnienie 202,4 atn–203,7 atn.

Podczas opróbowania stwierdzono bardzo silny wpływ powietrza na głowicy, stopniowo malejący. Poziom płuczki w przestrzeni międzyrurowej utrzymywał się na jednakowym poziomie.

W sumarycznym czasie przyływu trwającym 29,5 min. otrzymano silny przyływ solanki w ilości 6,3 m³ ze śladami gazu. Średnia wielkość przyływu wynosiła zatem

Tabela 29
Analiza chemiczna gazu z poziomu 2526,0–2542,0 m

Results of chemical analysis of gas sampled
at 2526.0–2542.0 m interval

Składnik Component	Zawartość (w czystym gazie) Content (in pure gas)	
	[% obj.] / [%vol.]	[g/N m ³]
CH ₄	5,0652	36,333
C ₂ H ₆	0,0880	1,190
C ₃ H ₈	0,0167	0,334
C ₄ H ₁₀	0,0077	0,147
H ₂	4,0167	3,611
CO ₂	0,4564	9,017
Ar	0,0234	0,418
He	0,9243	1,664
N ₂	89,4016	1118,146
Razem / Total	100,0000	1170,860
Suma węglowodorów [% obj.] Total hydrocarbons [% vol.]		5,1776
Suma składników palnych [% obj.] Total combustible components [% vol.]		9,1943
Suma gazów szlachetnych [% obj.] Total noble gases [% vol.]		0,9477
Gęstość gazu zanieczyszczonego powietrzem Density of gas contaminated with air		0,9340
Gęstość gazu czystego Density of pure gas		0,9060
Zawartość powietrza obliczona z ilości O ₂ [% obj.] Air content calculated from O ₂ amount [% vol.]		29,8920
Azot nadmiarowy [% obj.] Excess nitrogen		62,6777
Argon nadmiarowy [% obj.] Excess argon		0,0164

Q = 12,73 m³/h. Wysokość słupa solanki w przewodzie wiertniczym wynosiła 1683 m. Wartości parametrów złożowych przedstawiają się następująco:

- lepkość medium złożowego: 0,95 cP;
- ciśnienie złożowe: 204,8 atn;
- gradient ciśnienia złożowego: 1,057at/10 m;
- współczynnik hydrodynamiczny: 10 794,2 mD;
- współczynnik przepuszczalności: 466,1 mD;
- potencjalny wskaźnik natężenia przyływu: 83,56 m³/d/at;
- faktyczny wskaźnik natężenia przyływu: 23,42 m³/d/at;
- wskaźnik skin-efekt: +17,43;
- strata ciśnienia na pokonanie wskaźnika skin-efekt: 9,4 at;
- promień zasięgu badania: 131 m;
- wskaźnik uszkodzenia strefy przyotworowej: 3,57.

Badany poziom ma wysoką przepuszczalność, ograniczoną w strefie przyotworowej, najprawdopodobniej wskutek warunków dowiercenia poziomu. Temperatura badanego interwału na głęb. 1930,0 m wynosiła 50°C.

Uzyskany płyn złożowy scharakteryzowano jako solankę typu Cl–Na o suchej pozostałości 228,8 g/dm³, gęstości 1,154 g/cm³ i odczynie obojętnym (pH = 6,68). Zawartość głównych jonów wynosiła: Cl⁻ – 136 500 mg/dm³ i Na⁺ – 68 400 mg/dm³. Z pierwiastków biofilnych bromki występują w stężeniu 1100 mg/dm³, a jodki – 15,6 mg/dm³. Wyniki analizy chemicznej solanki przedstawiono w tabeli 30. W dniu 10.02.1986 r. z przewodu nad próbnikiem pobrano próbkę gazu, który scharakteryzowano jako gaz ziemny azotowy (tab. 31).

