

WYNIKI BADAŃ HYDROGEOLOGICZNYCH

WSTĘP

Celem badawczym było ustalenie warunków hydrodynamicznych i hydrochemicznych poziomów wodonośnych występujących w rozpoznanych poprzez otwór Bibiela PIG 1 kompleksach skalnych. Zakres prac obejmował pompowanie badawcze oraz opróbowanie wód do badań fizykochemicznych i znacznikowych, kolejno dla każdego odsłanianego w trakcie wiercenia poziomu zbiornikowego. Prace wykonano zgodnie z projektem opracowanym przez Chmurę, zawartym w opracowaniu Habryn i in., 2013.

Poziomy zbiornikowe do bezpośrednich badań hydrogeologicznych wyznaczono na podstawie rozpoznania przewiercanych utworów w zakresie: stopnia uzysku rdzenia i jego zeszczerzelińowania, wstępnego określenia litologii i stratygrafii skał oraz wstępnej oceny ich zawodnienia. W otworze zastosowano kolumny rur w celu stabilizacji otworu oraz w związku z koniecznością izolacji występujących poziomów wodonośnych. Przed zarurowaniem kolejnego odcinka wykonywano poszerzanie średnicy otworu, a następnie prowadzono badania hydrogeologiczne. Stan techniczny otworu umożliwił wykonanie trzech pompowań parametrycznych, prowadzonych w trakcie wiercenia otworu i w warunkach odsłonięcia zawodnionych warstw w utworach triasu, dewonu i ordowiku (fig. 94).

Do zbadania zawodnienia warstwy wodonośnej wykorzystano metodę próbnego pompowania na jednym stopniu wydatku. Na podstawie przeprowadzonych testów otworu otrzymano parametry hydrogeologiczne, które zestawiono w tabelach 56 i 57. Z każdego pompowania pobrano próby do badań laboratoryjnych obejmujących: parametry fizykochemiczne, oznaczenia znacznikowe i gazy szlachetne. Wyniki badania składu fizyko-chemicznego wód przedstawiono w tabeli 58, a wyniki badania składu izotopowego i gazowego wód w tabelach 59 i 60.

Nadzór nad badaniami pełniła A. Chmura, a specjalistyczny dozór w terenie sprawowali M. Zembal, J. Szulik i T. Chmura. Analizy fizyko-chemiczne wód wykonało Centralne Laboratorium Chemiczne Państwowego Instytutu Geologicznego – Państwowego Instytutu Badawczego w Warszawie, analizy składu izotopowego wód wykonano na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH w Krakowie, a gazów szlachetnych w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie. Szczegółowy tok, zakres badań i otrzymane wyniki zamieszczono w dokumentacji powykonawczej otworu Bibiela PIG 1 (Habryn i in., 2017).

Dane ze wspomnianej wyżej dokumentacji wykorzystane zostały przy zestawieniu przedmiotowej publikacji.

WYNIKI BADAŃ POZIOMÓW WODONOŚNYCH

Triasowa seria węglanowa, głęb. 25,6–181,5 m p.p.t.; średnica otworu – 311 mm; otwór bosy (fig. 94)

Próbne pompowanie prowadzono w dniach 21.06–24.06.2015 r. Badania rozpoczęto pompowaniem oczyszczającym, które trwało 12 godzin i zakończyło się 12 godziną stabilizacją zwierciadła wody. Następnie przeprowadzono 24-godzinne pompowanie pomiarowe. Wydajność kontrolowano na wodomierzu, a obniżenie zwierciadła wody w otworze miernikiem elektrycznym.

Uzyskano dopływ wody do otworu ze spękanych wapieni i dolomitów, z odsłoniętego do badań interwału o miąższości 155,9 m. Naporowe zwierciadło wody nawiercone na głębokości 24 m stabilizowało się na głębokości 3,43 m. Wydajność badanego poziomu wynosiła $Q = 18,5 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji $S = 9,4 \text{ m}$. Obliczone parametry hydrogeologiczne

wyniosły: współczynnik filtracji $k = 1,08 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$; wodoprzewodność $T = 6,05 \text{ m}^2/\text{h}$; wydatek jednostkowy otworu $q = 1,96 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{mS}$ (tab. 56, 57).

