Jan SZEWCZYK

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

ZAKRES WYKONANYCH BADAŃ

Podstawową część badań geofizycznych w otworze wiertniczym Stadniki IG 1 wykonano w czterech odcinkach badań strefowych, w okresie od 13 marca do 27 września 1972 r. (tab. 11). Badania te przeprowadzano wykorzystując standardowe analogowe aparatury produkcji radzieckiej, a wykonawcą badań były grupy pomiarowe Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych z bazy w Lublinie. Badania metodą akustyczną wykonali pracownicy Geofizyki Toruń (zapis pola falowego aparaturą ŁAK-2). Pomiary radiometryczne, stanowiące wówczas podstawowy typ badań geofizycznych, służących do oceny litologii oraz właściwości zbiornikowych skał występujących w profilu – wykonywano z, braku innych możliwości technicznych, sondami nie mającymi ani standaryzacji, ani kalibracji. W trakcie prac interpretacyjnych standaryzacja tych sond następowała *post factum*, głównie na podstawie korelacji statystycznej z wynikami laboratoryjnych badań próbek skalnych (Szewczyk, 1998). W przypadku pomiarów radiometrycznych każdorazowo wykonywano pomiar kontrolny na odcinku nie mniejszym niż 50 m – zazwyczaj w najgłębszej części badanego odcinka profilu.

W tabeli 11 zestawiono typy wykonanych badań z informacją o numerze identyfikacyjnym arkuszy pomiarowych, na których przedstawiono określone pomiary, datę wykonania pomiaru, głębokość otworu w chwili wykonywania pomiaru oraz interwał głębokości, w którym dany pomiar był wykonywany. W trakcie realizacji wiercenia badania geofizyczne prowadzono w ramach tzw. strefowych badań geofizycznych, których wstępne wyniki były przedstawione we wstępnych interpretacjach odcinkowych opracowywanych przez wykonawcę badań. Efektem końcowym wszystkich przeprowadzonych w otworze wiertniczym Stadniki IG 1 badań geofizycznych jest dokumentacja końcowa badań geofizyki wiertniczej w otworze, stanowiąca integralną część jego dokumentacji.

Wyniki wybranych źródłowych danych pomiarowych zarejestrowane w formie analogowej w skali głębokościowej 1:500 zdigitalizowano oraz unormowano w zakresie przewidzianym programem prac związanych z wprowadzeniem omawianych danych do Centralnej Bazy Danych Geologicznych (ID otworu wiertniczego Stadniki IG 1 w CBDG-7400).

Na figurze 24 przedstawiono w formie graficznej odcinki wspomnianych badań strefowych, z wyszczególnieniem rodzaju wykonanych badań. Przy poszczególnych pomiarach podano numery katalogowe przyjęte w systemie GEOFLOG dla otworu wiertniczego Stadniki IG 1. Praktycznie w profilu całego otworu wykonano pełny zestaw badań możliwych do przeprowadzenia standardowymi analogowymi aparaturami karotażowymi. Po osiągnięciu głębokości końcowej dodatkowo wykonano ujednolicające pomiary radiometryczne metodą PG oraz PNG. Badania geofizyczne zakończono pomiarem temperatury w warunkach zbliżonych do ustalonych (po 12 dobowej stójce).

W ramach prac interpretacyjnych związanych z wprowadzaniem danych geofizycznych do CBDG pomiary radiometryczne, tj. profilowanie naturalnego promieniowania gamma (PG) oraz profilowania neutronowe (PNG lub PNN) unormowano oraz połączono w obrębie całego otworu wiertniczego. Na figurze 25 przedstawiono wyniki unormowanych i połączonych wartości naturalnego promieniowania gamma, a także profilowania średnicy otworu ze wskazaniem głębokości połączenia poszczególnych odcinków badań. Pokazano równocześnie wiertniczy profil litologiczny, ze wskazaniem odcinków rdzeniowanych. Zastosowaną metodykę normowania profilowań gamma opisał Szewczyk (2000).

Między głębokościami wiertniczymi, wyznaczonymi na podstawie pomiaru długości przewodu wiertniczego a głębokościami geofizycznymi, wynikającymi z długości kabla karotażowego, wystąpiły bardzo znaczące różnice (głębokości wiertnicze są większe). Maksymalna wielkość przesunięcia sięgająca 12,9 m jest obserwowana na głębokości około 1179 m. Przyczyną tak znacznego błędu jest prawdopodobnie złe wymierzenie długości przewodu wiertniczego (błąd głębokości geofizycznej jest zdecydowanie mniej prawdopodobny). Przesunięcie powyższe utrzymało się do spodu otworu, co wpłynęło na wyraźną – znaczną różnicę w ocenie głębokości końcowej wiercenia, odpowiednio: głębokość wiertnicza 1560 m i geofizyczna 1550 m.