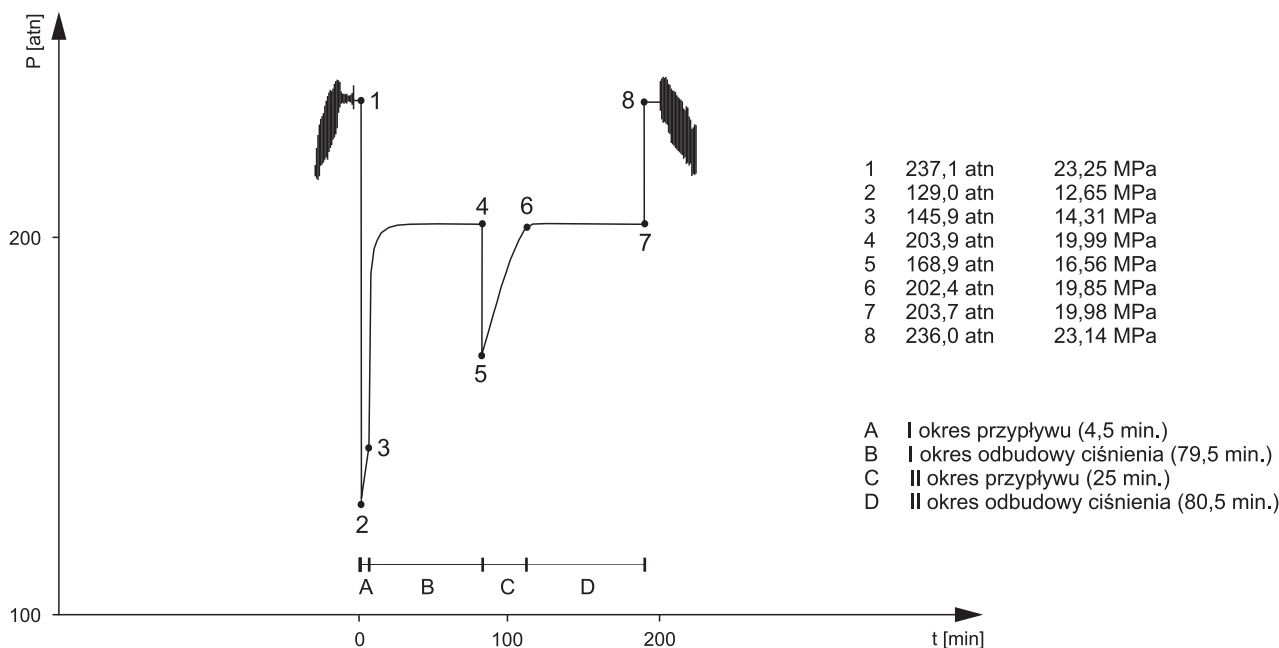


Fig. 53. Przebieg opróbowania poziomu 1938,0–1960,0 m

Testing of 1938,0–1960,0 m interval

Po zakończeniu opróbowania badany poziom zlikwidowano korkiem cementowym do głęb. 1500,0 m i przystąpiono do opróbowania horyzontu triasu górnego.

Poziom 1459,0–1481,0 m (trias górny – kajper: piaskowce)

Wyniki:

Średni przyływ solanki $Q = 1,93 \text{ m}^3/\text{h}$;

Ciśnienie złożowe $P_z = 154,5 \text{ atn}$.

Gradient ciśnienia złożowego $G = 1,065 \text{ at}/10 \text{ m}$.

Poziom do badań udostępniono w dniach 15–16.02.1986 r. przez perforację bezpociskową rur $\varnothing 9^{5/8}$ " z częstotliwością 10 strzałów na 1 mb perforowanego odcinka (220 strzałów). Opróbowanie wykonano w dniach 17–18.02.1986 r. przy użyciu rurowego próbnika złoża typu KII 2M-146. W czasie opróbowania stosowano płuczkę solno-skrobiową o ciężarze właściwym $1,21 \text{ g}/\text{cm}^3$, wiskozie 80 i filtracji 4. Badany interwał został przewiercony w dniu 8.05.1985 r. przy użyciu płuczki bentonitowo-skrobiowej o następujących parametrach: gęstość = $1,13 \text{ g}/\text{cm}^3$, wiskoza = 60, filtracja = 6 i $\text{pH} = 9$. Po 5 minutach oczekiwania na przyływ, z powodu zatkania próbnika pozostałościami materiałów użytych do perforacji, próba okazała się nieudana. Powtórne zapuszczenie próbnika odbyło się w dniu 19.02.1986 r. Uszczelniacz próbnika zapięto na głęb. 1448,0 m. Badanie wykonano stosując zalewkę wodną, zalewając wodą 40 m przewodu ponad próbnikiem. Ciśnienie hydrostatyczne płuczki na badany poziom wynosiło 173,5 atn, a początkowa depresja opróbowania 13,60 MPa. Opróbowanie przeprowadzono metodą jednokrotnego odcięcia przyływu (fig. 54):

I okres przyływu: czas 157 min.; ciśnienie 14,8 atn–151,9 atn;

I okres odbudowy ciśnienia: czas 58 min.; ciśnienie 151,9 atn–152,9 atn.

W początkowej fazie opróbowania, w czasie pierwszych 90 min., zanotowano silny wpływ powietrza na głowicy, stopniowo malejący, aż do ustania. Poziom płuczki w przeszerzeniu międzyrurowej utrzymywał się bez zmian.

W czasie 157 min. do przewodu napłynęło $5,05 \text{ m}^3$ solanki bez śladów bituminów. Średni przyływ solanki wyniósł $Q = 1,93 \text{ m}^3/\text{h}$. Wysokość słupa solanki w przewodzie wiertniczym wynosiła 1355 m.

Wartości parametrów złożowych przedstawiają się następująco:

- lepkość medium złożowego: 1,2 cP;
- ciśnienie złożowe: 154,5 atn;
- gradient ciśnienia złożowego: 1,065 at/10 m;
- współczynnik hydrodynamiczny: 939,7 mD;
- współczynnik przepuszczalności: 53,7 mD;
- potencjalny wskaźnik natężenia przyływu: $7,57 \text{ m}^3/\text{d}/\text{at}$;
- faktyczny wskaźnik natężenia przyływu: $6,26 \text{ m}^3/\text{d}/\text{at}$;
- wskaźnik skin-efekt: +1,4;

Tabela 30

Analiza chemiczna solanki pobranej z poziomu 1938,0–1960,0 m

Results of chemical analysis of brine sampled at 1938.0–1960.0 m interval

Składnik Component	Zawartość Content		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy / Cations			
Ca ⁺²	15 900	793,4	19,79
Mg ⁺²	2700	222,1	5,54
Sr ⁺²	8,55	0,2	0,00
Fe _{og.}	0,52	0,0	0,00
Na ⁺	68 400	2975,2	74,20
K ⁺	636	16,3	0,41
Li ⁺	15,4	2,2	0,05
Mn ⁺²	5,47	0,2	0,00
Cu ⁺²	<0,3	0,0	0,00
Pb ⁺²	0,52	0,0	0,00
Ni ⁺²	<0,6	0,0	0,00
Zn ⁺²	1,30	0,0	0,00
Razem Cations total	87 667,76	4009,6	99,99
Aniony / Anions			
Cl ⁻	136 500	3850,2	99,08
SO ₄ ⁻²	817	17,0	0,44
HCO ₃ ⁻	293	4,8	0,12
Br ⁻	1100	13,8	0,36
I ⁻	15,6	0,1	0,00
F ⁻	1,18	0,1	0,00
Razem Anions total	138 726,78	3886,0	100,00
Łącznie Total	226 394,54	–	–
Błąd analizy / Analysis error			
	1,56%	dopuszczalny acceptable	

- strata ciśnienia na pokonanie wskaźnika skin-efekt: 1,3 at;
- promień zasięgu badania: 101 m;
- wskaźnik uszkodzenia strefy przyotworowej: 1,21.