Woda dopływająca do otworu należała do wód słodkich, słabo zasadowych i średnio twardych (substancje rozpuszczone – $0,346 \text{ g/l}$; pH – 7,92; tw.og. $184 \text{ mgCaCO}_3/\text{l}$). Według klasyfikacji Szczukariewa-Priklonńskiego należy do typu $\text{HCO}_3\text{--SO}_4\text{--Ca--Mg}$ (tab. 58).

Badania składu izotopów trwałych ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) wskazywały na obecność wód infiltracji holoceniowej. Średni wiek tej wody wynikający ze stężenia trytu może wynosić 30–85 lat. Przyjęto, że niskie stężenia radiowęglu w badanej próbce są wynikiem wymiany izotopowej pomiędzy badaną wodą a rozpuszczonymi węglanami uwiecznionymi w mikroporowatej matrycy węglanowej. Wynikająca stąd prędkość przepływu

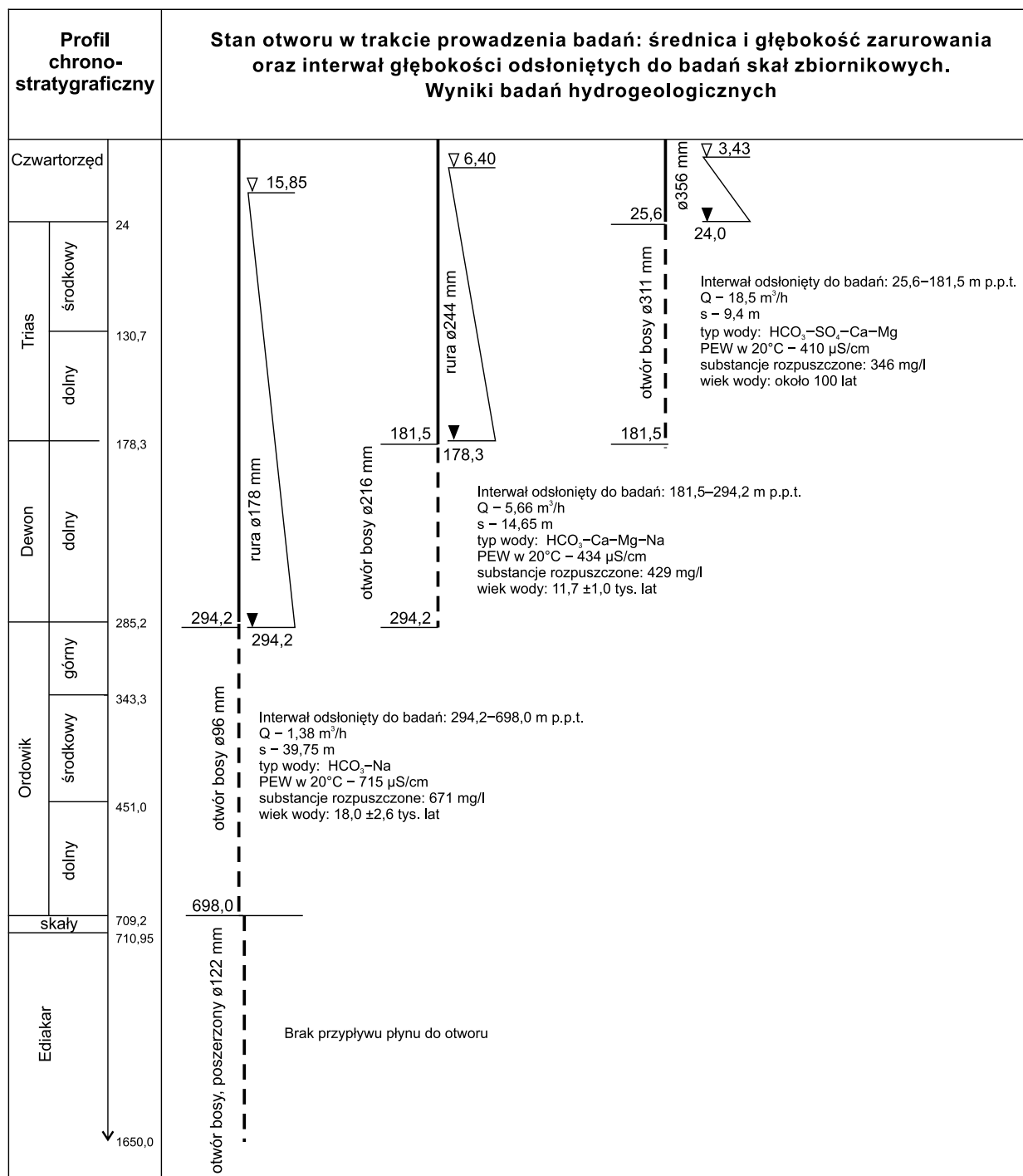


Fig. 94. Schemat opróbowania otworu wiertniczego

Testing scheme of the borehole

wu wskaźnika (¹⁴C) może być nawet do 100 razy mniejsza od prędkości wody. W tym przypadku należy uznać, że rzeczywisty średni wiek wody wynosi ok. 100 lat (tab. 59).

Dewońskie piaskowce i dolomity, głęb. 181,5– 294,2 m p.p.t.; średnica otworu – 216 mm; otwór bosi (fig. 94)

Próbne pompowanie prowadzono w dniach 13.07–17.07.2015 r. Badania rozpoczęto pompowaniem oczyszczającym, które trwało 48 godzin i zakończyło się 24 godziną

stabilizacją zwierciadła wody. Następnie przeprowadzono 12 godzinne pompowanie pomiarowe. Wydajność mierzono na wodomierzu, a obniżenie zwierciadła wody w otworze miernikiem elektrycznym.

Uzyskano dopływ wody do otworu ze spękanych piaskowców i dolomitów, z odsłoniętego do badań interwału o miąższości 112,7 m. Naporowe zwierciadło wody nawiercone na głębokości 178,3 m stabilizowało się na głębokości 6,4 m. Wydajność badanego poziomu wynosiła Q = 5,66 m³/h

Tabela 56

Wyniki badań wydajności otworu
Results of borehole performance