Bardzo wysoka wartość promieniowania gamma obserwowana w utworach podłoża krystalicznego (prekambryjskiego) w występujących w tym rejonie gnejsach (ok. 250 API_PGI), ze względu na bardzo strome ułożenie skał podłoża krystalicznego, może znacznie odbiegać od ocen dokonywanych na podstawie obserwacji rdzeni wiertniczych.

Tabela 11

Rodzaje pomiarów geofizycznych wykonanych w otworze wiertniczym Stadniki IG 1

The types of geophysical measurements made in Stadniki IG 1 borehole

Data	Głębokość otworu [m]	Rodzaj pomiaru	Badany interwał [m]
13–14.03.1972 r.	256	POpg PS PŚr PK PG, PNGPK	8–238 ×2 8–233 2,5–235 0–238 pkt. 12 2–238
14.04.1972 r.	781,3	PO PS PŚr PK PG, PNG	208–770 ×2 208–765 208–770 175–770 185–770
27–28.06.1972 r.	1239	PŚr PK PG, PNG PO, PS POP	208–1220 725–1225 25 pkt. 720–1226 208–1226 720–1226
27–28.06.1972 r.	1239	POP, SO	720–1226
28.06.1972 r.	1239	PA tłum.	190–1225
28.06.1972 r.	1239	PAΔt	190–1225
28.06.1972 r.	1479,9	PAΔt	190–1227
27.07.1972 r.	1439	PŚr	1230–1477
28.06.1972 r.	1560,5	PA Pręd. warstwowe	208–1228
14.08.1972 r.	1342	PŚr	1230–1550
18.07.1972 r.	1342	PA (tłum)	70–1250
18.07.1972 r.	1560,5	PA Δt	70–1252
16–17.08.1972 r.	1560,5	PO, PS PS POP, Post, PŚr PK PTn PG, PNG	1230–1550 1230–1534 1230–1550 1175–1550 1230–1550 1176–1550
16–17.08.1972 r.	1560,5	SO, POP	1230–1550
16–17.08.1972 r.	1560,5	PNG PG	22–1550 0–1550
		PA Pręd. warstwowe	1228–1546
27.09.1972 r.	1560	PA tłum.	1200–1547
27.09.1972 r.	1560	PADt	1200–1545
29.08.1972 r.	1560	PTu	114–1550

