

## WYNIKI BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

### ZAKRES WYKONANYCH BADAŃ

W trakcie wykonywania otworu Bydgoszcz IG 1 przeprowadzono sukcesywnie, zgodnie z projektem otworu, tzw. strefowe badania geofizyczne, zazwyczaj przed zarurowaniem kolejnych fragmentów profilu. Były one wykonywane w okresie od 14.07.1987 roku do 24.01.1989 roku, w 13 odcinkach. Badania wykonano przy użyciu standardowej aparatury analogowej, typu AKSŁ-7, produkcji radzieckiej, a ich wykonawcą była Geofizyka Toruń. Był to jeden z ostatnich głębokich otworów badawczych Państwowego Instytutu Geologicznego, w którym wykonywane były badania geofizyczne przy zastosowaniu przestarzałego sprzętu pomiarowego, zdecydowanie odbiegającego od obowiązujących w tym czasie na świecie standardów. Pomiary radiometryczne, stanowiące wówczas podstawowy typ badań geofizycznych służących do oceny litologii oraz właściwości zbiornikowych skał występujących w profilu, wykonywane były sondami nie posiadającymi ani standaryzacji ani tym bardziej kalibracji. Były to sondy typu SP-62 w metodzie PNG, oraz GNG-8, GNG-8 w metodzie PNNt. W trakcie prac interpretacyjnych standary-

zacja tych sond następowała *post factum*, głównie na podstawie korelacji statystycznej z wynikami laboratoryjnych badań próbek skalnych (Szewczyk, 1998a, b). W przypadku pomiarów radiometrycznych wykonywany był każdorazowo pomiar kontrolny na odcinku nie mniejszym niż 50 metrów, zazwyczaj w najgłębszej części badanego odcinka profilu.

Pomiary temperatury przeprowadzano sondami TG-5 bądź T-5, a pomiary akustyczne sondami SPAK-4, którymi wykonano standardowe badania akustyczne, jak i ocenę stanu zacementowania rur okładzinowych. Badania stanu zacementowania wykonano odpowiednio w interwałach 14–3594 m (dla rur 9 5/8 cala) i 3450–4257 m dla rur 6 5/8 cala.

Zastosowany sprzęt pomiarowy, jak i zakres wykonanych badań oraz ich jakość, z obiektywnych przyczyn (nieдоступność sprzętu pomiarowego o wysokim standardzie związana z obowiązującym embargiem gospodarczym) pozwoliły na uzyskanie rozpoznania profilu wiercenia jedynie w ograniczonym zakresie (tab. 12)

Tabela 12

Szczegółowy spis typów badań geofizycznych wykonanych w otworze Bydgoszcz IG 1

Geophysical investigation chart in the Bydgoszcz IG 1 borehole

Odcinek badań strefowych	Data wykonywania badań	Głęb. otworu	Typ badań	Odcinek pomiarowy [m]
1	2	3	4	5
1	14.07.87	299	PO PS PŚr PGG, PG, PNG PK	6–299 ×2 10–295 3–300 0–300 10–290
2	3–4.08.87	1541	PO PS (bezprądowo) PŚr, PG, PNG, PA(T1,Δt) PTn PK BSO, PŚr, PS	325–1540 ×2 325–1540 325–1541 275–1541 1441–1541 275–1541 325–1540

Odcinek badań strefowych	Data wykonywania badań	Głęb. otworu	Typ badań	Odcinek pomiarowy [m]
1	2	3	4	5
3	20–21.08.87	2023	PG, PNG PA(T1,T2) PO PTn PK BSO PŚr, PS PNG PGG	1515–2023 1515–2020 1515–2018 ×2 1920–2020 1525–2015 1515–2018 ×6 325–2018 275–1550 1400–2023
4	14–15.09.87	2505	PG, PNG, PA(ΔT, T1) PO ×2, BSO PS, PŚr PTn PK	1973–2505 1968–2505 325–2505 2400–2500 2000–2500

Tabela 12 cd.