Rodzaj próbnego pompowania (ilość godzin) Kind of tentative pump (number of hours)	Głębokość zwierciadła [m] Depth of groundwater table [m]		Q [m³/h]	S [m]
	statyczne static	dynamiczne dynamic		
Odsłonięty do badań interwał: 25,6–181,5 m p.p.t. Litologia i stratygrafia zawodnionych warstw: wapienie i dolomity triasu środkowego i dolnego				
jednostopniowe w pojedynczym otworze (24 godziny)	3,43	12,83	18,5	9,40
Odsłonięty do badań interwał: 181,5–294,2 m p.p.t. Litologia i stratygrafia zawodnionych warstw: piaskowce i dolomity dewonu				
jednostopniowe w pojedynczym otworze (12 godzin)	6,40	21,05	5,66	14,65
Odsłonięty do badań interwał: 294,2–698,0 m p.p.t. Litologia i stratygrafia zawodnionych warstw: piaskowce ordowiku				
jednostopniowe w pojedynczym otworze (24 godziny)	15,85	55,6	1,38	39,75

Tabela 57

Parametry hydrogeologiczne poziomów wodonośnych badanych w otworze
Hydrogeological parameters of aquifers studied in the borehole

Poziom zbiornikowy: odsłonięty interwał [m] litologia skał stratygrafia Reservoir level exposed interval [m] rocks lithology stratigraphy	Parametry hydrogeologiczne Hydrogeological parameters			
	miąższość poziomu zbiornikowego thickness of reservoir level [m]	współczynnik filtracji filter coefficient [m/h]	wodoprzewodność water conductivity [m²/h]	wydatek jednostkowy single expense [m³/h·1mS]
25,6–181,5 m p.p.t. wapienie i dolomity trias	m = 155,9	k = 1,08 · 10 ⁻⁵	T = 6,05000	q = 1,96
181,5–294,2 m p.p.t. piaskowce i dolomity dewon	m = 112,7	k = 9,82 · 10 ⁻⁷	T = 0,39800	q = 0,38
294,2–698,0 m p.p.t. piaskowce ordowik	m = 403,8	k = 1,74 · 10 ⁻⁷	T = 0,00625	q = 0,03

przy depresji $S = 14,65$ m. Obliczone parametry hydrogeologiczne wyniosły: współczynnik filtracji $k = 9,82 \cdot 10^{-7}$ m/s; wodoprzewodność $T = 0,398$ m²/h; wydatek jednostkowy otworu $q = 0,38$ m³/h · mS (tab. 56, 57).