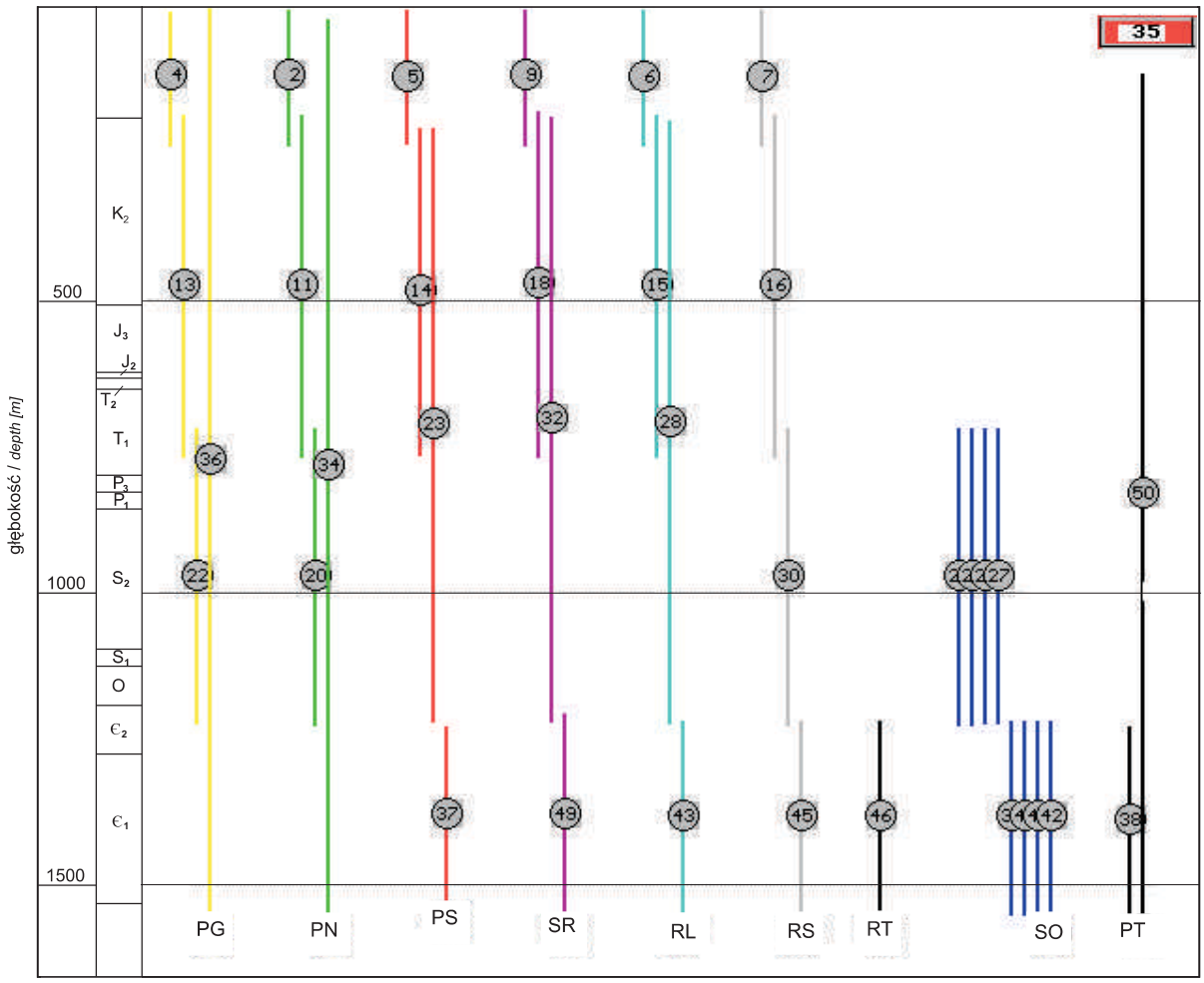

Fig. 24. Schematyczne zestawienie profilowań geofizycznych z otworu wiertniczego Stadniki IG 1 istniejących w formie danych cyfrowych w CBDG PIG–PIB (2010 r.)

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, SO – profilowanie (sondowanie) oporności, PT – profilowanie temperatury; numer identyfikacyjny podano w systemie GEOFLOG

Diagram showing digitized wireline logs intervals available
from the CBDG PGI–NRI Central Geological Database (CBDG) (as of 2010)

Types of borehole logging methods: PG – natural gamma, PN – neutron, PS – spontaneous potential, SR – caliper, RL – resistivity lateral, RS – resistivity normal, RT – laterolog, SO – resistivity, PT – temperature; file number is given in GEOFLOG log system

CHARAKTERYSTYKA TERMICZNA

W otworze wiertniczym Stadniki IG 1 został wykonany pomiar termiczny w warunkach zbliżonych do ustabilizowanych (12 dni stójki). Niewielka różnica między ekstrapolowaną wartością temperatury (ok. 10°C), wartością temperatury powierzchni ziemi (*GST – ground surface temperature*), określoną na podstawie danych meteorologicznych (8,75°C), wskazuje na dobrą stabilizację termiczną otworu wiertniczego. Ponadto, w trakcie odcinkowych badań geofizycznych były wykonywane pomiary temperatury maksymalnej dla badanego odcinka profilu. Wyniki tych pomiarów podano w tabeli 12.

Wykonana interpretacja profilu litologiczno-porowatościowego pozwoliła na obliczenie przewodności cieplnej skał (K) występujących w profilu Stadniki IG 1. Zastosowano geo-

