

WYNIKI BADAŃ HYDROGEOLOGICZNYCH

Jakub SOKOŁOWSKI

WYNIKI OPRÓBOWAŃ POZIOMÓW ZBIORNIKOWYCH

Celem opróbowania otworu Szwejki IG 3 było przede wszystkim określenie własności zbiornikowych utworów podcechsztyńskich oraz poziomu dolomitu głównego. Badania, przeprowadzone przez Zakład Poszukiwania Nafty i Gazu w Wołominie, wykonano po zakończeniu wiercenia za pomocą rurowych próbników złoża. Opróbowaniem objęto 5 poziomów: 1 poziom dewonu, 2 poziomy permu–cechsztynu (w tym jeden połączony z dewonem), 1 poziom triasu dolnego (pstry piaskowiec) i 1 poziom jury środkowej (fig. 36). Poziomy do badań wytypowali L. Bojarski i J. Szewczyk przy współpracy L. Miłaczewskiego z Państwowego Instytutu Geologicznego. Nadzór nad opróbowaniem ze strony PIG sprawował L. Bojarski, a dozór w terenie Z. Sowiński. Analizy właściwości fizyczno-chemicznych solanek i wód

wykonano w Laboratorium Zakładu Geochemii i Chemii Analitycznej PIG oraz w Laboratorium Zakładu Nafty i Gazu w Wołominie, natomiast analizy gazu ziemnego w Laboratorium Zakładu Geochemii i Chemii Analitycznej PIG. Pobrane do analizy próbki solanek i wód należy uznać za reprezentatywne, za wyjątkiem utworów dewonu gdzie były one zanieczyszczone płuczką. Ocena poprawności wykonania analiz, dokonana na podstawie wielkości błędu obliczonego przez porównanie zawartości anionów i kationów wyrażonej w mval/dm^3 , jest w większości pozytywna. Po zakończeniu opróbowania otwór został zlikwidowany. Rezultaty badań przedstawiono w dokumentacji wynikowej otworu badawczego Szwejki IG 3 opracowanej przez Państwowy Instytut Geologiczny w 1990 r. (Bojarski, Sokołowski, 1990).

OBSERWACJE PODCZAS WIERCENIA

W trakcie głębiania otworu, w piaskowcach i iłowcach triasu dolnego (pstrego piaskowca) od głęb. 3743 m obserwowano zanik płuczki wiertniczej. W interwale 3743–3785 m, przewiercanym w dniach 1–8.04.1987 r., stwierdzono zanik 51 m^3 płuczki o gęstości $1,20\text{--}1,21 \text{ g/cm}^3$. W interwale 3785–3916 m, przewiercanym w dniach 11.04–1.05.1987 r., zanotowano ubytek 74 m^3 płuczki o gęstości $1,14\text{--}1,16 \text{ g/cm}^3$. Ponadto w trakcie wiercenia na głęb. 3934–3949 m zanikło 45 m^3 płuczki o gęstości $1,15\text{--}1,16 \text{ g/cm}^3$.

W dniu 9.09.1987 r. przy głębokości otworu 4158,0 m z anhydrytów permu górnego stwierdzono dopływ solanki o gęstości $1,2 \text{ g/cm}^3$. Średnią wielkość przypiływu określono na $2,88 \text{ m}^3/\text{h}$. W tym czasie na głowicy obserwowano samoczynny wypływ płuczki o gęstości $1,17\text{--}1,30 \text{ g/cm}^3$

przy gęstości płuczki tłoczzonej do otworu dochodzącej maksymalnie do $1,60 \text{ g/cm}^3$. Ciśnienie na głowicy wynosiło $60 \cdot 10^3 \text{ hPa}$ w dniu 9.09.1987 r. i malało do $32 \cdot 10^3 \text{ hPa}$ w dniu 17.09.1987 r. Płuczka była zgazowana (nieciągle) gazem palnym o zawartości metanu $54\text{--}56\%$ obj. i wodoru $2,0\text{--}3,6\%$ obj. Łącznie dopłynęło do otworu kilkanaście metrów sześciennych solanki. Próby solanki do badań fizyczno-chemicznych nie pobrano z uwagi na jej znaczne zanieczyszczenie płuczką. Wartość gradientu ciśnienia złożowego wynosiła $1,70 \text{ at}/10 \text{ m}$, jednak jest ona zawyżona z uwagi na przyjęcie do obliczeń całkowitego wypełnienia otworu płuczką. Uwzględniając częściowe wypełnienie otworu solanką o mniejszej gęstości, skorygowana wartość gradientu wynosi $1,40 \text{ at}/10 \text{ m}$.

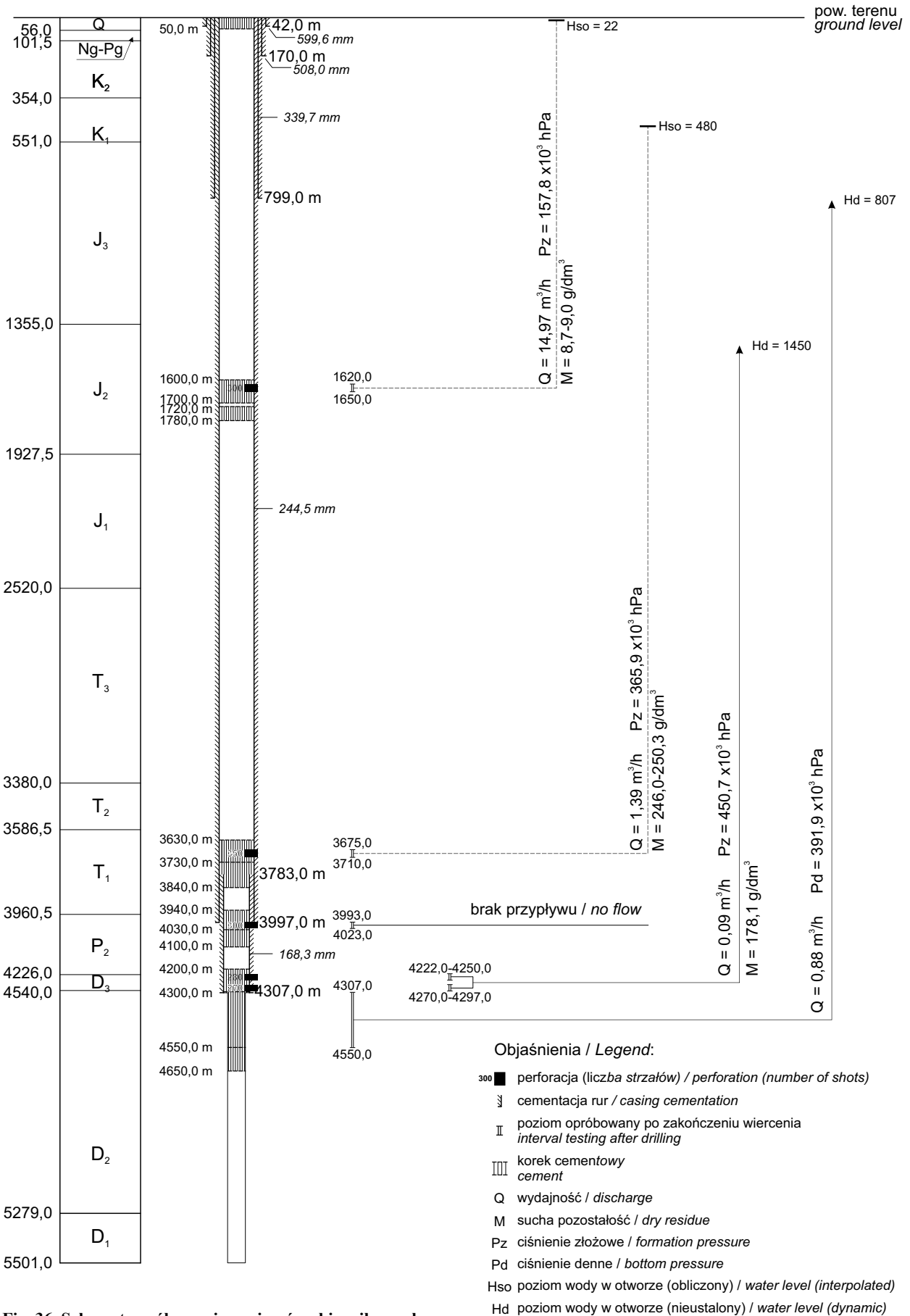


Fig. 36. Schemat opróbowania poziomów zbiornikowych

Testing scheme

OPRÓBOWANIE PO ZAKOŃCZENIU WIERCENIA

Opróbowanie przeprowadzono w okresie 28.08–10.10.1988 r. Stan techniczny otworu przed przystąpieniem do opróbowania przedstawiał się następująco:

- rury \varnothing 599,6 mm na głęb. 0,0–42,0 m (cementowane do wierzchu);
- rury \varnothing 508,0 mm na głęb. 0,0–170,0 m (cementowane do wierzchu);
- rury \varnothing 339,7 mm na głęb. 0,0–799,0 m (cementowane do wierzchu);
- rury \varnothing 244,5 mm na głęb. 0,0–3997,0 m (cementowane do wierzchu);
- rury \varnothing 168,3 mm na głęb. 3783,0–4307,0 m (cementowane na zakładkę).

**Poziom 4307,0–4550,0 m
(dewon: dolomity, wapień)**

Wyniki:

Średni przyływ solanki $Q = 0,88 \text{ m}^3/\text{h}$

Ciśnienie złożowe $P_z = 391,9 \cdot 10^3 \text{ hPa}$

Gradient ciśnienia $G = 0,088 \text{ MPa}/10 \text{ m}$

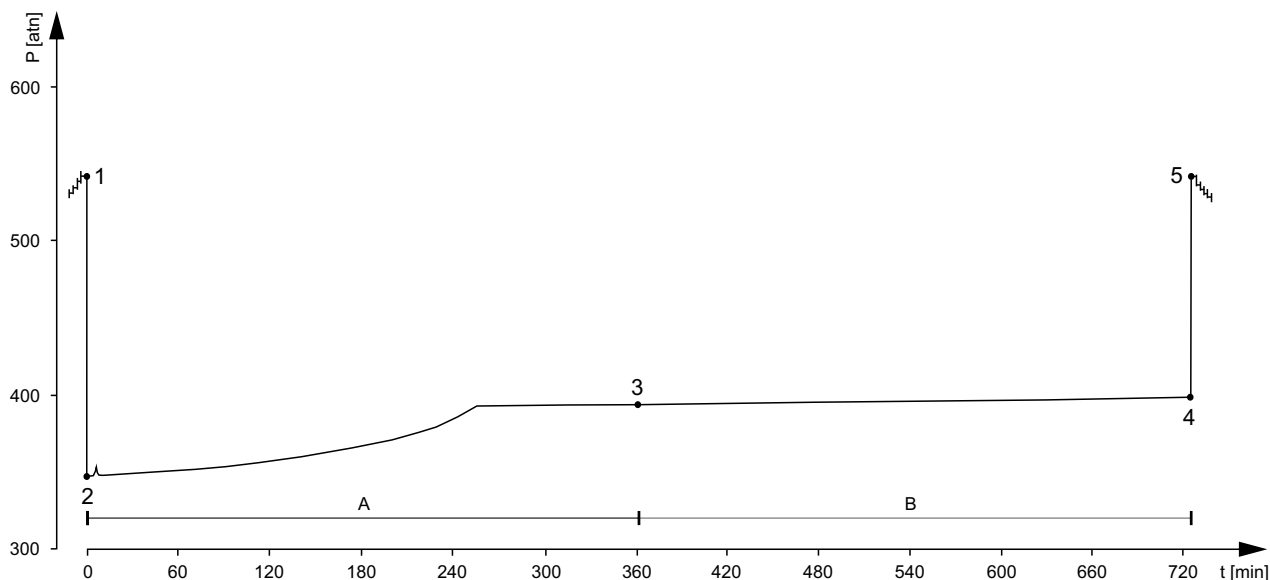
Po likwidacji spodu otworu gęstą płuczką ilową oraz korkiem cementowym na głęb. 4550,0–4650,0 m, przystąpiono do opróbowania interwału odsłoniętego pod butem rur \varnothing 168,3 mm. Poziom przewiercono w okresie 22.11.1987–26.01.1988 r. przy użyciu płuczki o gęstości 1,33, wiskozie 55, filtracji 3 i pH równym 9. Opróbowanie przeprowadzono w dniach 27–28.08.1988 r. za pomocą rurowego próbnika

złoża typu Halliburton. Parametry płuczki podczas zapięcia próbnika wynosiły: ciężar właściwy = 1,2; wiskoza = 35; filtracja = 13; pH = 9,5 i wytrzymałość strukturalna 0/0. Po zapięciu próbnika zaobserwowano ucieczkę płuczki z przestrzeni międzyrurowej, połączonej z silnym wypływem powietrza na głowicy. Badanie było nieudane z uwagi na niesprawną zawór główny.

W dniach 28–30.08.1988 r. powtórzono opróbowanie, stosując rurowy próbnik złoża typu KII 2M-95 zapięty w rurach \varnothing 168,3 mm na głęb. 4287,0 m. Badanie wykonano, stosując zalewkę wodną i zalewając 2900 m przewodu wiertniczego ponad próbnikiem. Poziom płynu w przestrzeni pierścieniowej nie obniżył się. Opróbowanie przeprowadzono metodą jednokrotnego odcięcia przyływu (fig. 37):

- okres przyływu: czas 360 min.; ciśnienie 347,3–394,5 at;
- okres odbudowy ciśnienia: czas 365 min.; ciśnienie 394,5–399,7 at.

Podczas okresu przyływu w czasie 60 min. obserwowano na głowicy mały wypływ powietrza, spowodowany przypuszczalnym przyływem solanki. Do przewodu wiertniczego nad próbnikiem dopłynęło jedynie $5,28 \text{ m}^3$ płuczki, w większości pochodzącej z rozprężenia płynu pod pakerem. Ze względu na niewielki przyływ oraz dużą objętość otworu pod pakerem ($8,9 \text{ m}^3$) solanka wypełniła przestrzeń podpakerową nie wpływając do próbnika i uniemożliwiając tym samym pobranie próbki solanki do badań fizyczno-chemicznych. Średni przyływ wynosił $Q = 0,88 \text{ m}^3/\text{h}$. Nie stwierdzono śladów bituminów. Z odgazowania płuczki otrzymano



1	541,3 atn	53,08 MPa
2	347,3 atn	34,05 MPa
3	394,5 atn	38,68 MPa
4	399,7 atn	39,19 MPa
5	541,3 atn	53,08 MPa

- A I okres przyływu (360 min.)
B I okres odbudowy ciśnienia (365 min.)