1	2	3	4	6
5	25–26.10.87	3006	PG, PNG PGG PNG PA( $\Delta T, T_1$ ) PŚr PO $\times 2$ PTn PK BSO PS PŚr	2455–3006 1973–3005 2455–3003 $\times 2$ 2455–3003 2454–3004 2454–3004 2906–3006 2475–3000 2454–3004 $\times 6$ 325–3004 325–3006
6	13–14.12.87	3420	PG, PNG, PŚr, PO $\times 2$ gradPS PTn PA( $\Delta T, T_1$ ) PK BSO $\times 6$ PS PŚr PEx	2980–3420 2980–3420 3320–3420 2980–3419 2975–3415 2980–3419 325–3419 325–3420 325–3412
7	4–5.01.88	3608	PG, PNG PA( $\Delta T, T_1$ ) PO PTn PK BSO PŚr PS	3370–3608 3370–3605 3370–3608 $\times 2$ 3508–3608 3400–3600 3370–3608 $\times 6$ 325–3602 325–3608
8	7–10.04.88 13.04.88	4172	PG PGG PNG PA( $\Delta T, T_1$ ), PŚr PO PS PTn PK PA(c)(T, A) POst	3558–4172 3594–4172 3558–4172 3594–4174 3594–4174 $\times 2$ 3594–4174 4074–4174 3575–4175 14–3594 3594–4174
9	24–25.04.88	4263	PG, PGG, PNG, PA( $\Delta T, T_1$ ), POst PŚr PO, PS PTn PK PŚr	4150–4263 4150–4260 4150–4262 4150–4259 4162–4262 4150–4250 4150–4262
10	20–22.06.88	4735	PG PGG PNG PA( $\Delta T, T_1$ ) POst PŚr PO PS bezprądowe PTn PK PAC	4232–4722 4257–4735 4232–4722 4257–4734 4257–4700 4257–4735 4257–4733 $\times 2$ 4634–4734 4250–4725 3450–4257
11	14–16.10.88	5228	PO $\times 2$ , BSO ( $\times 3$ ) PŚr PG, PNN PTn PK PS	4705–5226 4257–5228 4695–5227 5147–5227 4700–5225 4700–5227
12	21–22.12.88	5450	PŚr BSO $\times 4$ PO $\times 2$ POst PTn PK PG PNN PŚr	4256–5443 5140–5450 5150–5450 5140–5450 5140–5440 5200–5425 4640–5440 4640–5225 4640–5440
13	22–23.01.89	5620	PG, PNN PŚr, PTn PO PK BSO POst	5385–5615 5385–5618 5385–5595 5425–5610 5390–5600 $\times 4$ 5385–5602
	17.02.89		PTu	50–5550

W trakcie prac dokumentacyjnych związków z tworzeniem bazy cyfrowych badań geofizycznych Centralnej Bazy Danych Geofizycznych część badań obejmujących głównie pomiary radiometryczne, akustyczne oraz wybrane elektrometryczne została zdigitalizowana.