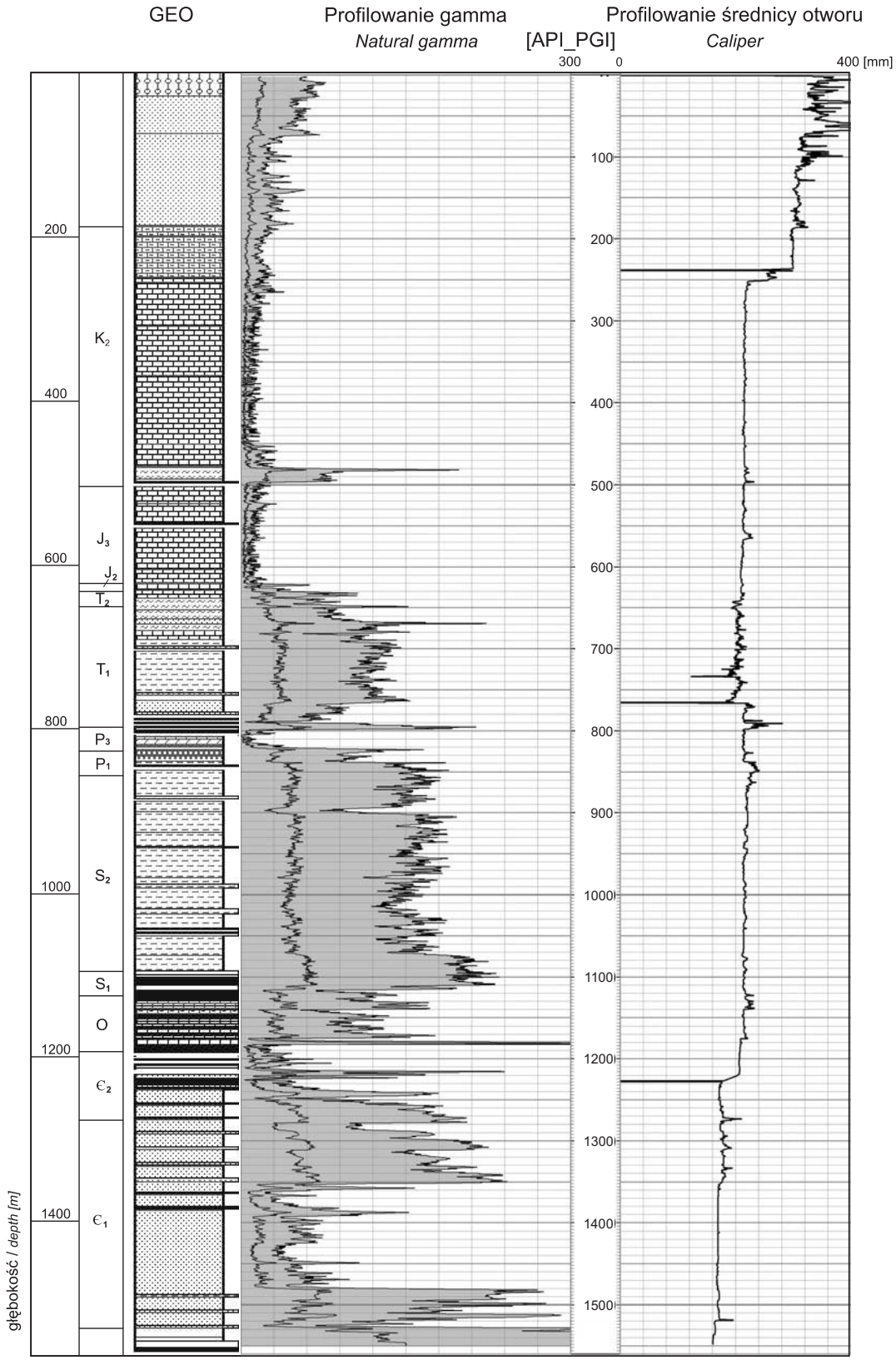

Fig. 25. Wykres unormowanego profilowania gamma wraz z profilowaniem średnicy otworu wiertniczego ze wskazanymi głębokościami łączenia profilowań dla poszczególnych badań odcinkowych

Pokazany został również wiertniczy profil litologiczny i stratygraficzny z odcinkami rdzeniowanymi i uzyskami rdzeni

Normalised gamma ray and caliper logs with indicated connection points of individual wireline logs intervals

Lithology, stratigraphy, cored intervals and core yield are also shown

metryczny model przewodnictwa temperaturowego (Szewczyk, 2001), a w pracach obliczeniowych metodykę opisaną w pracy Szewczyka i Gientki (2009). Wyniki badań przedstawiono na figurze 26A. Uzyskane informacje na temat głębokościowego rozkładu przewodności cieplnej pozwoliły na obliczenie zarówno strumienia cieplnego, jak i paleotemperatury dla omawianego profilu. Na figurze 26B przedstawiono zestawienie tzw. temperatury syntetycznej (T_s) dla warunków pełnej stabilizacji obliczonej na podstawie przewodności cieplnej skał tworzących profil, z wynikami pomiaru temperatury (T). Obliczona temperatura syntetyczna (T_s) odpowiada warunkom klimatycznym okresu ostatniego zlodowacenia (Szewczyk, 2002). Dla głębokości mniejszych niż 1500 m, widoczny jest wpływ ocieplenia holoceńskiego na pomiar temperatury.