Fig. 37. Przebieg opróbowania poziomu 4307,0–4550,0 m

Testing of 4307.0–4550.0 m interval

Tabela 18
Analiza chemiczna gazu z płuczki z poziomu 4307,0–4550,0 m

Results of chemical analysis of gas from drilling mud
 sampled at 4307.0–4550.0 m interval

Składnik Component	Zawartość (w czystym gazie) Content (in pure gas)	
	[% obj.]	[g/N m ³]
CH ₄	5,4854	39,3467
C ₂ H ₆	0,7933	10,7301
C ₄ H ₁₀	0,2799	7,4929
H ₂	1,3023	1,1707
Ar	0,8733	15,5796
N ₂	91,2658	1141,4613
Razem Total	100,0000	1215,7813
Suma węglowodorów [% obj.]	6,5586	
Suma składników palnych [% obj.]	7,8609	
Gęstość gazu zanieczyszczonego powietrzem	0,9744	
Gęstość gazu czystego	0,9402	
Zawartość powietrza obliczona z ilości O ₂ [% obj.]	45,4874	
Azot nadmiarowy [% obj.]	49,7539	
Argon nadmiarowy [% obj.]	0,5661	

śladowe ilości gazu pochodzącego z napowietrzania płuczki (tab. 18). Kształt wykresu (fig. 37) uniemożliwił precyzyjną ekstrapolację ciśnienia złożowego. Ciśnienie denne wynosiło $391,9 \cdot 10^3$ hPa, a temperatura badanego poziomu 371°K. Na krzywej manometru wgłębnego widoczne są załamania (w 255 min. opróbowania), wskazujące przypuszczalnie na częściowe przytkanie się próbnika.

Badany poziom zlikwidowano korkiem cementowym na głęb. 4300,0–4550,0 m i przystąpiono do opróbowania utworów dewonu w płytszym interwale.

Poziom 4222,0–4250,0 m i 4270,0–4297,0 m
(dewon: wapienie, dolomity)

Wyniki:

Średni przyływ solanki $Q = 0,085$ m³/h

Ciśnienie złożowe $P_z = 459,6$ at

Gradient ciśnienia $G = 1,07$ at/10 m

Badany poziom zbiornikowy przewiercono w dniach 7–22.11.1987 r. przy użyciu płuczki o następujących parametrach: gęstość = 1,74 g/cm³, wiskoza = 80, filtracja = 3,8 i pH = 8. Poziom do badań udostępniono wykonując perforację bezpociskową rur $\varnothing 168,3$ mm oddając 10 strzałów na 1 mb perforowanego odcinka, tj. łącznie 550 strzałów. Opróbowanie wykonano w dniach 8–11.09.1988 r. za pomocą rurowego próbnika złoża typu KII 2M-95. Uszczelniacz próbnika zapięto w rurach $\varnothing 168,3$ mm na głęb. 4200,0 m przy otworze wypełnionym płuczka o następujących parametrach: ciężar właściwy = 1,2; wiskoza = 54; filtracja = 8,5; pH = 10 i wytrzymałość strukturalna 0/0. Badanie wykonano stosując zalewkę wodną, zalewając 2600 mb przewodu ponad próbnikiem. Opróbowanie przeprowadzono metodą jednokrotnego odcięcia przyływu (fig. 38):

- okres przyływu: czas 960 min.; ciśnienie 273,0–289,5 at;
- okres odbudowy ciśnienia: czas 270 min.; ciśnienie 289,5–459,6 at.

Podczas całego okresu przyływu na głowicy otworu obserwowano minimalny, pulsujący wypływ powietrza. Poziom płynu w przestrzeni międzypierścieniowej nie obniżał się. Po wyciągnięciu przewodu wiertniczego stwierdzono dopływ solanki minimalnie zgazowanej gazem palnym.

W wyniku opróbowania do próbnika wpłynęło 1,37 m³ solanki minimalnie zgazowanej gazem palnym. Średnia wielkość dopływu wynosiła $Q = 0,085$ m³/h. Poziom solanki w otworze, nieustabilizowany, zmierzono na głęb. 1450,0 m. Ciśnienie złożowe ustaliło się na poziomie $450,7 \cdot 10^3$ hPa,

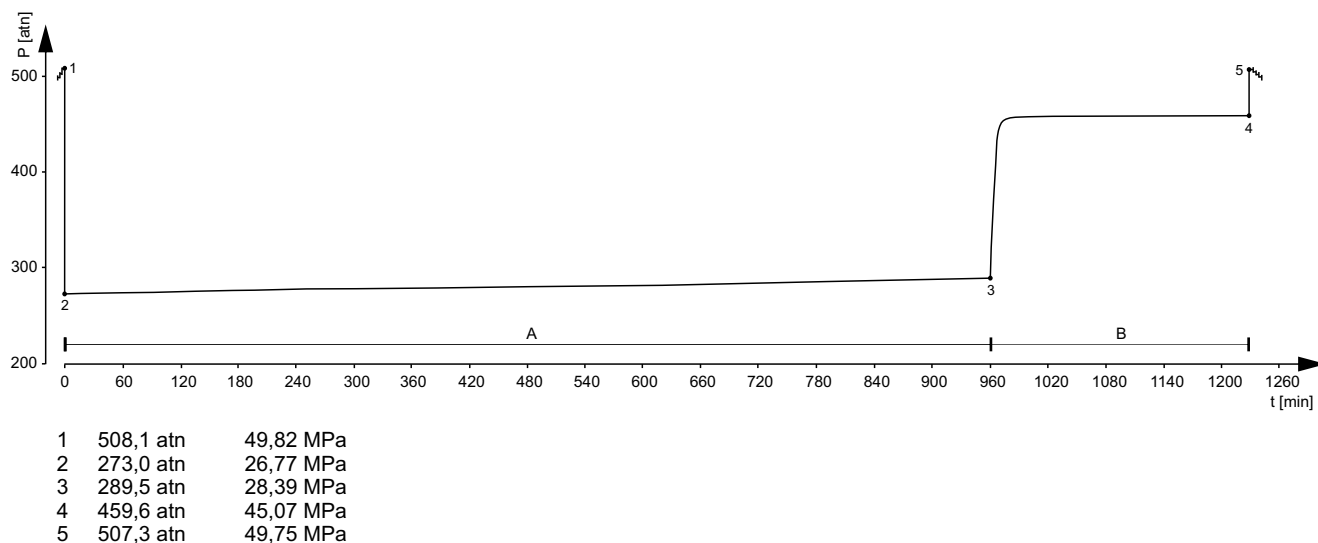


Fig. 38. Przebieg opróbowania poziomów 4222,0–4250,0 m i 4270,0–4297,0 m

- A I okres przyływu (960 min.)
 B I okres odbudowy ciśnienia (270 min.)

Testing of 4222.0–4250.0 m and 4270.0–4297.0 m intervals

Tabela 19

**Analiza chemiczna solanki pobranej z poziomów
4222,0–4250,0 m i 4270,0–4297,0 m**

Results of chemical analysis of brine sampled
at 4222.0–4250.0 m and 4270.0–4297.0 m intervals

Składnik Component	Zawartość Content		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy / Cations			
Na ⁺	55 300	2410,00	80,88
K ⁺	3830	97,90	3,29
Ca ⁺²	9020	450,00	15,13
Mg ⁺²	175	14,40	0,48
Fe _{og}	<0,2	0,01	0,00
Sr ⁺²	266	6,07	0,20
Cu ⁺²	<0,2	<0,01	0,00
Razem Cations total	68 591	2978,38	99,98
Aniony / Anions			
Cl ⁻	102 000	2880,00	98,22
HCO ₃ ⁻	793	13,00	0,44
SO ₄ ⁻²	1650	34,30	1,17
F ⁻	0,87	0,05	0,00
Br ⁻	378	4,73	0,16
I ⁻	31	0,24	0,01
Razem Anions total	104 853	2932,32	100,00
Łącznie / Total	173 444	–	–
Błąd analizy / Analysis error			
	0,78%	dopuszczalny / acceptable	

Tabela 20

**Analiza chemiczna gazu z poziomów
4222,0–4250,0 m i 4270,0–4297,0 m**

Results of chemical analysis of gas sampled
at 4222.0–4250.0 m and 4270.0–4297.0 m intervals

Składnik Component	Zawartość (w czystym gazie) Content (in pure gas)	
	[% obj.]	[g/N m ³]
CH ₄	30,6532	219,8754
C ₂ H ₆	12,0832	163,4373
C ₂ H ₄	8,0645	101,8465
C ₃ H ₈	7,0766	141,4824
C ₃ H ₆	2,1246	40,5522
C ₄ H ₁₀	0,3462	9,2677
C ₄ H ₈	0,7215	19,2944
H ₂	0,5093	0,4578
Ar	0,9100	16,2344
N ₂	37,5109	469,1488
Razem Total	100,0000	1181,5969
Suma węglowodorów [% obj.]		61,0698
Suma składników palnych [% obj.]		61,5791
Gęstość gazu zanieczyszczonego powietrzem		0,9273
Gęstość gazu czystego		0,9133
Zawartość powietrza obliczona z ilości O ₂ [% obj.]		16,4746
Azot nadmiarowy [% obj.]		31,3311
Argon nadmiarowy [% obj.]		0,7601

a gradient ciśnienia wyniósł $1,00 \cdot 10^3$ hPa/10 m. Temperatura badanego interwału wynosiła 371°K.