Badany poziom ma dobrą przepuszczalność, bez istotnych zmian w strefie przyotworowej. Temperatura badanego poziomu na głęb. 1451,0 m wynosiła 43°C.

Uzyskany płyn złożowy scharakteryzowano jako solankę typu Cl–Na o mineralizacji (suchej pozostałości) 65,4 g/dm³, gęstości 1,045 g/cm³ i odczynie lekko kwaśnym ($\text{pH} = 6,00$). Zawartość głównych jonów wynosiła: Cl⁻ – 29 400 mg/dm³ i Na⁺ – 18 400 mg/dm³. Z pierwiastków biofilnych jony bromkowe występują w stężeniu 80 mg/dm³, a jodkowe – 10,7 mg/dm³. Wyniki analizy chemicznej solanki przedstawiono w tabeli 32. W dniu 19.02.1986 r. z przewodu nad próbnikiem pobrano próbkę gazu, który scharakteryzowano jako gaz ziemny azotowy (tab. 33).

Po zakończeniu opróbowania badany poziom zlikwidowano korkiem cementowym do głęb. 1420,0 m i przystąpiono do opróbowania utworów jury dolnej.

Tabela 31

Analiza chemiczna gazu z poziomu 1938,0–1960,0 m

Results of chemical analysis of gas sampled at 1938.0–1960.0 m interval

Składnik Component	Zawartość (w czystym gazie) Content (in pure gas)	
	[% obj.] / [%vol.]	[g/N m ³]
CH ₄	0,4468	3,205
C ₂ H ₆	0,0138	0,187
C ₂ H ₄	0,0166	0,210
C ₃ H ₈	0,0046	0,092
C ₃ H ₆	0,0229	0,437
CO ₂	2,7620	54,566
Ar	0,0543	0,968
He	0,0358	0,064
N ₂	96,6432	1208,717
Razem / Total	100,0000	1268,446
Suma węglowodorów [% obj.] Total hydrocarbons [% vol.]		0,5047
Suma składników palnych [% obj.] Total combustible components [% vol.]		0,5047
Suma gazów szlachetnych [% obj.] Total noble gases [% vol.]		0,0901
Gęstość gazu zanieczyszczonego powietrzem Density of gas contaminated with air		0,9920
Gęstość gazu czystego Density of pure gas		0,9820
Zawartość powietrza obliczona z ilości O ₂ [% obj.] Air content calculated from O ₂ amount [% vol.]		57,2776
Azot nadmiarowy [% obj.] Excess nitrogen		41,2883
Argon nadmiarowy [% obj.] Excess argon		0,0232
Zgazowanie [ml/l] Gas content [ml/l]		99

Tabela 32

Analiza chemiczna solanki pobranej z poziomu 1459,0–1481,0 m

Results of chemical analysis of brine sampled at 1459.0–1481.0 m interval

Składnik Component	Zawartość Content		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy / Cations			
Ca ⁺²	3700	184,6	17,40
Mg ⁺²	732	60,2	5,67
Str ⁺²	0,09	0,0	0,00
Fe _{og.}	168	9,0	0,85
Na ⁺	18 400	800,4	75,45
K ⁺	166	4,2	0,40
Li ⁺	1,99	0,3	0,03
Mn ⁺²	6,94	0,3	0,03
Cu ⁺²	<0,1	0,0	0,00
Pb ⁺²	<0,2	0,0	0,00
Ni ⁺²	0,27	<0,1	0,03
Zn ⁺²	1,51	<0,1	0,14
Razem Cations total	23 176,80	1059,0	100,00
Aniony / Anions			
Cl ⁻	29 400	829,3	85,43
SO ₄ ⁻²	3200	66,6	6,86
HCO ₃ ⁻	4500	73,7	7,59
Br ⁻	80	1,0	0,10
I ⁻	10,7	0,1	0,01
F ⁻	0,59	0,0	0,00
Razem Anions total	37 191,29	970,7	99,99
Łącznie Total	60 368,09	–	–
Błąd analizy / Analysis error			
	4,35%		niedopuszczalny unacceptable