Wartość strumienia cieplnego dla otworu wiertniczego Stadniki IG 1 wynosi 69,6 mWm^{-2} (Szewczyk, Gientka, 2009), co jest wartością relatywnie wysoką na obszarze obniżenia podlaskiego, stanowiąc fragment strefy podwyższonego strumienia obserwowanego w strefie Parczew–Zambrów. Przyczyną wzrostu wartości strumienia jest prawdopodobnie zwiększone ciepło radiogenicznych utworów podłoża krystalicznego.

Tabela 12

Wartości temperatury maksymalnej

Maximum temperature value

Głębokość [m]	Temperatura maksymalna [°C]
256,0	15,0
781,3	23,5
1239,0	34,5
1560,5	45,0

Temperatura ekstrapolowana do głębokości 2000 m, tj. poza głębokościowy zasięg zmian klimatycznych, wynosi 48,8°C. Izoterma +160°C, obliczona na podstawie wielkości strumienia cieplnego oraz przybliżonego profilu wartości przewodności cieplnej, występuje na głębokości około 4773 m p.p.t. (Szewczyk, 2007).

PROFIL LITOLOGICZNO-POROWATOŚCIOWY

W trakcie wykonywania wiercenia, a także po jego zakończeniu, na bieżąco prowadzono prace interpretacyjne, związane m.in. z określeniem optymalnych interwałów głębokościowych dla wykonania opróbowań złożowych. Wykonawcą badań było Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych w Warszawie. Wyniki tych prac zawarte są w „Dokumentacji...” (1973).

Po roku 2000, w związku z potrzebą uzyskania informacji na temat profilu, gęstości objętościowej oraz przewodności cieplnej (Szewczyk, 2001), wykonano prace interpretacyjne, wykorzystując autorski program interpretacyjny GEOFLOG. Stopień szczegółowości tych prac, a także postawiony cel badawczy, tj. uzyskania podstawowej wiedzy na temat uproszczonego modelu litologiczno-porowatościowego skał występujących w profilu, pozwalają na traktowanie uzyskanych wyników jako materiał wstępny do dalszej interpretacji. Niezbędny dalszy rozwój metodyki, ukierunkowanej na interpretację archiwalnych danych geofizycznych umożliwi uzyskanie pełniejszego rozpoznania profilu otworu wiercenia Stadniki IG 1.

Na figurze 27 przedstawiono rezultaty kompleksowej interpretacji wyników badań geofizycznych profilu litologiczno-porowatościowego całego otworu wiertniczego Stadniki IG 1.

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Po zakończeniu wiercenia otworu wykonano badania hydrogeologiczne czterech poziomów zbiornikowych. Wynik tych badań omówiono szczegółowo w rozdziale *Wyniki opróbowań hydrogeologicznych*. Interwały głębokościowe, w których wykonano badania hydrogeologiczne, ustalono głównie na podstawie wyników badań geofizycznych. Bardzo duża różnica głębokości wiertniczych oraz geofizycznych w istotny sposób wpływa na wyniki badań hydrogeologicznych.

Na figurze 28 przedstawiono profil otworu wiertniczego Stadniki IG 1, obejmujący interwały opróbowane w utworach kambru wraz z obliczonym na podstawie danych geofizycznych profilem właściwości skał zbiornikowych, występujących w profilu. Prawa część figury pokazuje wartości mineralizacji, uzyskane w wyniku opróbowań wód podziemnych, na tle wszystkich danych z obszaru Niżu Polskiego. Mineralizacja wód w otworze jest zdecydowanie niższa od wartości średnich dla obszaru Niżu Polskiego.

Uzyskane wielkości przypływów świadczą o dobrych właściwości zbiornikowych i korespondują z właściwościami zbiornikowymi skał obliczonymi na podstawie danych geofizycznych. Sprawą niejasną są kryteria dokonanego wyboru interwałów opróbowanych.