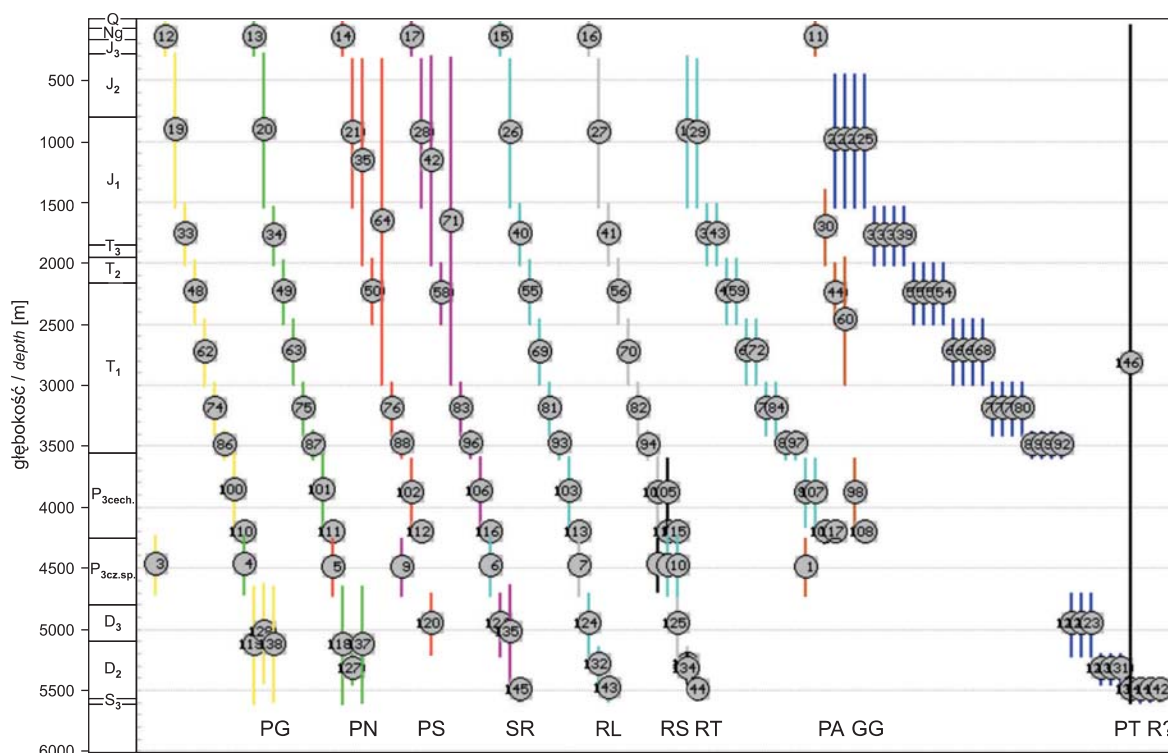
Na figurze 51 przedstawione zostały w formie graficznej odcinki wspomnianych badań strefowych, gdzie wyszczególniono rodzaje zdigitalizowanych badań wraz z numerem katalogowym przyjętym w systemie GEOFLOG dla otworu Bydgoszcz IG 1. Praktycznie w profilu całego otworu zrealizowano pełny zestaw badań możliwych do wykonania standardowymi analogowymi aparaturami karotażowymi.

W trakcie wiercenia, wykonywane były bieżące prace interpretacyjna, m.in. związane z określeniem optymalnych interwałów głębokościowych dla opróbowań złożowych. Po jego

zakończeniu wykonano dokumentację końcową badań geofizycznych stanowiąca część składową dokumentacji wiercenia Bydgoszcz IG 1.

Na figurze 52 przedstawione zostały wyniki unormowanych i połączonych wartości naturalnego promieniowania gamma, a także profilowania średnicy otworu ze wskazaniem głębokości połączenia poszczególnych odcinków badań. Wiertniczy profil litologiczny (LITO) ze wskazaniem odcinków rdzeniowanych z zaznaczeniem uzyskanej efektywności rdzeniowania pokazano na figurze 2. Zastosowana metodyka normowania profilowań gamma opisana została w pracy Szewczyka (2000).

Ze względu na bardzo ograniczony zakres rdzeniowania szczególnie w utworach młodszych od triasu (fig. 2) podstawową formą dokumentowania tej części profilu są i pozostaną wyniki omawianych badań geofizycznych.



**Fig. 51. Schematyczne zestawienie typów badań geofizycznych istniejących w formie cyfrowej wykonanych w otworze Bydgoszcz IG 2**

**Typy profilowań geofizycznych:** PG – profilowanie naturalnego promieniowania gamma, PN – profilowanie neutronowe, PS – profilowanie potencjałów samoistnych, SR – profilowanie średnicy otworu, RL – profilowanie oporności długą sondą gradientową, RS – profilowanie oporności krótką sondą potencjałową, RT – profilowanie oporności polem sterowanym, PA – profilowanie akustyczne, GG – profilowanie gęstości typu gamma-gamma, PT – profilowanie temperatury, R? – profilowanie (sondowanie) oporności; przy opisie profilowania podano jego numer identyfikacyjny w systemie GEOFLOG