Solanka była zanieczyszczona (rozcieńczona) filtratem płuczki, w związku z czym jej skład chemiczny nie jest w pełni reprezentatywny. Płyn odznaczał się ciężarem właściwym 1,12 g/cm³, odczynem słabo zasadowym (pH = 7,77) i zasadowością ogólną 13 mval/dm³. Solanka reprezentowała typ Cl–Na,I, a jej mineralizacja, wyrażona suchą pozostałością, wynosiła 178 102 mg/dm³. Główne jony występowały w ilości: Cl⁻– 102 000 mg/dm³ i Na⁺– 55 300 mg/dm³. Zawartość pierwiastków biofilnych wynosiła: bromków – 378 mg/dm³ i jodków – 31 mg/dm³. Wyniki analizy chemicznej solanki przedstawiono w tabeli 19. Z solanki wydzielal się gaz ziemny o wysokiej zawartości węglowodorów (59,9% obj.), w tym metanu (30,6% obj.), etanu (12,1% obj.) i węglowodorów ciężkich (17% obj.) (tab. 20). Wysoka zawartość węglowodorów ciężkich jest bezpośrednim wskaźnikiem występowania ropy naftowej.

Po zakończeniu opróbowania badany poziom zlikwidowano korkami cementowymi na głęb. 4030,0–4100,0 i 4200,0–4300,0 m, po czym przystąpiono do opróbowania utworów dolomitu głównego.

**Poziom 3993,0–4023,0 m
(perm – dolomit główny: dolomity)**

Wyniki:

Brak przyływu

Ciśnienie denne $P_d = 376,3 \cdot 10^3$ hPa

Ciśnienie złożowe $P_z = 447,4$ at

Gradient ciśnienia $G = 1,11$ at/10 m

Badany interwał został przewiercony w okresie 7.06–14.08.1987 r. przy użyciu płuczki o następujących parametrach: gęstość = 1,60 g/cm³, wiskoza = 64, filtracja = 6,8, pH = 9 i zasolenie = 161. Poziom do badań udostępniono w dniach 16–18.09.1988 r. wykonując perforację bezpociśkową rur \varnothing 168,3 mm oraz dodatkowo rur \varnothing 244,5 mm w interwale 3993,0–4023,0 m. Perforację przeprowadzono z częstotliwością 10 strzałów na 1 mb perforowanego odcinka, tzn. łącznie oddając 300 strzałów. Opróbowanie wykonano w dniach 19–21.09.1988 r. przy użyciu rurowego próbnika złoża typu KII 2M-95. Parametry płuczki podczas zapięcia próbnika przedstawiały się następująco: ciężar właściwy = 1,20; wiskoza = 55 i pH = 8,5. Uszczelniacz próbnika zapięto w rurach \varnothing 168,3 mm na głęb. 3941,0 m. Badanie wykonano stosując zalewkę wodną, zalewając 2828,0 mb przewodu wiertniczego ponad próbnikiem. Opróbowanie

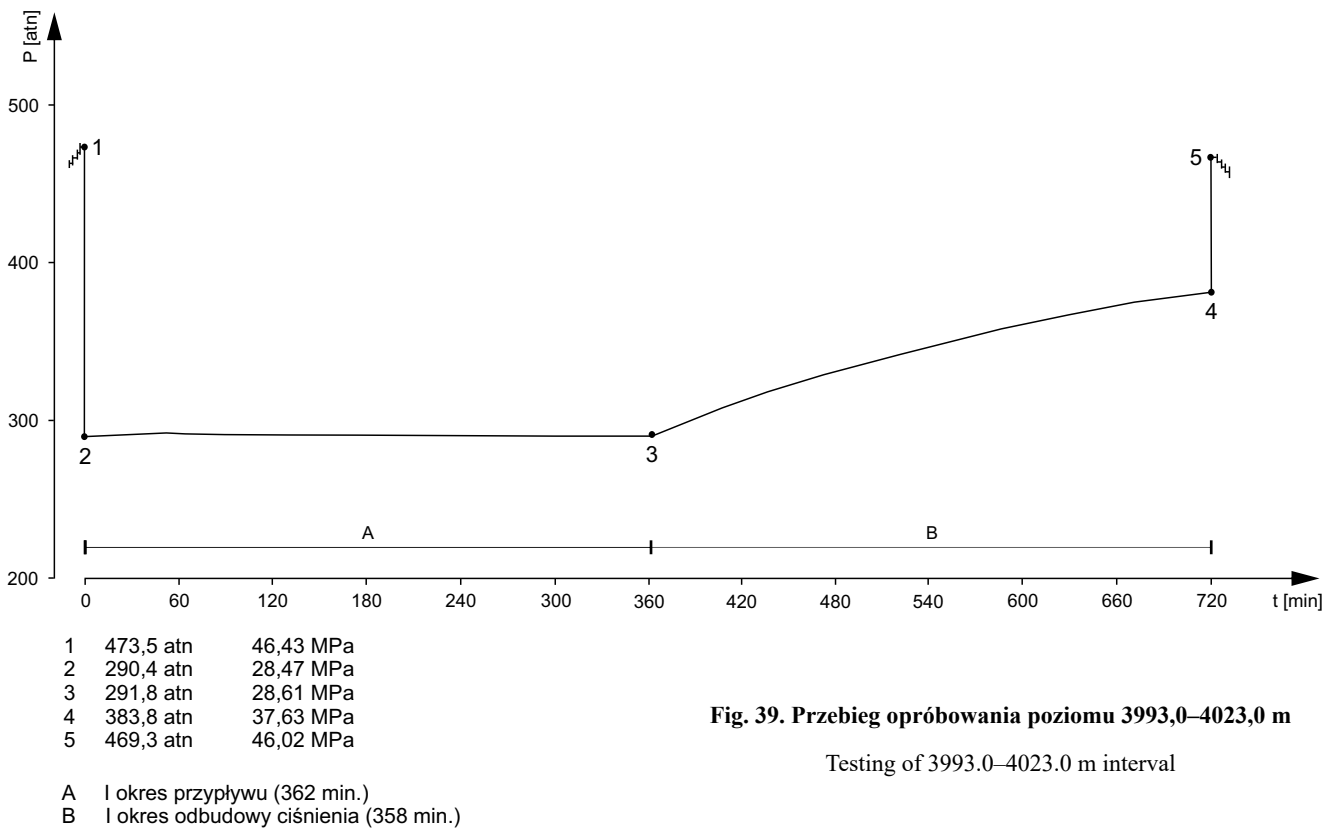


Fig. 39. Przebieg opróbowania poziomu 3993,0–4023,0 m

Testing of 3993.0–4023.0 m interval

przeprowadzono metodą jednokrotnego odcięcia przyływu (fig. 39):

- okres przyływu: czas 362 min.; ciśnienie 290,4–291,8 at;
- okres odbudowy ciśnienia: czas 358 min.; ciśnienie 291,8–383,8 at.