Woda dopływająca do otworu należała do wód słodkich, słabo zasadowych i średnio twardych (substancje rozpuszczone – 0,429 g/l; pH – 7,76; tw.og. 199 mgCaCO₃/l). Według klasyfikacji Szczukariewa-Priklóńskiego należy do typu HCO₃–Ca–Mg–Na (tab. 58).

Badania składu izotopów trwałych ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) wskazały na wody infiltracji u schyłku ostatniego zlodowacenia. Stężenie trytu i zawartość radiowęglu w badanej próbce wskazuje na śladową domieszkę wód współczesnych (z trytem) (tab. 59).

Badania składu helu, neonu i argonu wskazały na wody wieku glacialnego w temperaturze zasilania 6°C (tab. 60).

Ordowicki kompleks iłowcowo-mułowcowy z wkładkami piaskowców drobnziarnistych, głęb. 294,2–698,0 m p.p.t.; średnica otworu – 96 mm; otwór bosy (fig. 94)

Pompowanie pomiarowe przeprowadzono w dniach 21.08–24.08.2015 r. Badania rozpoczęto pompowaniem oczyszczającym, które trwało 26 godzin i zakończyło się 24-godziną stabilizacją zwierciadła wody. Następnie przeprowadzono 24-godzinne pompowanie pomiarowe. Wydajność mierzono na wodomierzu, a obniżenie zwierciadła wody w otworze sondą elektryczną. Wodę z pompowania odprowadzano rurociągiem na odległość 100 m do rowu

Uzyskano dopływ wody do otworu głównie z warstw piaskowców, z odsłoniętego do badań odcinka o miąższości 403,8 m. Naporowe zwierciadło wody nawiercone na głębokości 294,2 m stabilizowało się na głęb. 15,85 m. Wydajność badanego poziomu wynosiła $Q = 1,38$ m³/h przy depresji

Tabela 58

Wyniki badań fizykochemicznych wód podziemnych z otworu
Results of physical and chemical tests of groundwater from borehole

Właściwości fizyczne i skład chemiczny wód podziemnych Physical property and results of chemical analysis			Opis próbek: data poboru / interwał głębokości Description of sample: data of collection / interval of depth		
			24.06.2015 r.	17.07.2015 r.	24.08.2015 r.
			25,6–181,5 m	181,5–294,2 m	294,2–698,0 m
1			2	3	4
Właściwości fizyczne i chemiczne	PEW w 20°C	μS/cm	410	434	715
	barwa	mg Pt/l	<5	22	14
	mętność	NTU	0,3	3,2	0,9
	sub. rozpuszczone	mg/l	346	429	671
	odczyn	pH	7,92	7,76	8,03
	twardość ogólna	mg CaCO ₃ /l	184	199	131
	zasadowość ogólna	mg CaCO ₃ /l	135	218	266
	ChZT	mgO ₂ /l	–	2,8	4,2
	TOC	mg/l	–	1,3	2,0
Główne składniki	wodorowęglany	mg HCO ₃ /l	165	266	325
	siarczany	mg SO ₄ /l	79,6	16,1	80,2
	chlorki	mg Cl/l	5,93	31,8	57,6
	sód	mg Na/l	16,4	27,9	134,7
	potas	mg K/l	0,9	4,7	12,4
	wapń	mg Ca/l	46,5	42,9	31,0
	magnez	mg Mg/l	16,5	22,4	13,0
Podrzedne składniki	amoniak	mg NH ₄ /l	–	–	–
	azotany	mg NO ₃ /l	<0,01	0,23	0,15
	azotyny	mg NO ₂ /l	<0,01	0,02	0,03
	fosforany rozp.	mg HPO ₄ /l	<0,30	<0,30	<0,30
	żelazo	mg Fe/l	0,60	0,68	1,85
	glin	mg Al/l	0,0322	0,7344	0,2420
	krzem	mgSiO ₂ /l	11,6	10,7	8,6
Mikroskładniki	arsen	mg As/l	0,010	0,005	<0,002
	fluor	mg F/l	<0,10	0,24	1,89
	brom	mg Br/l	<0,10	<0,10	0,15
	bor	mg B/l	0,01	0,13	1,24
	lit	mg Li/l	0,0032	0,0259	0,1523
	stront	mg Sr/l	0,214	1,014	1,242
	bar	mg Ba/l	0,151	0,138	0,043
	mangan	mg Mn/l	0,106	0,029	0,125
	kobalt	mg Co/l	0,00005	0,0003	0,00009
	miedź	mg Cu/l	0,0005	0,00162	0,00099
	cynk	mg Zn/l	0,010	0,006	<0,003