Geophysical wireline logs intervals; Bydgoszcz IG 1 borehole

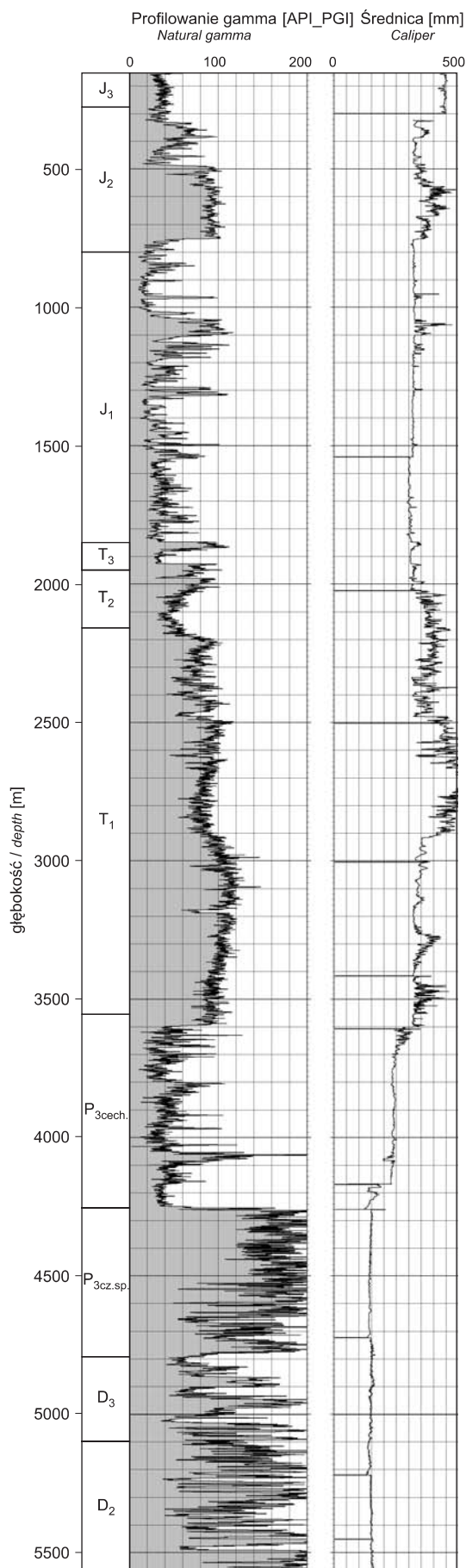
Types of borehole logging methods: PG – natural gamma log, PN – neutron log, PS – spontaneous log, SR – caliper, RL – resistivity lateral, RS – resistivity normal, RT – laterolog, PA – sonic log, GG – density log, PT – temperature log, R? – resistivity; it was given a number of file used in GEOFLOG interpretation system

## PROFIL LITOLOGICZNO-POROWATOŚCIOWY

W trakcie wiercenia, a także po jego zakończeniu wykonywane były bieżące prace interpretacyjna. Realizatorem tych prac był wykonawca badań geofizycznych, tj. Geofizyka TORUŃ, a wyniki były zawarte w dokumentacji końcowej otworu badawczego Bydgoszcz IG 1. Były one wykorzystywane m.in. przy wyborze odcinków profilu dla badań złożowych.

Wyniki źródłowych danych pomiarowych zarejestrowane w formie analogowej w skali głębokościowej 1:500 zostały zdigitalizowane oraz unormowane w zakresie przewidzianym programem prac związanych z wprowadzeniem omawianych danych do Centralnej Bazy Danych Geologicznych o numerycznym katalogowym 30810.

Po roku 2000, w związku z potrzebą uzyskania informacji na temat profilu litologiczno-porowatościowego całego wiercenia Bydgoszcz IG 1, wykonano kompleksowe prace interpretacyjne, których celem było określenie profilu litologicznego oraz podstawowych właściwości petrofizycznych, tj. porowatości, zailenia, gęstości objętościowej oraz przewodności cieplnej (Szewczyk, 2001). Prace interpretacyjne prowadzono przy wykorzystaniu autorskiego programu interpretacyjnego GEOFLOG. Należy podkreślić, że stopień szczegółowości wykonanych prac interpretacyjnych, a także postawiony cel badawczy, czyli uzyskanie podstawowej wiedzy na temat uproszczonego modelu litologiczno-porowatościowego skał



występujących w profilu, pozwalają na traktowanie uzyskanych wyników jako wstępnego wariantu interpretacyjnego. Niezbędny dalszy rozwój metodyki prac interpretacyjnych, ukierunkowanych na odczytywanie archiwalnych danych geofizycznych, umożliwi uzyskanie pełniejszego rozpoznania profilu wiercenia Bydgoszcz IG 1.