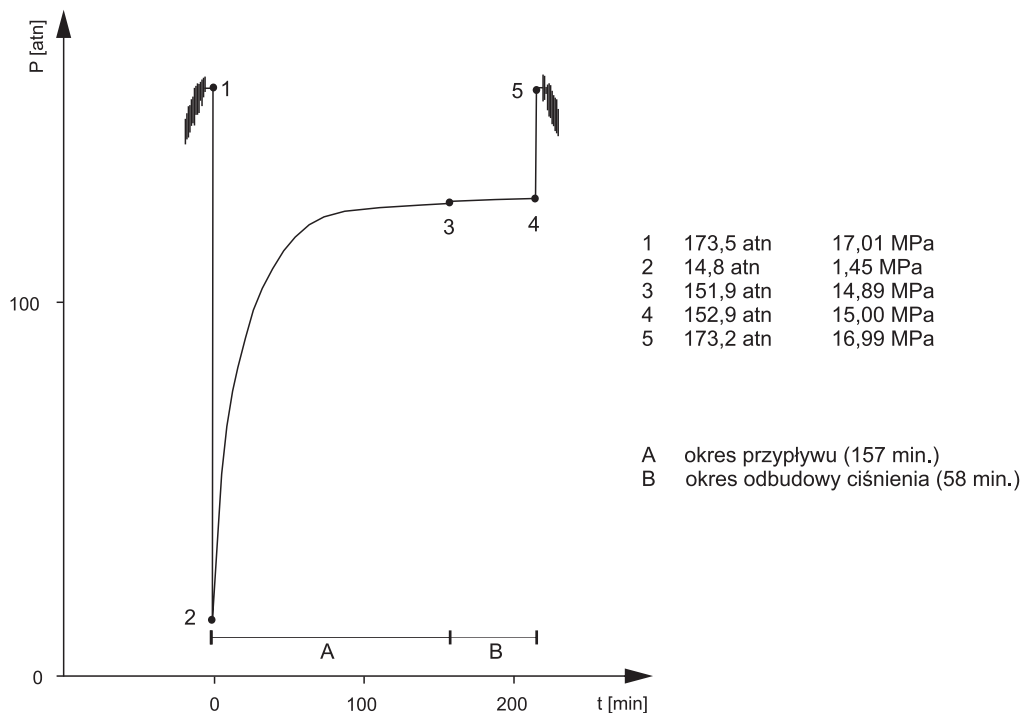


Fig. 54. Przebieg opróbowania poziomu 1459,0–1481,0 m

Testing of 1459,0–1481,0 m interval

Poziom 858,0–890,0 m (jura dolna, synemur: piaskowce)

Wyniki:

Średni przyrwył solanki $Q = 23,6 \text{ m}^3/\text{h}$;

Ciśnienie złożowe $P_z = 88,3 \text{ atn}$;

Gradient ciśnienia złożowego $G = 1,029 \text{ at}/10 \text{ m}$.

Poziom do badań udostępniono w dniach 24–25.02.1986 r., perforując bezpociskowo rury $\varnothing 9^5/8''$ (6–7 ładunków na 1 mb). Opróbowanie wykonano w dniach 26–27.02.1986 r. przy użyciu rurowego próbnika złoża typu KII 2M-146 na raku (kotwicy) w rurach $\varnothing 9^5/8''$. W czasie opróbowania stosowano płuczkę solno-skrobiową o ciężarze właściwym $1,18 \text{ g}/\text{cm}^3$, wiskozie 70, filtracji 5 i zasoleniu 200. Badany interwał przewiercono w dniu 28.04.1985 r. przy użyciu płuczki bentonitowej o następujących parametrach: gęstość = $1,12 \text{ g}/\text{cm}^3$, wiskoza = 60, filtracja = 6, pH = 9 i wytrzymałości strukturalnej 0/0.

Uszczelniacz próbnika zapięto na głęb. 845,0 m. Badanie wykonano przy pełnej depresji, tzn. bez stosowania zalewki. Ciśnienie hydrostatyczne płuczki na badany poziom wynosiło 100,3 atn, a początkowa depresja opróbowania 0,81 MPa. Opróbowanie przeprowadzono metodą dwukrotnego odcięcia przyrwyłu (fig. 55):

I okres przyrwyłu: czas 5,5 min.; ciśnienie 78,3 atn–85,3 atn;

I okres odbudowy ciśnienia: czas 88,5 min.; ciśnienie 85,3 atn – 86,4 atn;

II okres przyrwyłu: czas 212,0 min.; ciśnienie 85,8 atn–86,4 atn;

II okres odbudowy ciśnienia: czas 554 min.; ciśnienie 86,4 atn – 86,5 atn.

Tabela 33

Analiza chemiczna gazu z poziomu 1459,0–1481,0 m

Results of chemical analysis of gas sampled at 1459.0–1481.0 m interval

Składnik Component	Zawartość (w czystym gazie) Content (in pure gas)	
	[% obj.] / [%vol.]	[g/N m ³]
CH ₄	0,2791	2,002
C ₂ H ₆	0,0096	0,130
C ₂ H ₄	0,0225	0,284
C ₃ H ₈	0,0025	0,050
C ₃ H ₆	0,0151	0,288
H ₂	1,1447	1,029
CO ₂	17,3611	342,986
Ar	0,0668	1,192
He	0,0280	0,050
N ₂	81,0706	1013,950
Razem / Total	100,0000	1361,961
Suma węglowodorów [% obj.] Total hydrocarbons [% vol.]		0,3288
Suma składników palnych [% obj.] Total combustible components [% vol.]		1,4735
Suma gazów szlachetnych [% obj.] Total noble gases [% vol.]		0,0948
Gęstość gazu zanieczyszczonego powietrzem Density of gas contaminated with air		1,019
Gęstość gazu czystego Density of pure gas		1,053
Zawartość powietrza obliczona z ilości O ₂ [% obj.] Air content calculated from O ₂ amount [% vol.]		63,5968
Azot nadmiarowy [% obj.] Excess nitrogen		29,5123
Argon nadmiarowy [% obj.] Excess argon		0,0243