Podczas okresu przyływu na głowicy obserwowano bardzo słaby, pulsujący wypływ powietrza, który zanikł po 45 minutach. Poziom zalewki w przestrzeni międzyrurowej przez ok. 90 minut nieznacznie się obniżył, po czym się ustabilizował. Po wyciągnięciu próbnika stwierdzono całkowity brak przyływu. Nie zaobserwowano również objawów bitumiczności. Ciśnienia złożowego nie ustabilizowano, a pomiar ciśnienia dennego wyniósł $P_d = 376,3 \cdot 10^3 \text{ hPa}$. W wyniku ekstrapolacji określono ciśnienie złożowe $P_z = 438,7 \cdot 10^3 \text{ hPa}$. Wartości tej odpowiada gradient ciśnienia $G = 1,09 \cdot 10^3 \text{ hPa}/10 \text{ m}$. Temperatura w badanym poziomie wynosiła 364°K .

Po zakończeniu opróbowania badany poziom zlikwidowano korkami cementowymi na głęb. 3730,0–3840,0 i 3940,0–4030,0 m, a następnie przystąpiono do opróbowania utworów pstrygo piaskowca.

Poziom 3675,0–3710,0 m

(trias dolny – pstry piaskowiec: piaskowce, mułowce)

Wyniki:

Średni przyływ solanki $Q = 1,4 \text{ m}^3/\text{h}$

Ciśnienie złożowe $P_z = 373,2 \text{ at}$

Gradient ciśnienia $G = 1,017 \text{ at}/10 \text{ m}$

Badany interwał przewiercono w dniach 16–24.03.1987 r. przy użyciu płuczki o następujących parametrach: gęstość = $1,21 \text{ g/cm}^3$, wiskoza = 68, filtracja = 8,3 i pH = 8. Poziom do badań udostępniono w dniach 27–28.09.1988 r. perforując bezpociskowo rury $\varnothing 244,5 \text{ mm}$ oddając 10 strzałów na 1 mb rur (łącznie 350 strzałów). Opróbowanie przeprowadzono w dniach 30.09–01.10.1988 r. przy użyciu rurowego próbnika złoża typu KII 2M-146. Parametry płuczki podczas zapięcia próbnika wynosiły: ciężar właściwy = 1,15; wiskoza = 55; filtracja = 10 i pH = 8,5. Uszczelniacz próbnika zapięto w rurach $\varnothing 244,5 \text{ mm}$ na głęb. 3627,0 m. Badanie wykonano z zastosowaniem zalewki, zalewając wodą 2020 mb przewodu wiertniczego nad próbnikiem. Opróbowanie przeprowadzono metodą dwukrotnego odcięcia przyływu (fig. 40):

- I okres przyływu: czas 60 min.; ciśnienie 210,7–256,7 at;
- I okres odbudowy ciśnienia: czas 117 min.; ciśnienie 256,7–371,0 at;
- II okres przyływu: czas 436 min.; ciśnienie 258,5–354,5 at;
- II okres odbudowy ciśnienia: czas 180 min.; ciśnienie 354,5–363,3 at.

Podczas okresu przyływu obserwowano średni wypływ powietrza na głowicy, stopniowo malejący, aż do ustania w II okresie przyływu. Poziom płynu w przestrzeni międzypierścieniowej nie obniżał się. Po wyciągnięciu próbnika stwierdzono przyływ $11,5 \text{ m}^3$ solanki słabo zgazowanej gazem niepalnym.

Uzyskano średni przyływ solanki w ilości $Q = 1,39 \text{ m}^3/\text{h}$. Objawów węglowodorów podczas opróbowania nie stwierdzono. Ciśnienie dennego wynosiło $P_d = 363,8 \cdot 10^3 \text{ hPa}$, a wy-

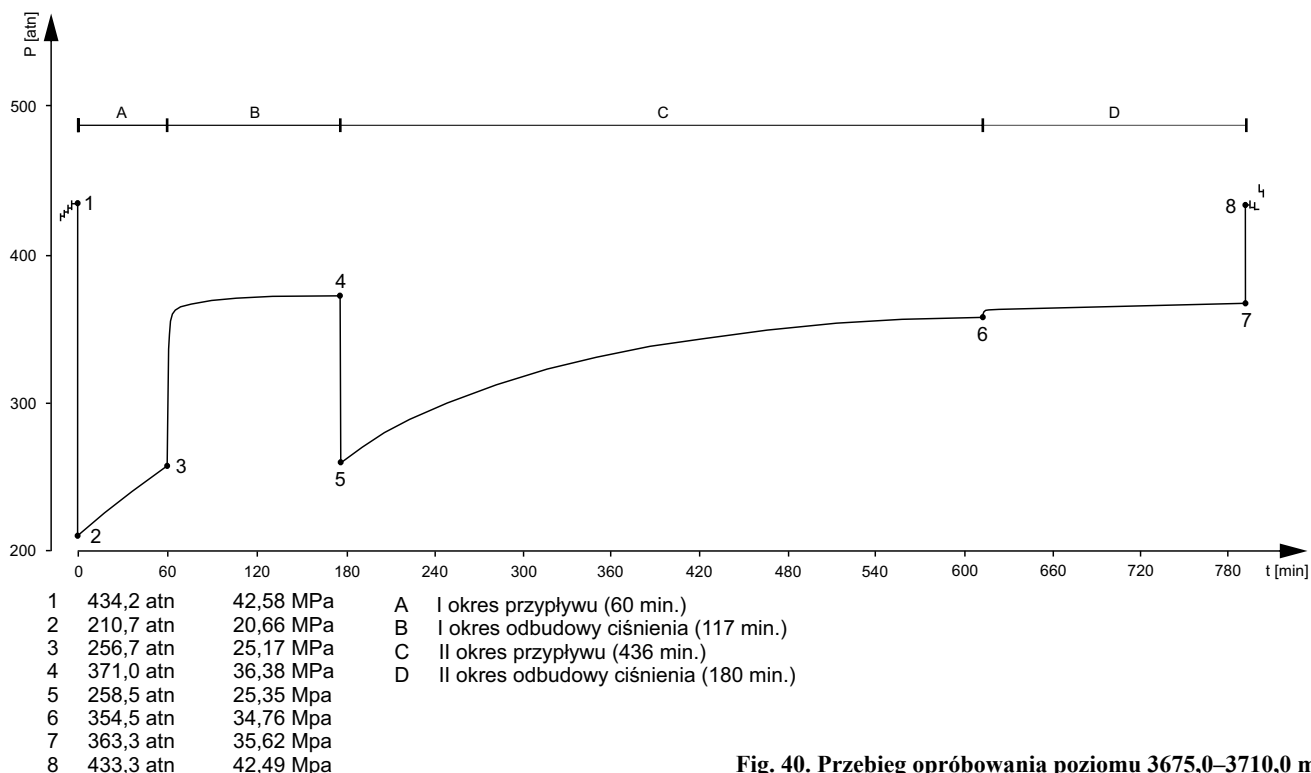


Fig. 40. Przebieg opróbowania poziomu 3675,0–3710,0 m

Testing of 3675.0–3710.0 m interval

ekstrapolowane ciśnienie złożowe $P_z = 365,9 \cdot 10^3 \text{ hPa}$. Wartości tej odpowiada gradient ciśnienia $G = 0,99 \cdot 10^3 \text{ hPa}/10 \text{ m}$. Przewidywane (wyliczone), ustabilizowane zwierciadło solanki w otworze będzie występować na głębokości ok. 480 m. Temperatura skał w badanym interwale wynosiła 358°K . Poniżej przedstawiono wyniki opróbowania:

- współczynnik przewodności hydraulicznej: $1,13 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{Pa}\cdot\text{s}$;
- przepuszczalność skały zbiornikowej: $1,64 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$;
- współczynnik skin-efekt: $-3,994$;
- wskaźnik strat ciśnienia: $-2,22 \text{ MPa}$;
- współczynnik uszkodzenia: $0,35$;
- współczynnik produktywności rzeczywistej: $3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{MPa}$;
- współczynnik produktywności potencjalnej: $1,12 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{MPa}$.