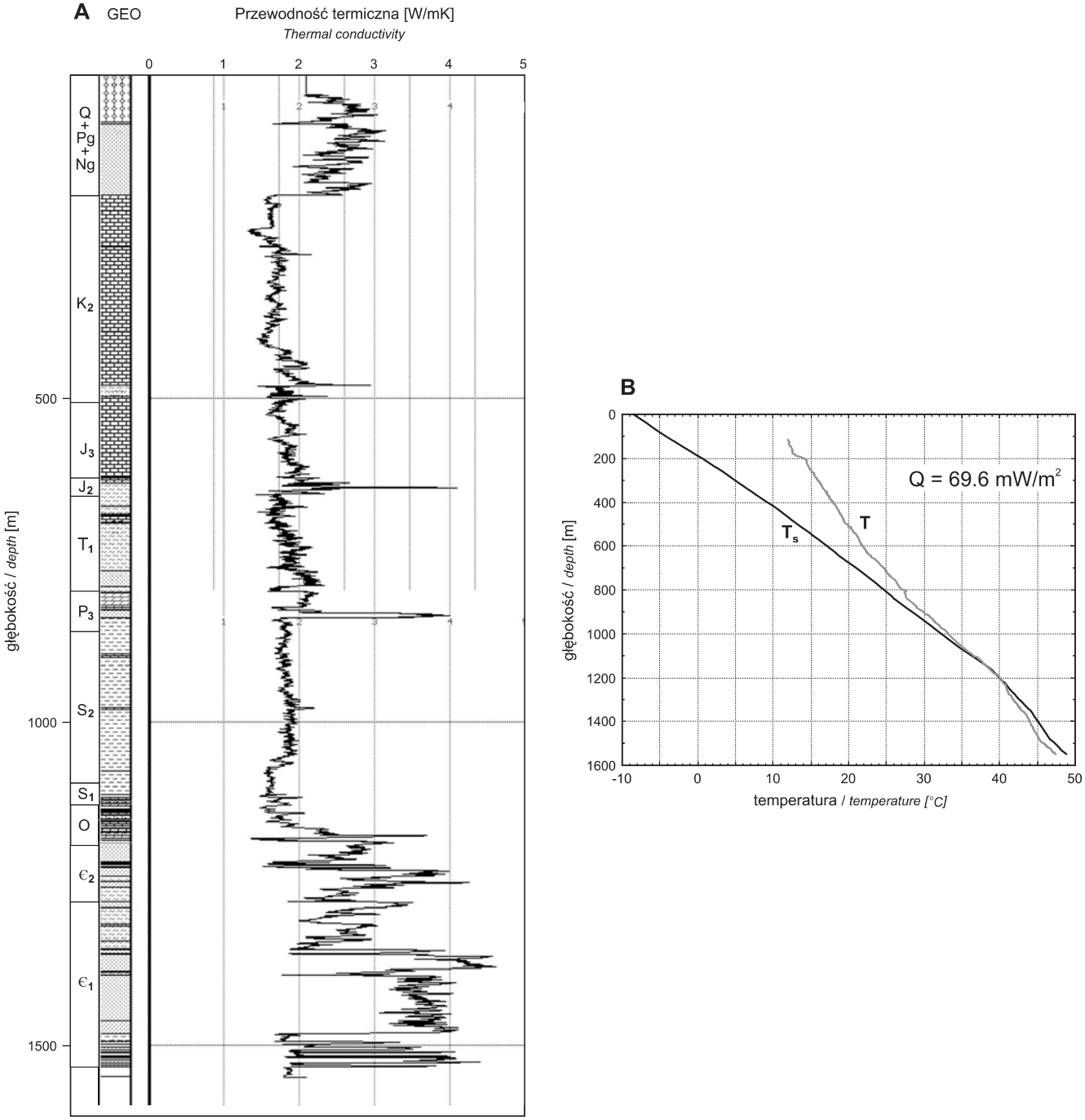

Fig. 26. Charakterystyka termiczna otworu wiertniczego Stadniki IG 1

A – Przewodność cieplna (*K*) skał tworzących profil obliczona na podstawie danych geofizycznych. **B** – Wyniki badań termicznych: *T* – temperatura zarejestrowana dla warunków zbliżonych do ustalonych, T_s – temperatura syntetyczna obliczona na podstawie przewodności termicznej skał, *Q* – wartość strumienia cieplnego