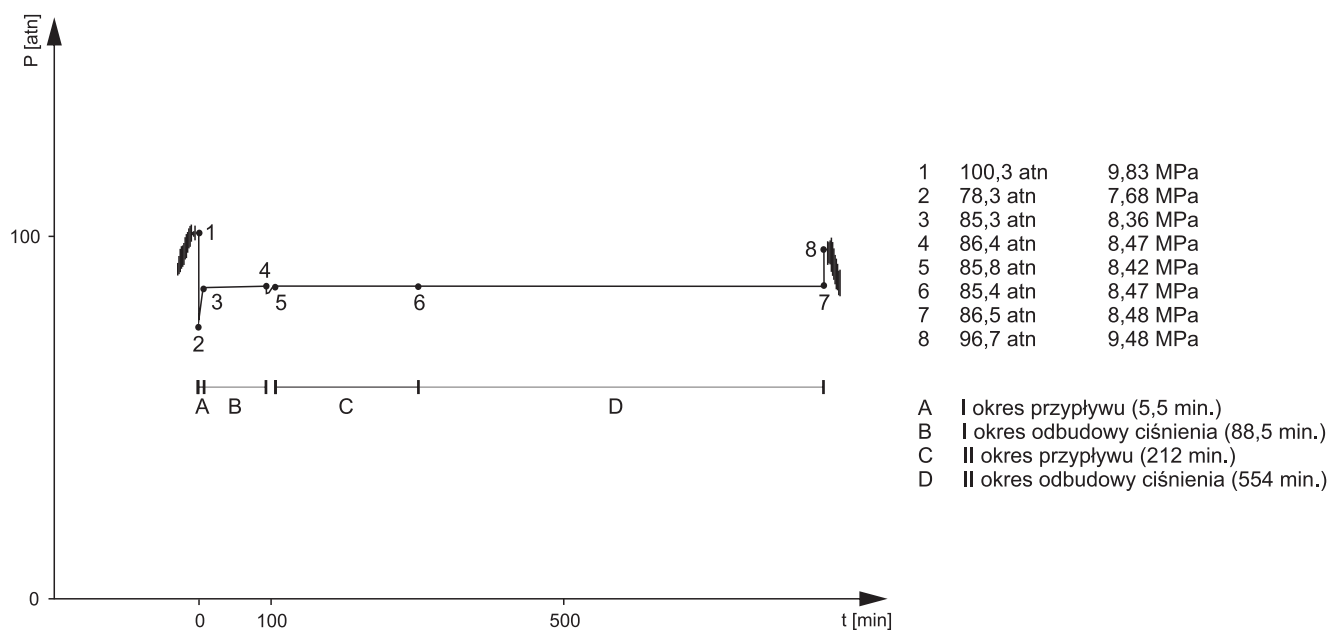


Fig. 55. Przebieg opróbowania poziomu 858,0–890,0 m

Testing of 858,0–890,0 m interval

Tabela 34
Analiza chemiczna wody pobranej z poziomu 858,0–890,0 m
 Results of chemical analysis of water sampled
 at 858.0–890.0 m interval

Składnik Component	Zawartość Content		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy / Cations			
Ca ⁺²	565	28,2	10,21
Mg ⁺²	0,02	0,0	0,00
Sr ⁺²	8,55	0,2	0,07
Fe _{og.}	0,14	0,0	0,00
Na ⁺	5600	243,6	88,20
K ⁺	166	4,2	1,52
Li ⁺	0,15	0,0	0,00
Mn ⁺²	<0,2	0,0	0,00
Cu ⁺²	<0,02	0,0	0,00
Pb ⁺²	0,05	0,0	0,00
Ni ⁺²	0,06	0,0	0,00
Zn ⁺²	0,50	0,0	0,00
Razem Cations total	6340,47	276,2	100,00
Aniony / Anions			
Cl ⁻	8300	234,1	92,60
SO ₄ ⁻²	107	2,2	0,87
CO ₃ ⁻²	240	3,9	1,54
Br ⁻	5,6	0,1	0,04
I ⁻	5,4	0,0	0,00
F ⁻	0,96	0,1	0,04
OH ⁻	211	12,4	4,91
Razem Anions total	8869,96	252,8	100,00
Łącznie Total	15 210,43	–	–
Błąd analizy / Analysis error			
	4,42%	niedopuszczalny unacceptable	

W początkowej fazie opróbowania przez okres 6 min. obserwowano silny wypływ powietrza na głowicy, stopniowo malejący, aż do ustania po okresie 13 minut od początku opróbowania. Poziom płuczki w przestrzeni międzyrurowej

utrzymywał się bez zmian. Wysokość słupa wody w przewodzie wiertniczym wynosiła 762 m.

W czasie 7 min. do przewodu dopłynęło 2,75 m³ solanki, co daje średni przypływ w ilości Q = 23,6 m³/h. W związku z ustaniem przypływu i pełną stabilizacją ciśnienia dennego w drugim cyklu wartości parametrów złożowych określono na podstawie I cyklu opróbowania:

- lepkość medium złożowego: 1,0 cP;
- ciśnienie złożowe: 88,3 atn;
- gradient ciśnienia złożowego: 1,029 at/10 m;
- współczynnik hydrodynamiczny: 20 525,4 mD;
- współczynnik przepuszczalności: 641,4 mD;
- potencjalny wskaźnik natężenia przypływu: 175,4 m³/d/at;
- faktyczny wskaźnik natężenia przypływu: 134,9 m³/d/at;
- wskaźnik skin-efekt: +1,85;
- strata ciśnienia na pokonanie wskaźnika skin-efekt: 1,15 at;
- promień zasięgu badania: 68 m;
- wskaźnik uszkodzenia strefy przyotworowej: 1,3.