Współczynnik skin-efekt oraz współczynnik uszkodzenia strefy przyotworowej wskazują że strefa przyotworowa została zestymulowana, tzn. przepuszczalność skał zbiornikowych jest większa od przepuszczalności pierwotnej.

Uzyskaną solankę zaliczono do typu Cl–Na–Ca, I o suchej pozostałości $245\ 970\text{--}250\ 282 \text{ mg}/\text{dm}^3$, gęstości $1,170\text{--}1,171 \text{ g}/\text{cm}^3$, odczynie kwaśnym ($\text{pH} = 5,45\text{--}5,50$) i zasadowości ogólnej $2,7 \text{ mval}/\text{dm}^3$. Zawartość głównych jonów wynosiła: $\text{Cl}^- - 153000 \text{ mg}/\text{dm}^3$, $\text{Na}^+ - 63\ 400 \text{ mg}/\text{dm}^3$ i $\text{Ca}^{+2} - 25\ 600 \text{ mg}/\text{dm}^3$. Z pierwiastków biofilnych bromki występują w ilości $240\text{--}718 \text{ mg}/\text{dm}^3$, a jodki $- 16,4 \text{ mg}/\text{dm}^3$. Wyniki analiz chemicznych wody, wykonanych zarówno przez

PIG jak i ZPNiG Wołomin, przedstawiono w tabelach 21 i 22. W solance stwierdzono gaz ziemny, którego skład przedstawiono w tabeli 23. Gaz odznaczał się podwyższoną zawartością węglowodorów ($31,15\% \text{ obj.}$), w tym $27,8\% \text{ obj.}$ metanu, $2,3\% \text{ obj.}$ etanu i $1,1\% \text{ obj.}$ węglowodorów ciężkich.

Po zakończeniu opróbowania badany poziom zlikwidowano korkami cementowymi na głęb. $3630,0\text{--}3730,0$ i $1720,0\text{--}1780,0 \text{ m}$, a następnie przystąpiono do udostępnienia utworów jury środkowej.

Poziom 1620,0–1650,0 m (jura środkowa: piaskowce)

Wyniki:

Średni przyływ wody mineralnej $Q = 14,97 \text{ m}^3/\text{h}$

Ciśnienie złożowe $P_z = 161,0 \text{ at}$

Gradient ciśnienia $G = 0,99 \text{ at}/10 \text{ m}$

Badany interwał przewiercono w dniach $18\text{--}19.07.1988 \text{ r.}$ przy użyciu płuczki o następujących parametrach: gęstość = $1,16 \text{ g}/\text{cm}^3$, wiskoza = $60\text{--}67$, filtracja = 6 i $\text{pH} = 7,5$. Poziom do badań udostępniono w dniu $8.10.1988 \text{ r.}$, perforując bezpociskowo rury $\varnothing 244,5 \text{ mm}$. Oddano 10 strzałów na 1 mb rur, co dało łącznie 300 strzałów. Opróbowanie przeprowadzono w dniach $10\text{--}11.10.1988 \text{ r.}$ przy użyciu rurowego próbnika złoża typu KII 2M-145. Parametry płuczki przy zapięciu próbnika wynosiły: ciężar właściwy = $1,15$; wiskoza = 34 ; filtracja = 12 i $\text{pH} = 8,5$. Uszczelniacz próbnika zapięto w rurach $\varnothing 244,5 \text{ mm}$ na głęb. $1595,0 \text{ m}$. Badanie

Tabela 21

Analiza chemiczna wody pobranej z poziomu 3675,0–3710,0 m (PIG, Warszawa)

Results of chemical analysis of water sampled at 3675.0–3710.0 m interval (PGI, Warsaw)

Składnik Component	Zawartość Content		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy / Cations			
Na ⁺	63 400,0	2760,00	63,73
K ⁺	1240,0	31,70	0,73
Ca ⁺²	25 600,0	1280,00	29,52
Mg ⁺²	2780,0	229,00	5,29
Fe _{og}	77,0	4,14	0,10
Sr ⁺²	1200,0	27,40	0,63
Cu ⁺²	0,3	<0,01	0,00
Razem / Cations total	94 297,3	4332,24	100,00
Aniony / Anions			
Cl ⁻	153 000	4310,00	99,54
HCO ₃ ⁻	165	2,70	0,06
SO ₄ ⁻²	384	7,99	0,18
F ⁻	0,44	0,02	0,00
Br ⁻	718	8,99	0,21
I ⁻	16,4	0,13	0,00
Razem Anions total	154 283,8	4329,83	99,99
Łącznie / Total	248 581,1	–	–
Błąd analizy / Analysis error			
	0,03%	dopuszczalny / acceptable	

Tabela 23

Analiza chemiczna gazu z poziomu 3675,0–3710,0 m

Results of chemical analysis of gas sampled at 3675.0–3710.0 m interval

Składnik Component	Zawartość (w czystym gazie) Content (in pure gas)	
	[% obj.]	[g/N m ³]
CH ₄	27,7772	199,2458
C ₂ H ₆	2,2844	30,8987
C ₂ H ₄	0,7420	9,3707
C ₃ H ₈	0,2384	4,7663
C ₄ H ₁₀	0,1108	2,9661
H ₂	1,0798	0,9707
CO ₂	0,0018	0,0355
Ar	0,5843	10,4239
He	0,4384	0,7891
N ₂	66,7429	834,7534
Razem Total	100,0000	1094,2202
Suma węglowodorów [% obj.]		31,1528
Suma składników palnych [% obj.]		32,2326
Gęstość gazu zanieczyszczonego powietrzem		0,9381
Gęstość gazu czystego		0,8462
Zawartość powietrza obliczona z ilości O ₂ [% obj.]		59,7325
Azot nadmiarowy [% obj.]		26,8757
Argon nadmiarowy [% obj.]		0,2352
Zgazowanie [ml/dm ³]		137,89

Tabela 22

Analiza chemiczna wody pobranej z poziomu 3675,0–3710,0 m (ZPNiG, Wolomin)

Results of chemical analysis of water sampled at 3675.0–3710.0 m interval (ZPNiG, Wolomin)

Składnik Component	Zawartość Content		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy / Cations			
Na ⁺	60 500,0	2630,78	63,66
K ⁺	1200,0	30,69	0,74
Ca ⁺²	25 009,9	1248,00	30,20
Mg ⁺²	2626,5	215,99	5,23
Fe ⁺³	134,0	7,20	0,17
Razem / Cations total	89 470,4	4132,66	100,00
Aniony / Anions			
Cl ⁻	154 308,8	4352,00	99,74
HCO ₃ ⁻	195,2	3,20	0,07
SO ₄ ⁻²	256,0	5,33	0,12
Br ⁻	239,7	3,00	0,07
Razem Anions total	154 999,7	4363,53	100,00
Łącznie / Total	244 470,1	–	–
Błąd analizy / Analysis error			
	2,72%	niedopuszczalny / unacceptable	