Tabela 58 cd.

1		2	3	4
cd. Mikroskładniki	cyna mg Sn/l	0,0007	<0,0005	0,0056
	chrom mg Cr/l	<0,003	<0,003	<0,003
	molibden mg Mo/l	0,00132	0,00449	0,03034
	selen mg Se/l	<0,002	<0,002	<0,002
	wanad mg V/l	<0,001	<0,001	<0,001
	kadm mg Cd/l	<0,00005	<0,00005	0,00007
	ołów mg Pb/l	0,00062	0,00024	0,00011
	rtęć mg Hg/l	<0,0003	<0,0003	<0,0003
	srebro mg Ag/l	<0,00005	<0,00005	<0,00005
	nikiel mg Ni/l	<0,0005	0,0008	0,0008
	uran mg U/l	0,00027	0,00045	0,00011
	tal mg Tl/l	0,00102	0,00007	<0,00005
	antymon mg Sb/l	0,00136	0,00112	0,00014
	beryl mg Be/l	<0,00005	0,00006	<0,00005
	tytan mg Ti/l	0,006	0,010	0,007
Typ hydrochemiczny wód wg klasyfikacji Szczukariewa-Prikońskiego		piętro triasowe HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Mg	piętro dewońskie HCO ₃ -Ca-Mg-Na	piętro ordowickie HCO ₃ -Na

Tabela 59

Wyniki oznaczeń składu izotopowego oraz stężenia trytu i radiowęglu w badanych wodach podziemnych dopływających do otworu

Isotope concentrations of tritium and radiocarbon in groundwater in the borehole

Opis próbki: data poboru odsłonięty interwał [m] litologia skał stratygrafia Description of sample: date of collection exposed interval [m] lithology of rocks stratigraphy	$\delta^{18}\text{O}$ [‰ VSMOW]	$\delta^2\text{H}$ [‰ VSMOW]	Tryt [TU]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰ VPDB]	^{14}C [pMC]	Wiek ^{14}C [tys. lat] Age ^{14}C [thousand years]
	izotop trwały tlenu stable oxygen isotope	izotop trwały wodoru stable hydrogen isotope	najcięższy izotop wodoru ^3H most heavy hydrogen isotope	izotop trwały węgla stable carbon isotope	radiowęgiel radiocarbon	
24.06.2015 25,6–181,5 wapień i dolomity trias	–9,72 –9,72	–70,1 –68,4	10,4 ±0,6	–11,9	13,1 ±1,5	11,7 ±1,0
17.07.2015 181,5–294,2 piaskowce i dolomity dewon	–10,65 –10,70	–79,0 79,9	0,7 ±0,3	–11,8	3,3 ±1,5	23,0 ±3,8
24.08.2015 294,2–698,0 piaskowce ordowik	–10,75 –10,80	–78,5 –78,5	0,0 ±0,3	–9,5	4,9 ±1,5	18,0 ±2,6

Tabela 60

Wyniki oznaczeń neonu, argonu oraz helu w badanych wodach podziemnych dopływających do otworu