Badany poziom ma wysoką przepuszczalność, praktycznie nie uszkodzoną w strefie przyotworowej. Temperatura skał w badanym interwale, na głęb. 849,0 m, wynosiła 20°C.

Uzyskaną wodę zaliczono do typu Cl–Na o suchej pozostałości 16,0 g/dm³, gęstości 1,012 g/cm³ i odczynie zasadowym (pH = 10,76), wskazujących na lekkie zanieczyszczenie płynu złożowego płuczka. W związku z powyższym oznaczono zasadowość mineralną (16,4 mval/dm³) i ogólną (20,4 mval/dm³), a następnie na ich podstawie wyliczono przypuszczalne stężenia jonów CO₃⁻² i OH⁻. Zawartość głównych jonów wynosiła: Cl⁻ – 8300 mg/dm³ i Na⁺ – 5600 mg/dm³. Z pierwiastków biofilnych bromki występują w ilości 5,6 mg/dm³, a jodki – 5,4 mg/dm³. Wyniki analizy chemicznej wody przedstawiono w tabeli 34. W dniu 27.02.1986 r. z przewodu nad próbnikiem pobrano próbkę gazu, który scharakteryzowano jako gaz ziemny bezgazoliny (tab. 35).

Po zakończeniu opróbowania otwór wiertniczy zlikwidowano do wierzchu.

PODSUMOWANIE

W wyniku opróbowania nie stwierdzono występowania węglowodorów w utworach permu, zarówno w poziomie dolomitu głównego, jak i czerwonego spągowca (tab. 36). Możliwość występowania złóż ropy i gazu w utworach permu na opisywanym obszarze określono negatywnie z uwagi na brak własności zbiornikowych badanych utworów. Poziomów zbiornikowych ropy i gazu nie stwierdzono również w zalegających poniżej utworach dewonu górnego i środkowego (osadów karbonu nie stwierdzono).

W wyniku opróbowania stwierdzono, iż utwory permu, zarówno dolomit główny, jak i czerwony spągowiec, są nieprzepuszczalne. Brak przypływu wskazuje na całkowity

brak właściwości zbiornikowych tych utworów. Przepuszczalność dolomitu głównego jest jednak związana ze szczelinowością, w związku z czym w strefach bardziej spękanych może zachodzić znaczne poprawienie właściwości zbiornikowych. Wszystkie opróbowane poziomy mezozoiku odznaczają się natomiast dobrą przepuszczalnością, a w odniesieniu do utworów górnego pstrego piaskowca (retu) i jury dolnej – wysoką. W żadnym z badanych interwałów nie stwierdzono wyraźnych objawów bitumiczności.

Utwory mezozoiku odznaczają się dobrymi własnościami zbiornikowymi, zwłaszcza utwory jury dolnej, z których uzyskano średni przypływ solanek 23,6 m³/h. Poziomy

zbiornikowe mezozoiku leżą w strefie niskich ciśnień złożowych, o gradientach wzrastających wraz z głęb. od $1,0 \cdot 10^3 \text{hPa}/10 \text{ m}$ w jurze dolnej do $1,05 \cdot 10^3 \text{hPa}/10 \text{ m}$ w środkowym pstrym piaskowcu. Stopień metamorfizmu solanek triasu dolnego jest średni i wskazuje na średnie warunki dla zachowania się węglowodorów. W przypadku triasu górnego i jury dolnej stopień metamorfizmu jest słaby, co świadczy o niekorzystnych warunkach dla zachowania się złóż węglowodorów. W profilu hydrochemicznym stwierdzono wyraźny wzrost mineralizacji wraz z głębokością oraz ogólny wzrost stężenia chlorków kosztem siarczanów i wodorowęglanów (fig. 56). Niska mineralizacja wód w poziomie jury dolnej wskazuje, iż poziom ten znajduje się w strefie intensywnej wymiany wód złożowych. Podwyższona zawartość jodu jest prawdopodobnie wynikiem obecności substancji organicznej w piaskowcach jury dolnej.

Na podstawie badań składu chemicznego wód złożowych możliwa jest ocena ich genezy i stopnia przeobrażenia (Razowska, 1999). Informacji w tym zakresie dostarczają wskaźniki hydrogeochemiczne, których wartości zmieniają się w zależności od chemizmu wód podziemnych i procesów biorących udział w jego formowaniu się. Wartości najważniejszych wskaźników hydrogeochemicznych, na podstawie których jest możliwa interpretacja wyników badań wód złożowych na Niżu Polskim, zestawiono w tabeli 37. Solanki występujące w utworach triasu można zaliczyć do reliktowych, występujących w strefie stagnacji hydrodynamicznej. Wskazuje na to wartość wskaźnika $r(\text{Na}^+/\text{Cl}^-)$, wynosząca $<0,86$, a także stosunek chlorków do bromków wynoszący znacznie poniżej 300 oraz wskaźnik siarczanowy poniżej jedności (Bojarski, 1996). Solanki kompleksu górnotriasowego należy zaliczyć do wód reliktowych/synsedymacyjnych z wyraźną domieszką wód paleoinfiltracyjnych