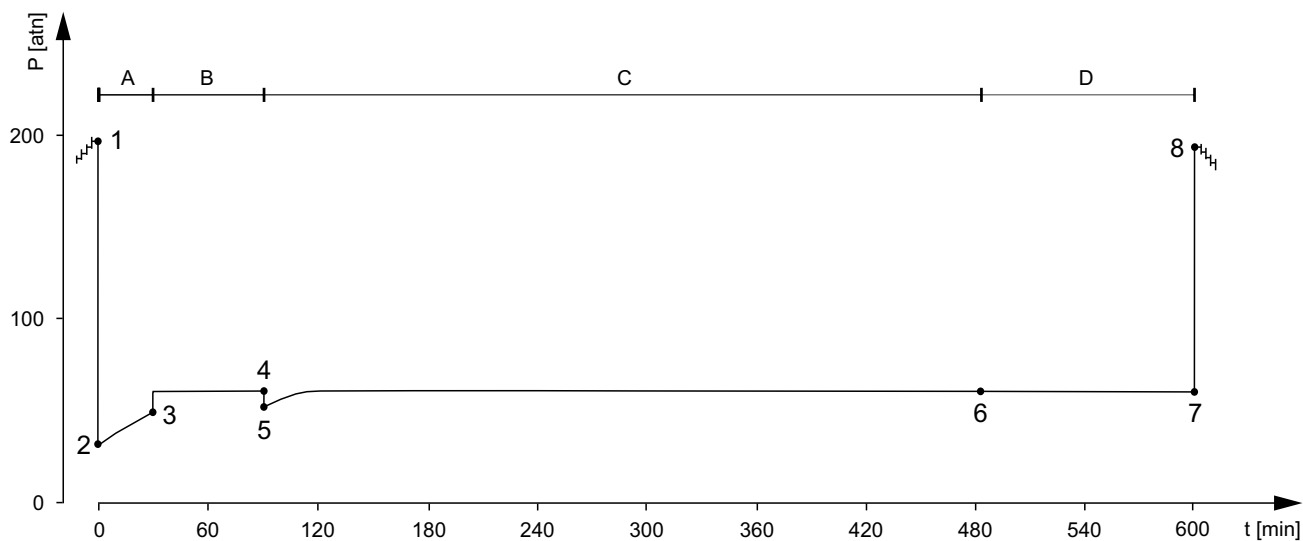
wykonano przy pełnej depresji, tzn. nie stosując zalewki. Opróbowanie przeprowadzono metodą dwukrotnego odcięcia przyływu (fig. 41):

- I okres przyływu: czas 30 min.; ciśnienie 131,5–149,8 at;
- I okres odbudowy ciśnienia: czas 61 min.; ciśnienie 149,8–161,0 at;
- II okres przyływu: czas 390 min.; ciśnienie 152,2–161,0 at;
- II okres odbudowy ciśnienia: czas 120 min.; ciśnienie 161,0–161,0 at.

 Podczas okresu przyływu zaobserwowano silny wpływ powietrza na głowicy, który zanikł po 120 min. Poziom płuczek w przestrzeni międzyrurowej nie obniżył się. W wyniku opróbowania do przewodu dopłynęło 13,72 m³ wody mineralnej, bez widocznych śladów zgazowania.

 Średni przyływ wody określono na $Q = 14,97 \text{ m}^3/\text{h}$, pomijając w obliczeniach okres przyływu, w którym linia obrazująca wartość ciśnienia przebiega poziomo. Ciśnienie złożowe ustabilizowało się na wartości $P_z = 157,8 \cdot 10^3 \text{ hPa}$, a gradient ciśnienia wynosi $G = 0,97 \cdot 10^3 \text{ hPa}/10 \text{ m}$. Na podstawie wyliczeń oszacowano, że ustabilizowane zwierciadło wody w otworze będzie występować na głęb. 22 m. Temperatura skał w badanym interwale wynosiła 314°K.

 Uzyskaną wodę zaliczono do typu Cl–Na–K,I o suchej pozostałości 8734–8990 mg/dm³, gęstości 1,004–1,005 g/cm³, odczynie zasadowym (pH ≈ 6,8) i zasadowości ogólnie



1	196,4 atn	19,26 MPa
2	131,5 atn	12,89 MPa
3	149,8 atn	14,69 MPa
4	161,0 atn	15,78 MPa
5	152,2 atn	14,92 Mpa
6	161,0 atn	15,78 MPa
7	161,0 atn	15,78 Mpa
8	193,8 atn	19,00 Mpa

A	I okres przyływu (30 min.)
B	I okres odbudowy ciśnienia (61 min.)
C	II okres przyływu (390 min.)
D	II okres odbudowy ciśnienia (120 min.)

Fig. 41. Przebieg opróbowania poziomu 1620,0–1650,0 m

Testing of 1620.0–1650.0 m interval

Tabela 24

Analiza chemiczna wody pobranej z poziomu 1620,0–1650,0 m (PIG, Warszawa)

Results of chemical analysis of water sampled
at 1620.0–1650.0 m interval (PGI, Warsaw)

Składnik Component	Zawartość / Content		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy / Cations			
Na ⁺	1170,00	50,80	37,87
K ⁺	1940,00	49,60	36,98
Ca ⁺²	462,00	23,10	17,20
Mg ⁺²	120,00	9,87	7,36
Fe _{og}	8,48	0,46	0,34
Li ⁺	0,69	0,10	0,07
Sr ⁺²	9,83	0,22	0,17
Cu ⁺²	<0,01	<0,01	0,00
Pb ⁺²	0,05	<0,01	0,00
Ni ⁺²	0,03	<0,01	0,00
Zn ⁺²	0,28	<0,01	0,01
Razem / Cations total	3711,36	134,15	100,00
Aniony / Anions			
Cl ⁻	3960,00	112,00	86,76
HCO ₃ ⁻	983,00	16,20	12,60
SO ₄ ⁻²	34,00	0,71	0,55
F ⁻	0,40	0,02	0,02
Br ⁻	1,70	0,02	0,02
I ⁻	8,00	0,06	0,05
Razem Anions total	4987,10	129,01	100,00
Łącznie / Total	8698,46	-	-
Błąd analizy / Analysis error			
1,95%	dopuszczalny / acceptable		

Tabela 25

Analiza chemiczna wody pobranej z poziomu 1620,0–1650,0 m (ZPNiG, Wołomin)

Results of chemical analysis of water sampled
at 1620.0–1650.0 m interval (ZPNiG, Wołomin)

Składnik Component	Zawartość Content		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy / Cations			
Na ⁺	1200,0	52,18	39,66
K ⁺	1900,0	48,60	36,94
Ca ⁺²	455,0	22,80	17,33
Mg ⁺²	97,2	7,99	6,07
Fe ⁺³	śląd	0,00	0,00
Razem / Cations total	3652,2	131,57	100,00
Aniony / Anions			
Cl ⁻	3971,1	112,00	89,07
HCO ₃ ⁻	793,2	13,00	10,34
SO ₄ ⁻²	32,0	0,67	0,52
Br ⁻	6,6	0,08	0,07
Razem Anions total	4802,9	125,75	100,00
Łącznie / Total	8455,1	-	-
Błąd analizy / Analysis error			
2,26%	niedopuszczalny / unacceptable		

Tabela 26

Analiza chemiczna gazu z poziomu 1620,0–1650,0 m

Results of chemical analysis of gas sampled
at 1620.0–1650.0 m interval

Składnik Component	Zawartość (w czystym gazie) Content (in pure gas)	
	[% obj.]	[g/N m ³]
CH ₄	19,6251	140,0770
C ₂ H ₆	1,9568	26,4676
C ₂ H ₄	0,2067	2,6104
C ₃ H ₈	1,7931	35,8494
C ₄ H ₁₀	0,1035	2,7634
H ₂	0,2501	0,2248
CO ₂	0,0190	0,3753
Ar	0,5479	9,7745
N ₂	75,4978	944,2509
Razem Total	100,0000	1162,3933
Suma węglowodorów [% obj.]		23,6852
Suma składników palnych [% obj.]		23,9353
Gęstość gazu zanieczyszczonego powietrzem		0,9391
Gęstość gazu czystego		0,8989
Zawartość powietrza obliczona z ilości O ₂ [% obj.]		39,4123
Azot nadmiarowy [% obj.]		45,7424
Argon nadmiarowy [% obj.]		0,3320
Zgazowanie [ml/dm ³]		80,36

W wyniku opróbowania stwierdzono słabe własności zbiornikowe utworów dewonu, o czym świadczą niewielkie przepływy solanek (0,09–0,88 m³/h) oraz stosunkowo niskie ciśnienie złożowe przy gradiencie ciśnienia $G = 1,08$ at/10 m. W solankach stwierdzono gaz ziemny zawierający ok. 60% obj. węglowodorów, w tym 17% obj. węglowodorów cięż-

nej 16,2 mval/dm³. Zawartość głównych jonów wynosiła: Cl⁻ – 3960 mg/dm³, Na⁺ – 1170 mg/dm³ i K⁺ – 1940 mg/dm³. Z pierwiastków biofilnych bromki występują w ilości 1,7 mg/dm³, a jodki – 8,0 mg/dm³. Wyniki analizy chemicznej wody przedstawiono w tabelach 24 i 25. W wyniku odgazowania wody otrzymano gaz zawierający znacznie podwyższoną zawartość węglowodorów (23,7% obj.), w tym 19,6% obj. metanu, 1,96% obj. etanu i 2,1% obj. węglowodorów ciężkich (tab. 26).