Thermal data for the Stadniki IG 1 borehole

A – Thermal conductivity of rocks calculated from geographical data. **B** – Results of thermal research: *T* – temperature recorded for near-stable conditions, T_s – synthetic emperature calculated from thermal conductivity of rocks, *Q* – Heat flow value

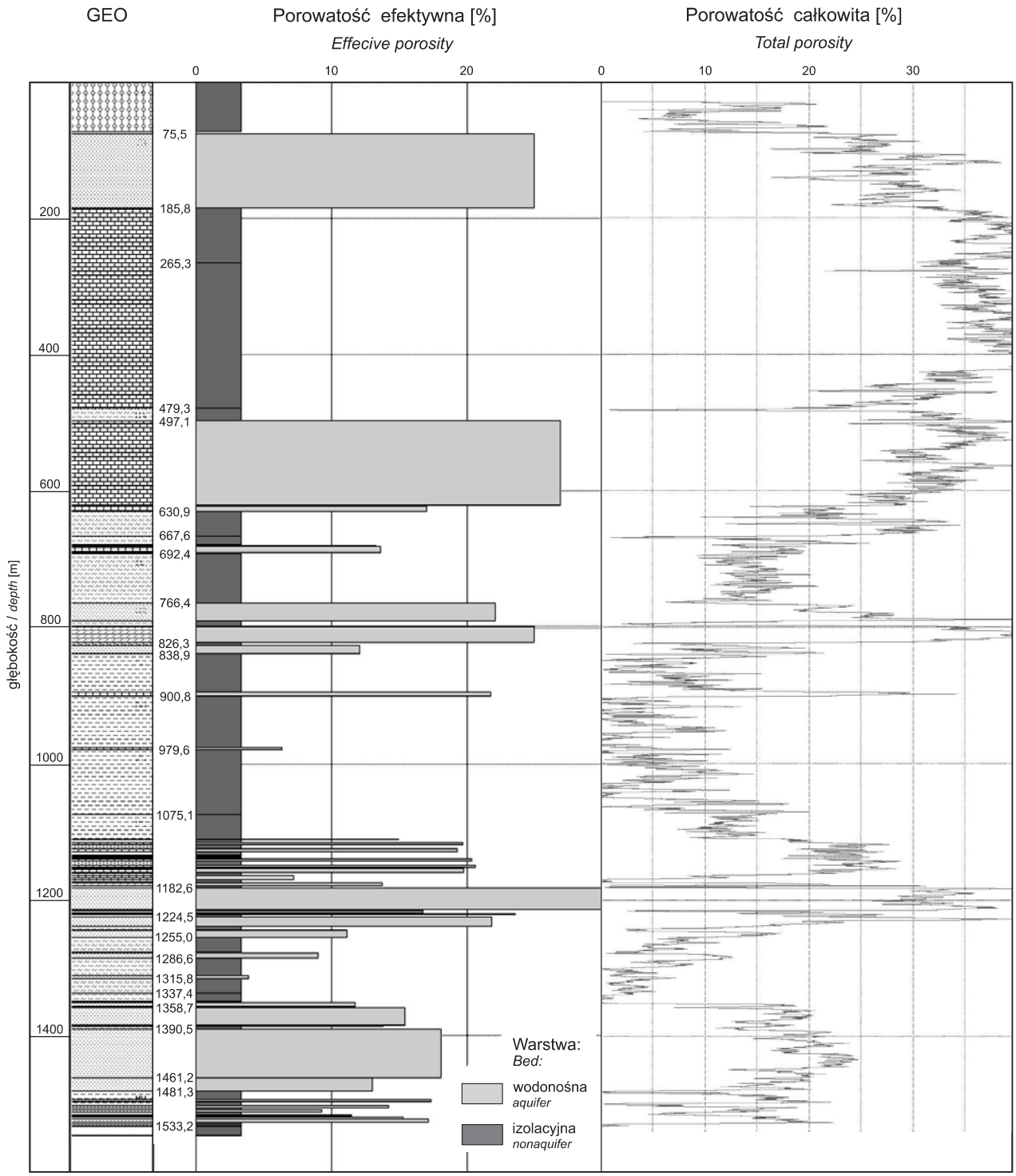

Fig. 27. Profil warstw wodonośnych i izolacyjnych wraz z obliczoną wartością porowatości efektywnej i całkowitej

Water-bearing and sealing strata. Effective and total porosity values are presented