Tabela 35

Analiza chemiczna gazu z poziomu 858,0–890,0 m

Results of chemical analysis of gas sampled at 858.0–890.0 m interval

Składnik Component	Zawartość (w czystym gazie) Content (in pure gas)	
	[% obj.] / [%vol.]	[g/N m ³]
CH ₄	0,4468	3,205
C ₂ H ₆	0,0138	0,187
C ₂ H ₄	0,0166	0,210
C ₃ H ₈	0,0046	0,092
C ₃ H ₆	0,0229	0,437
C ₄ H ₁₀		
CO ₂	2,7620	54,566
Ar	0,0543	0,968
He	0,0358	0,064
N ₂	96,6432	1208,717
Razem / Total	100,0000	1268,446
Suma węglowodorów [% obj.] Total hydrocarbons [% vol.]		12,1181
Suma składników palnych [% obj.] Total combustible components [% vol.]		12,1181
Suma gazów szlachetnych [% obj.] Total noble gases [% vol.]		0,1045
Gęstość gazu zanieczyszczonego powietrzem Density of gas contaminated with air		0,995
Gęstość gazu czystego Density of pure gas		0,983
Zawartość powietrza obliczona z ilości O ₂ [% obj.] Air content calculated from O ₂ amount [% vol.]		60,7583
Azot nadmiarowy [% obj.] Excess nitrogen		30,0254
Argon nadmiarowy [% obj.] Excess argon		0,0308
Zgazowanie [ml/l] Gas content [ml/l]		66

Tabela 36

Zbiornikowe zestawienie wyników opróbowania

Summary of testing results

Głębokość [m] Depth	Stratygrafia ¹⁾ Stratigraphy	Data perforacji Perforation date	Data badania Testing date	Rodzaj przyływu Type of medium	Ciśnienie złożowe Formation pressure	Wielkość przyływu Flow	Poziom płynu Liquid level	Typ płynu Liquid type
[m]					[hPa]	[m ³ /h]	[m]	
3248–3274	perm (dolomit główny)	–	5–7.09.1985	brak przyływu no flow	–	–	–	–
3596–3642	perm (czerwony spągowiec)	–	13–15.10.1985	brak przyływu no flow	–	–	–	–
2526–2542	trias dolny (pstry piaskowiec środkowy)	4.02.1986	5–6.02.1986	solanka brine	267,4·10 ³	5,69	195*	24,8% Cl–Na–Ca,I,F
1938–1960	trias dolny (pstry piaskowiec górný /ret/)	9.02.1986	10–11.02.1986	solanka brine	200,8·10 ³	12,70	197*	22,9% Cl–Na,I
1459–1481	trias górny	15–16.02.1986	19.02.1986	solanka brine	151,5·10 ³	1,93	180*	6,5% Cl–Na,I
858–890	jura dolna	24–25.02.1986	26–27.02.1986	woda mineralna mineral water	86,6·10 ³	23,60	81	1,6% Cl–Na,I

* poziom niestabilizowany

nych, typowych dla strefy przejściowej pomiędzy strefą stagnacji hydrodynamicznej, a strefą aktywnej wymiany. Potwierdza to stosunek miliwali jonów sodowych i chlorkowych, który jest zbliżony do 1, przy jednoczesnej wartości wskaźnika Cl^-/Br^- przekraczającej znacznie 300 i wartości wskaźnika siarczanowego w przedziale 1–10. W przypadku

wód występujących w utworach jury dolnej nie przeprowadzono interpretacji z uwagi na zanieczyszczenie próbki płuczką wiertniczą. Przepuszczalnie są to wody młode, zawierające składową infiltracyjną i krążące w dolnej części strefy aktywnej, choć powolnej wymiany.