Po zakończeniu otwór wiertniczy zlikwidowano korkami cementowymi na głęb. 1600,0–1700,0 i 0,0–50,0 m.

PODSUMOWANIE

kich, będących bezpośrednim wskaźnikiem występowania ropy naftowej w utworach dewonu w pobliżu otworu wiertniczego Szwejki IG 3.

Utwory cechsztynu i pstrego piaskowca są stosunkowo dobrymi poziomami zbiornikowymi, znajdującymi się w strefie stagnacji hydrodynamicznej, odciętej od aktywnej wymiany wód.

Utwory permu odznaczają się brakiem własności zbiornikowych, choć podczas przewiercania anhydrytów stwierdzono wypływ płuczki spowodowany dopływem solanki słabo zgazowanej gazem ziemnym zawierającym 56% obj. metanu. Przepływ solanki należy wiązać z nawierceniem strefy dyslokacyjnej. Własności zbiornikowe utworów pstrego piaskowca określono jako średnie. Są one wypełnione solankami o wysokim stopniu metamorfizmu i wysokiej mineralizacji. W solance stwierdzono gaz ziemny o zawartości 31,1% obj. węglowodorów, co świadczy o istnieniu tu korzystnych warunków dla zachowania się złóż węglowodorów.

Tabela 27

Zbiornicze zestawienie wyników opróbowania

Summary of testing results

Głębokość Depth [m]	Stratygrafia Stratigraphy	Data perforacji Perforation date	Data badania Testing date	Rodzaj przepływu Type of medium	Ciśnienie Pressure P _z P _d [·10 ³ hPa]	Wielkość przepływu Flow [m ³ /h]	Poziom płynu Liquid level [m]	Typ płynu Liquid type
1620,0–1650,0	J ₂	8.10.1988	9–10.10.1988	woda mineralna mineral water	P _z = 157,8	14,97	22 ²	0,9% Cl–Na–K,I
3675,0–3710,0	T _{pp}	27– 28.09.1988	30.09– 1.10.1988	solanka brine	P _d = 363,8 P _z = 365,9	1,39	480 ²	24,6–25,0% Cl–Na–Ca,I
3993,0–4023,0	P _{dg}	16– 18.09.1988	19–21.09.1988	brak przepływu no flow	P _d = 376,3 P _z = 438,7	–	–	–
4222,0–4250,0 4270,0–4297,0	D	6–8.09.1988	8–11.09.1988	solanka brine	P _z = 450,7	0,086	1450 ¹	17,8% Cl–Na,I
4307,0–4550,0	D	–	28–30.08.1988	solanka? brine?	P _d = 391,9	0,88	807 ¹	–

¹ poziom niestabilizowany; ² poziom wyliczony; D – dewon; P_{dg} – perm (dolomit główny); T_{pp} – trias dolny (pstry piaskowiec); J₂ – jura środkowa; P_z – złożowe; P_d – denne

¹ – unstable level; ² – calculated level; D – Devonian; P_{dg} – Permian (Main Dolomite); T_{pp} – Lower Triassic (Buntsandstein); J₂ – Middle Jurassic; P_z – formation; P_d – bottom

Poziom jury środkowej ma bardzo dobre własności zbiornikowe, a utwory środkowojurajskie odznaczają się znaczną przepuszczalnością. Niska mineralizacja wód i słaby stopień ich metamorfizmu wskazują na strefę wymiany wód, ewentualnie strefę przejściową między strefą aktywną wymianą a strefą stagnacji. Warunki dla zachowania się złóż węglowodorów są tu więc niekorzystne.

Zbiornicze zestawienie wyników opróbowania przedstawiono w tabeli 27.

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 Niziu Polskim, zestawiono w ta-

beli 28. Wartości wskaźników dla solanek występujących w utworach dewonu nie poddano interpretacji z uwagi na zanieczyszczenie próbek. Solanki występujące w utworach triasu dolnego można zaliczyć do reliktowych, występujących w strefie stagnacji hydrodynamicznej. Wskazuje na to wartość wskaźnika $r(\text{Na}^+/\text{Cl}^-)$, wynosząca znacznie poniżej 0,86, a także stosunek chlorków do bromków wynoszący wyraźnie poniżej 300 (Bojarski, 1996). Na ich izolację i przeobrażenie pierwotnego składu chemicznego wskazuje także wartość wskaźnika siarczanowego <1 . Wody mineralne kompleksu środkowojurajskiego należy zaliczyć do wód reliktowych/synsedymacyjnych z wyraźną domieszką wód paleoinfiltracyjnych, typowych dla strefy przejściowej pomiędzy strefą stagnacji hydrodynamicznej, a strefą aktywnej wymiany. Potwierdza to stosunek miliwali jonów sodowych i chlorkowych $<0,86$ oraz wartość wskaźnika siarczanowego <1 , przy jednoczesnej wartości wskaźnika Cl^-/Br^- przekraczającej znacznie 300.

Tabela 28

Wartości wskaźników hydrogeochemicznych

Hydrogeochemical indicators values

Wskaźnik Indicator	Badany interwał Sampled interval [m]			Interpretacja ¹ Interpretation
	1620,0–1650,0	3675,0–3710,0	4222,0–4250,0 4270,0–4297,0	
$r(\text{Na}^+/\text{Cl}^-)$	0,45	0,64	0,84	>1 – wody młode, współczesne, strefa aktywnej wymiany <1 – wody paleoinfiltracyjne $<0,86$ – stagnacja hydrodynamiczna, wody reliktowe, synsedymacyjne
Cl^-/Br^-	2329,4	213,1	269,8	<300 – wody reliktowe, ługi postsalinowe >300 przy równoczesnej $r(\text{Na}^+/\text{Cl}^-) \sim 1$ wskazuje na bliskość złóż soli
$r(\text{Cl}^-/\text{suma głównych anionów})$	0,87	0,99	0,95	$>0,8$ 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	0,63	0,18	1,19	10–500 – wody płytkie, strefa aktywnej wymiany z wodami infiltracyjnymi <1 – wody izolowane, stagnujące, zmetamorfizowane
$r[\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Cl}^-)]$	0,31	0,39	0,45	$>0,5$ – 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
$r[(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{SO}_4^{2-}]$	46,4	188,9	13,5	<1 – rozpuszczanie siarczanów $>0,8$ i $<1,2$ – możliwa dedolomityzacja
$r[\text{Ca}^{2+}/(\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-})]$	0,97	0,99	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
$r[\text{Ca}^{2+}/(\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^-)]$	0,59	1,00	0,97	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 na podst. Appela, Postmy, 2002; Razowskiej, 1999; Krawca, 2002; Macioszczyk, Dobrzyńskiego, 2007; Krawca i in., 2022