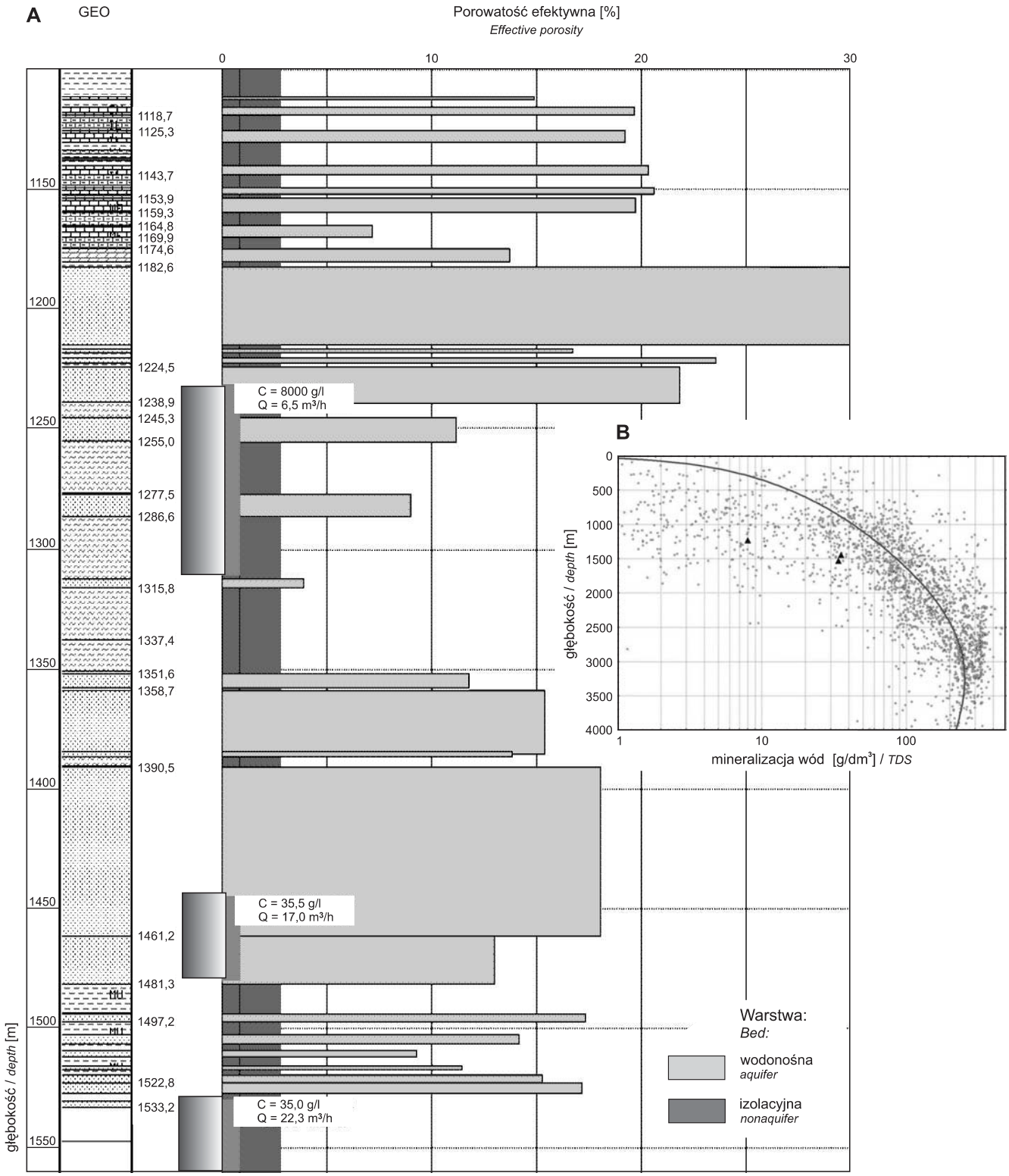

Fig. 28. A – Profil właściwości zbiornikowych utworów ordowiku i kambru ze wskazanymi interwałami wykonanych badań hydrogeologicznych. B – mineralizacja wód podziemnych uzyskanych w badanych poziomach zbiornikowych na tle mineralizacji wód dla Niżu Polskiego

A – Reservoir properties of the Ordovician and Cambrian rocks with intervals of hydrogeological tests indicated. **B** – groundwater mineralisation measured in reservoir horizons; average groundwater mineralisation in the Polish Lowlands is shown for comparison