Na figurze 53 przedstawiono zestawienie wyników określeń porowatości całkowitej z wynikami badań laboratoryjnych, a w lewej części figury podział profilu na warstwy wykazujące cechy skał zbiornikowych oraz izolacyjne. Dla warstw pierwszej grupy obliczono wartość porowatości efektywnej. Jak widać warstwy te występują wyłącznie w obrębie utworów jury środkowej oraz dolnej.

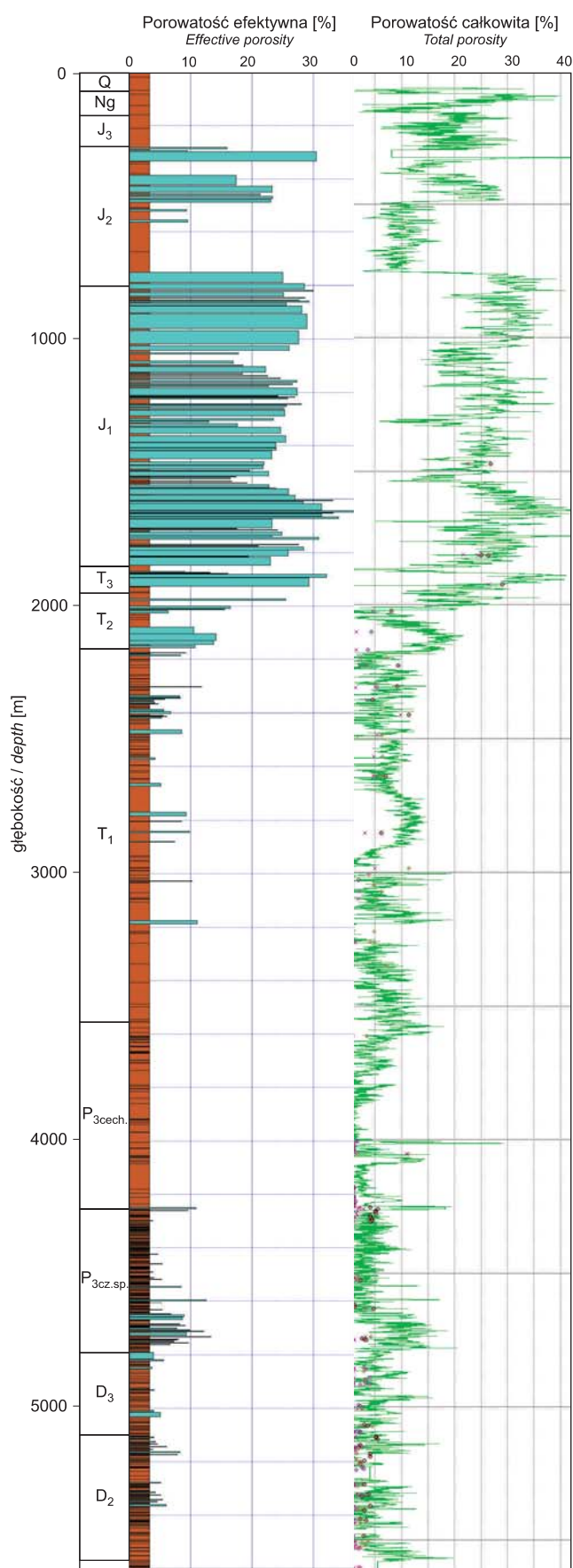


**Fig. 52. Unormowane oraz połączone wartości profilowania naturalnego promieniowania gamma**

Na wykresie profilowania średnicy otworu wskazano miejsca połączeń poszczególnych odcinków badań

Normalised gamma ray values

Connection points of individual wireline logs intervals and cored intervals are indicated on calliper log



**Fig. 53. Profil warstw izolujących oraz kolektorskich z podanymi wartościami ich średniej porowatości efektywnej**

The sections of caprock and reservoir series with effective porosity values indicated



## CHARAKTERYSTYKA TERMICZNA

W otworze Bydgoszcz IG 1 wykonane zostały badania termiczne w warunkach zbliżonych od ustalonych (po 12 dobach stójki). Pomiar wykazuje stosunkowo dobrą stabilizację termiczną, której stopień może być oceniany na podstawie zgodności temperatury mierzonej do temperatury przypowierzchniowej, określanej na podstawie wieloletnich danych meteorologicznych. Dla obszaru Bydgoszczy jest ona równa około  $+8,6^{\circ}\text{C}$  podczas gdy temperatura ekstrapolowana do powierzchni wynosi około  $14\text{--}15^{\circ}\text{C}$ . W otworze wykonywane były w odcinkach poszczególnych badań strefowych w ich dolnej części pomiary temperatury w nieustalonych warunkach termicznych stanowiące odpowiednik pomiarów temperatury maksymalnej (BHT). Wyniki tych badań przedstawiono tabeli 13.