Concentrations of neon, argon and helium in groundwater of the borehole

Opis próbek: data poboru odsłonięty interwał [m] litologia skał stratygrafia Description of sample: date of collection exposed interval [m] lithology of rocks stratigraphy	Ne · 10 ⁻⁷ [cm ³ _{STP} /g]	Ar · 10 ⁻⁴ [cm ³ _{STP} /g]	He · 10 ⁻⁸ [cm ³ _{STP} /g]	He _{exc} · 10 ⁻⁸ [cm ³ _{STP} /g]	NGT [°C]	Excess air [cm ³ /L]
	stężenie neonu w wodzie podziemnej concentration of neon in groundwater	stężenie argonu w wodzie podziemnej concentration of hel in groundwater	stężenie helu w wodzie podziemnej concentration of hel in groundwater	stężenie nadmiaru helu wynikające z wieku wody* concentration of hel excess resulting from water age*	wyliczona wartość temperatury zasilania calculated value of temperature supply	wyliczona wartość nadmiaru powietrza calculated value of excess air
17.07.2015 181,5–294,2 piaskowce i dolomity dewon	2,83 ± 0,15	4,55 ± 0,22	133,9 ± 11	127,0 ± 11	6,0 ± 1	4,3 ± 0,6
24.08.2015 294,2–698,0 piaskowce ordowik	2,95 ± 0,16	4,73 ± 0,23	1152,1 ± 85	1144,9 ± 85	4,8 ± 1	4,8 ± 0,7

* Czas przebywania wody w systemie wód podziemnych
Time of water resides in groundwater system

S = 39,75 m. Obliczone parametry hydrogeologiczne wyniosły: współczynnik filtracji $k = 1,74 \cdot 10^{-7}$ m/s; wodoprzewodność $T = 0,00625$ m²/h; wydatek jednostkowy otworu $q = 3,26$ m³/h · mS (tab. 56, 57).

Woda dopływająca do otworu należała do wód słodkich, słabo zasadowych i miękkich (substancje rozpuszczone – 0,671 g/l; pH – 8,03; tw.og. 131 mgCaCO₃/l). Wg klasyfi-

kacji Szczukariewa-Prikłonskiego należy do typu HCO₃–Na (tab. 58).

Badania składu izotopów trwałych (δ¹⁸O, δ²H) wskazały na wody infiltracji u schyłku ostatniego zlodowacenia. Potwierdzeniem jest brak trytu i małe stężenia radiowęglu (tab. 59).

Badania składu helu, neonu i argonu wskazały na wody wieku glacialnego w temperaturze zasilania 4,8°C (tab. 60).

PODSUMOWANIE

W rejonie prowadzonych badań rozpoznano jak dotąd warunki hydrogeologiczne środowiska skalnego do głębokości 300 m. W strefie tej występują dwa systemy wodonośne: w obrębie czwartorzędu zawodnione są piaski i żwiry a w utworach triasu zawodnione są wapienie i dolomity. Odwierceny do głębokości 1650 m otwór Bibiela PIG 1 umożliwił rozpoznanie zawodnienia występujących w podłożu utworów triasu, dewonu, ordowiku i ediakaru.

Badania środowiska hydrogeologicznego wykonane w otworze Bibiela PIG 1 wykazały występowanie do głęb. 698 m p.p.t. dwóch typów skał zbiornikowych, z których uzyskano dopływ wody do otworu: skał węglanowych, które stratygraficznie należą do triasu środkowego i dolnego (wapienie i dolomity występujące w odsłoniętym do badań interwale 25,6–181,5 m p.p.t.), dewonu dolnego (piaskowce i dolomity występujące w odsłoniętym do badań interwale

181,5–294,2 m p.p.t.) oraz ordowiku (piaskowce występujące w odsłoniętym do badań interwale 294,2–698,0 m p.p.t.). W spągowej części otworu (na głęb. 698,0–1650 m p.p.t.) udokumentowano występowanie skał wykształconych głównie w facji ilasto-mułowcowej, należącej do ediakaru, z których nie uzyskano przyływu płynu do otworu.

W badanych strefach dopływu wód do otworu wystąpiły wody pod ciśnieniem, które wzrastało z głębokością w wartościach 2,1 i 17,2 oraz 27,8 at. Zbadane wody należą do wód słodkich, których mineralizacja wzrasta wraz z głębokością, przyjmując wartości parametru substancji rozpuszczonych w ilościach: 346, 429 i 671 mg/l. Są to wody pochodzenia infiltracyjnego, które według wyników badań składu izotopowego i gazowego pochodzą bezpośrednio z opadów występujących w holocenie lub plejstocenie u schyłku ostatniego glaciału.