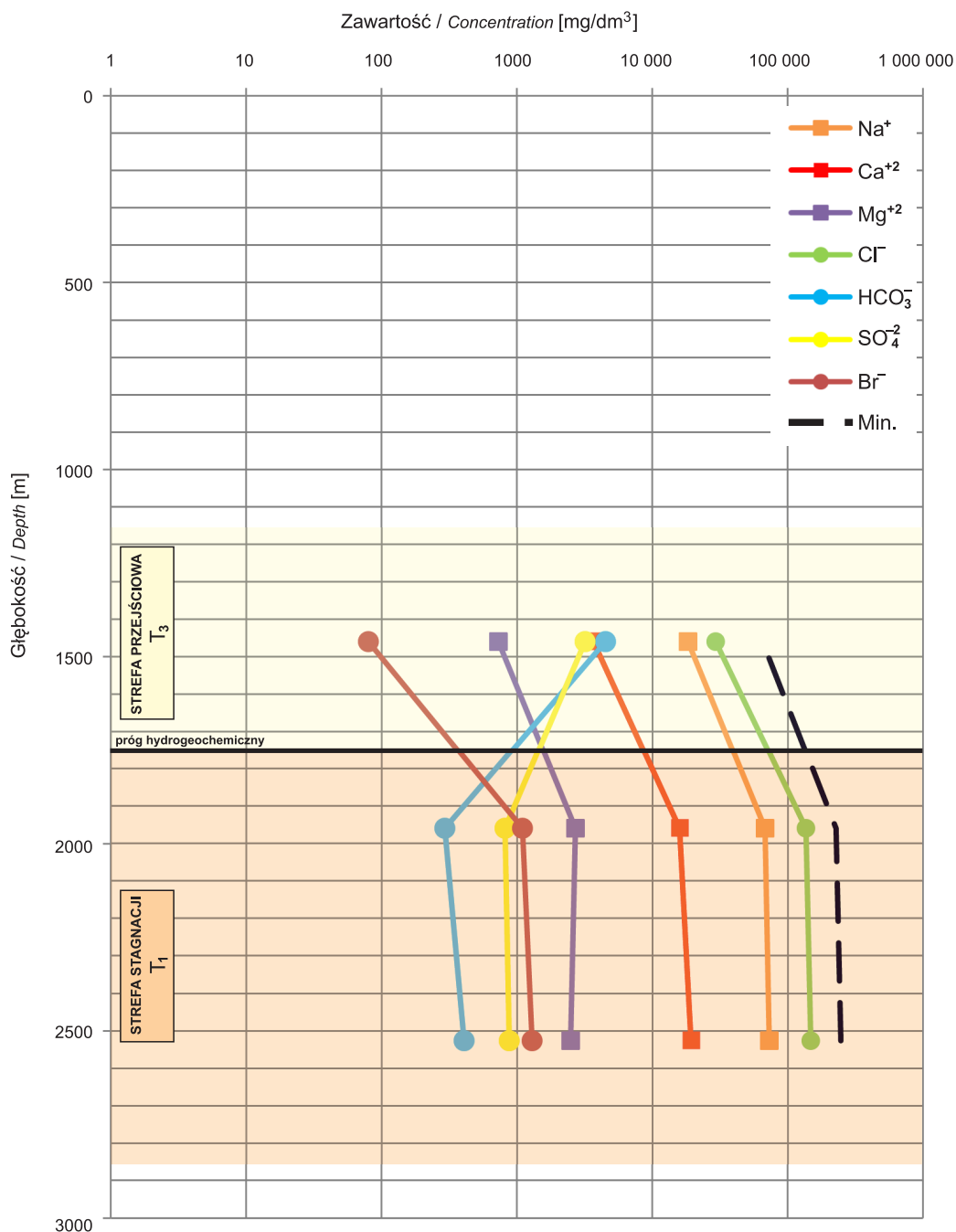


Fig. 56. Profil hydrogeochemiczny otworu wiertniczego Broyce IG 1
Hydrogeochemical profile of Broyce IG 1 borehole

Tabela 37

Wartości wskaźników hydrogeochemicznych
Hydrogeochemical indicators values

Wskaźnik Indicator	Badany interwał [m] Sampled interval				Interpretacja ¹⁾ Interpretation ¹⁾
	2542,0–2526,0	1960,0–1938,0	1481,0–1459,0	890,0–858,0	
$r(\text{Na}^+/\text{Cl}^-)$	0,76	0,77	0,96	1,04	>1 – wody młode, współczesne, strefa aktywnej wymiany <1 – wody paleoinfiltracyjne <0,86 – stagnacja hydrodynamiczna, wody reliktowe, synsedymacyjne
Cl^-/Br^-	113,7	124,1	367,5	1482,1	<300 – wody reliktowe, ługi postsalinowe >300 przy równoczesnej $r(\text{Na}^+/\text{Cl}^-) \sim 1$ wskazuje na bliskość złóż soli
$r(\text{Cl}^-/\text{suma głównych anionów})$	0,99	0,99	0,85	–	>0,8 przy $M > 500$ – woda morska, solanka lub ewaporaty >0,8 przy $M < 100$ – woda opadowa <0,8 – wietrzenie węglanów, krzemianów lub siarczanów
$r(\text{SO}_4^{2-}/100/\text{Cl}^-)$ wskaźnik siarczanowy	0,44	0,44	8,03	0,94	10–500 – wody płytkie, strefa aktywnej wymiany z wodami infiltracyjnymi <1 – wody izolowane, stagnujące, zmetamorfizowane
$r[\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Cl}^-)]$	0,43	0,44	0,49	0,51	>0,5 – pochodzenie Na inne niż z halitu (albit lub wymiana jonowa) 0,5 – rozpuszczanie halitu <0,5 – przy $M > 500$ wymiana jonowa <0,5 – przy $M < 50$ woda opadowa <0,5 – przy $M < 500 > 50$ niejednoznaczny
$r[(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) / \text{SO}_4^{2-}]$	64,1	59,7	3,68	12,82	<1 – rozpuszczanie siarczanów >0,8 i <1,2 – możliwa dedolomityzacja
$r[\text{Ca}^{+2} / (\text{Ca}^{+2} + \text{SO}_4^{2-})]$	0,98	0,98	0,73	0,93	0,5 – rozpuszczanie gipsu <0,5 przy $\text{pH} < 5,5$ – utlenianie pirytu lub/i innych siarczanów <0,5 pH obojętne – usuwanie wapnia wskutek wymiany jonowej lub wytrącania kalcytu >0,5 – pochodzenie wapnia inne niż z rozpuszczania gipsu
$r[\text{Ca}^{+2} / (\text{Ca}^{+2} + \text{HCO}_3^-)]$	0,99	0,99	0,71	–	0,5 – wietrzenie kalcytu <0,5 – wietrzenie kalcytu lub/i innych węglanów >0,5 – wietrzenie kalcytu ale też innych minerałów (np. gipsu) >1 – pochodzenie wapnia inne niż z wietrzenia kalcytu

¹⁾ wg Appela, Postmy, 1996; Razowskiej, 1999; Krawca, 2002; Macioszczyka, Dobrzyńskiego, 2007; Krawca i in., 2022

¹⁾ after Appelo, Postma, 1996; Razowska, 1999; Krawiec, 2002; Macioszczyk, Dobrzyński, 2007; Krawiec i in., 2022