Na figurze 54 pokazano zestawienie tzw. temperatury syntetycznej ( $T_s$ ) dla warunków pełnej stabilizacji, obliczonej na podstawie przewodności cieplnej skał tworzących profil, z wynikami pomiaru temperatury ( $T$ ) oraz wynikami zarejestrowanych wartości temperatury maksymalnej (BHT). Widoczne rozbieżności wartości  $T_s$  z wynikami  $T$  są efektem zarówno niepełnej stabilizacji termicznej danych pomiarowych, jak i nieliniowością rejestracji danych termicznych. Dla głębokości mniejszych niż 1500 metrów widoczny jest wpływ ocieplenia holoceniowego na pomiar  $T$ .

Wartość gęstości strumienia cieplnego uwzględniająca wpływ czynnika paleoklimatycznego wynosi  $61,3\text{ mWm}^{-2}$  (Szewczyk, Gientka, 2009), a temperatura ustabilizowana dla głębokości 2000 m (poza wpływem zaburzeń klimatycznych) wynosi  $50,19^{\circ}\text{C}$ . Bydgoszcz IG 1 znajduje się na obszarze niskich wartości strumienia cieplnego typowych dla obszaru platformowego.

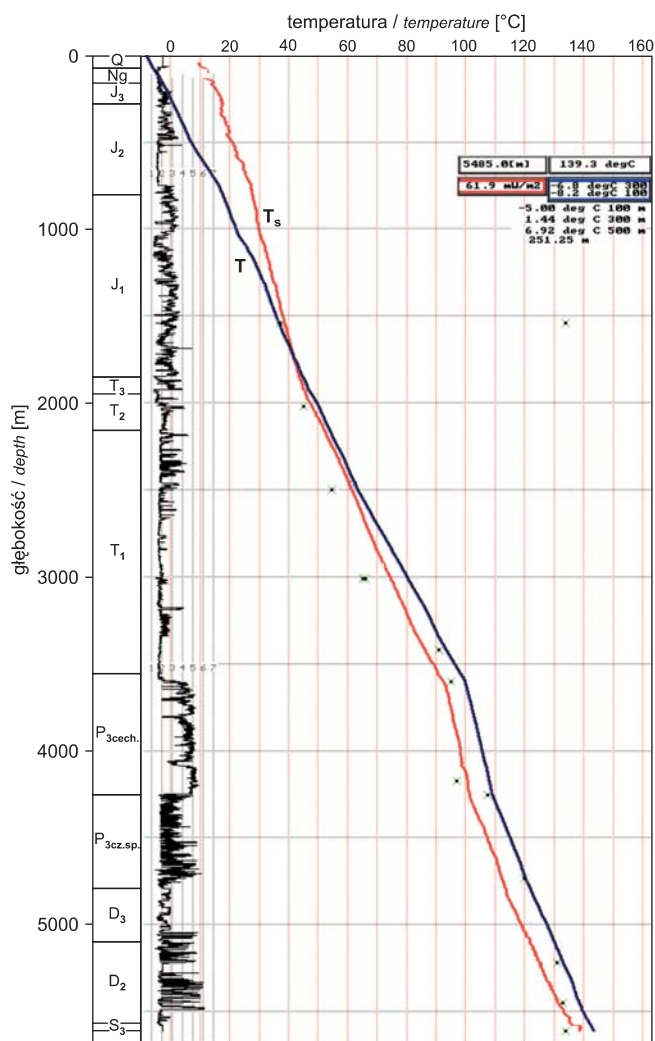


Tabela 13

**Pomiary temperatury w niestabilnych warunkach termicznych  
stanowiące odpowiednik pomiarów temperatury maksymalnej (BHT)**

Temperature measurements in unstable thermal conditions, equivalent to the bottom hole temperature (BHT) values

Głębokość [m]	1542	2023	2505	3006	3417	3605	3417	3605	4175	4256	4736	5223	5451	5615
Temperatura [°C]	37,3	45	55	66	91	95	91	95	97	107,5	120	131	133	134



**Fig. 54. Charakterystyka termiczna  
dla otworu Bydgoszcz IG 1**

T – zarejestrowana wartość temperatury dla warunków zbliżonych do ustalonych, Ts – temperatura syntetyczna obliczona na podstawie przewodności termicznej skał (K) oraz stałej określonej wielkości strumienia ciepłego unormowanego do warunków klimatu ostatniego zlodowacenia (Szewczyk, Gientka, 2009). Punktami zaznaczono wartości temperatury maksymalnej

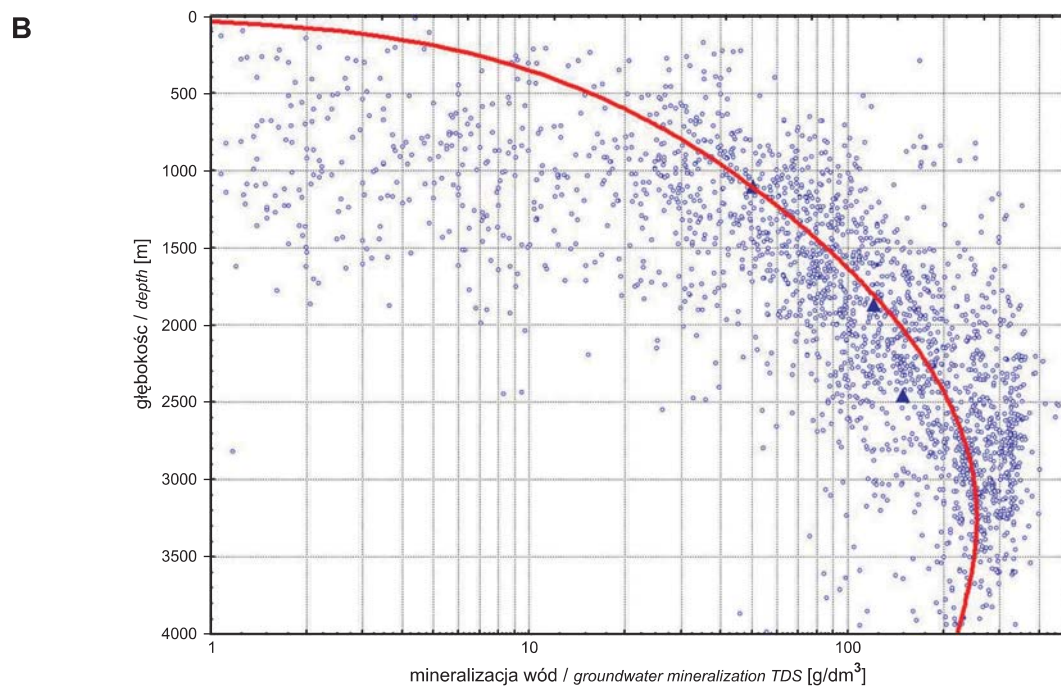
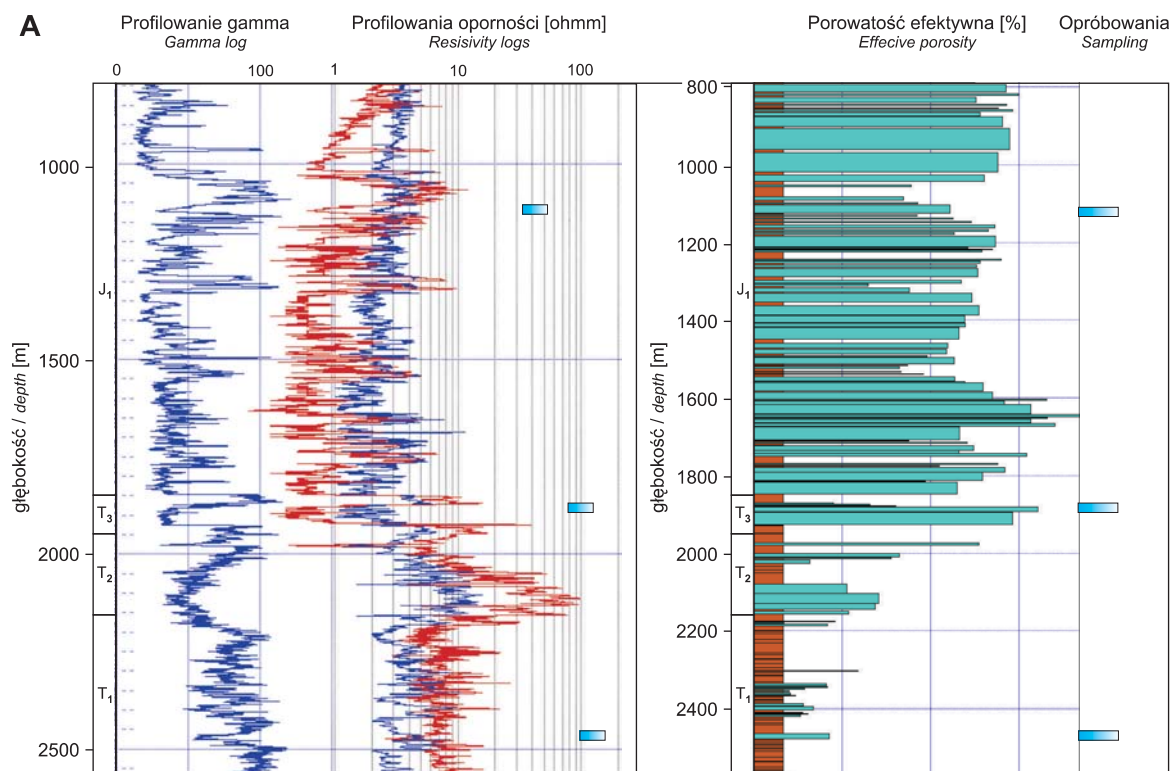
Bydgoszcz IG 1 thermal data

T – temperature recorded for near stable conditions, Ts – synthetic temperature calculated based on thermal conductivity of rocks (K) and constant heat flow value normalised to the last glaciation climatic conditions (Szewczyk, Gientka, 2009). Maximum temperature values are indicated

## CHARAKTERYSTYKA HYDROGEOLOGICZNA

W otworze Bydgoszcz IG 1 wykonane zostały badania hydrogeologiczne łącznie w 8 poziomach. W trzech przypadkach odnoszących się do utworów jury dolnej oraz triasu uzyskano przyływ wód złożowych. W przypadku utworów jury dolnej były to przyływy bardzo wysokie, zbliżone do 100 m<sup>3</sup>/h. Bar-

dzo niewielki przyływ uzyskany został w utworach pstrego piaskowca – były to przyływy sięgający 2,5 m<sup>3</sup>/h. Wyniki te potwierdzają ocenę właściwości zbiornikowych warstw, w których wykonywano te badania. Na figurze 55A przedstawiona zostało lokalizacja odcinków wykonanych badań, w których



**Fig. 55. A – warstwy zbiornikowe i izolujące w strefie objętej badaniami hydrogeologicznymi, wskazano interwały badań (Szewczyk, 2006); B – mineralizacja wód podziemnych uzyskana w badanych odcinkach na tle mineralizacji wód z obszaru Nizy Polskiego**

A – reservoir and caprock series within the intervals tested (Szewczyk, 2006)

B – groundwater mineralisation from the tested intervals against the groundwater mineralisation values in the Polish Lowlands

uzyskano przyływu wód złożowych. W opróbowanych poniżej głębokości 3165 metra odcinkach nie uzyskano przyływów.

Na [figurze 55B](#) przedstawione zostały wyniki badań mineralizacji wód złożowych uzyskanych w trakcie badań hydrogeologicznych wykonanych w otworze Bydgoszcz IG 1. Wyniki te zostały przedstawione na tle rozkładu tego parametru uzyskanego w otworach badawczych i poszukiwawczych

dla obszaru Nizy Polskiego (Bojarski i in., 1996). Pokazany został wykres wartości średniej mineralizacji obliczony metodą najmniejszych kwadratów. Może być on traktowana jako układ odniesienia w stosunku do wartości mineralizacji w badanych poziomach wodonośnych. Wyniki z otworu Bydgoszcz IG 1 wskazują, że mineralizacje wód w tych poziomach są typowe dla obszaru Nizy Polskiego.