

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Jan SZEWCZYK

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ W OTWORACH WIERTNICZYCH WOJSZYCE IG 1a, IG 3 ORAZ IG 4

ZAKRES WYKONANYCH BADAŃ

W trakcie realizacji prac wiertniczych w otworach z rejonu Wojszyce wykonywano badania z zakresu geofizyki wiertniczej. Badania te przeprowadzano sukcesywnie w trakcie głębienia otworów w tzw. odcinkach badań strefowych. Dokonany wybór odcinków głębokościowych badań w poszczególnych otworach był związany zarówno z ich konstrukcją, jak i charakterem profilu litologiczno-stratygraficznego, a także potrzebą zachowania przyjętej zasady nieprzekraczania 300-metrowej długości badanych odcinków. Badania te wykonano:

- w otworze Wojszyce IG 1a – w trzech odcinkach pomiarowych w okresie od 16.12.1987 do 21.05.1988 r.; w otworze Wojszyce IG 1 nie wykonano badań geofizycznych ze względu na awarię wiertniczą;
- W otworze Wojszyce IG 3 – w pięciu odcinkach pomiarowych w okresie od 15.05.1989 do 9.01.1990 r.;
- W otworze Wojszyce IG 4 – w siedmiu odcinkach pomiarowych w okresie od 24.06.1988 do 4.03.1989 r.

W przypadku otworu Wojszyce IG 1a wykonawcą badań była firma Geofizyka Lublin, w pozostałych przypadkach badania wykonywała firma Geofizyka Toruń.

Wszystkie badania przeprowadzono przy użyciu standardowej aparatury analogowej produkcji radzieckiej, z zastosowaniem w niektórych przypadkach sond pomiarowych polskiej produkcji (przede wszystkim w pomiarach akustycznych). Zastosowane w badaniach radiometrycznych (PG, PN oraz PGG) sondy radiometryczne nie były kalibrowane ani standaryzowane. Wyniki profilowań uzyskane tymi metodami były opisywane w nieporównywalnych jednostkach zliczeń intensywności promieniowania (imp./min).

Odcinki poszczególnych badań strefowych miały minimum 50-metrowe zakładki (powtórzenia) głębokościowe w stosunku do badań wcześniej wykonanych w odcinku leżącym wyżej, a część badań każdorazowo wykonywano w całej niezarurowanej części profilu. W odniesieniu do wielkości metod badawczych, w odcinkach profilu o największym

zróżnicowaniu parametrów petrofizycznych były wykonywane badania kontrolne, na odcinkach nie mniejszych niż 50 m. Głównym celem tych badań było określenie stopnia stabilności pracy stosowanych układów pomiarowych.

W profilach wszystkich otworów wiertniczych wykonano pełny zestaw badań geofizycznych możliwych do przeprowadzenia w ówczesnym okresie w Polsce, przy użyciu aparatury analogowej będącej na wyposażeniu firm geofizycznych wykonujących te badania. Omawiane otwory badawcze kończyły równocześnie okres wiertniczego rozpoznania wgłębnej budowy Polski prowadzonego w okresie po II wojnie światowej przez Państwowy Instytut Geologiczny. Począwszy od 1992 r. badania geofizyczne w otworach wiertniczych były prowadzone przez Górnictwo Naftowe i Gazownictwo, z zastosowaniem aparatury cyfrowej firmy Halliburton. Uzyskiwane za ich pośrednictwem dane geofizyczne odpowiadają współczesnym standardom światowym.

W tabeli 28 zestawiono informacje dotyczące badań przeprowadzonych w poszczególnych otworach wiertniczych, a na figurze 50A–C zestawienia graficzne wykonanych badań.

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

Wyniki źródłowych danych pomiarowych zarejestrowane bezpośrednio w formie analogowej w skali głębokościowej 1:500 zostały zdigitalizowane i unormowane oraz wprowadzone w formie Centralnej Bazy Danych Geologicznych. W wyniku tych prac utworzono, zarówno w odniesieniu do wyników badań odcinkowych, jak i do danych połączonych i unormowanych, zbiory danych geofizycznych w formacie LAS (Logging ASCII Standard). Dane te w postaci cyfrowej są dostępne w CBDG pod numerami katalogowymi: odpowiednio dla otworu Wojszyce IG 1a pod numerem 10401, Wojszyce IG 3 – 10402 oraz Wojszyce IG 4 – 10403.

Tabela 28

Spis typów badań geofizycznych wykonanych w otworach wiertniczych Wojszyce IG 1a, IG 3 i IG 4

List of geophysical logs from the Wojszyce IG 1a, IG 3 and IG 4 boreholes

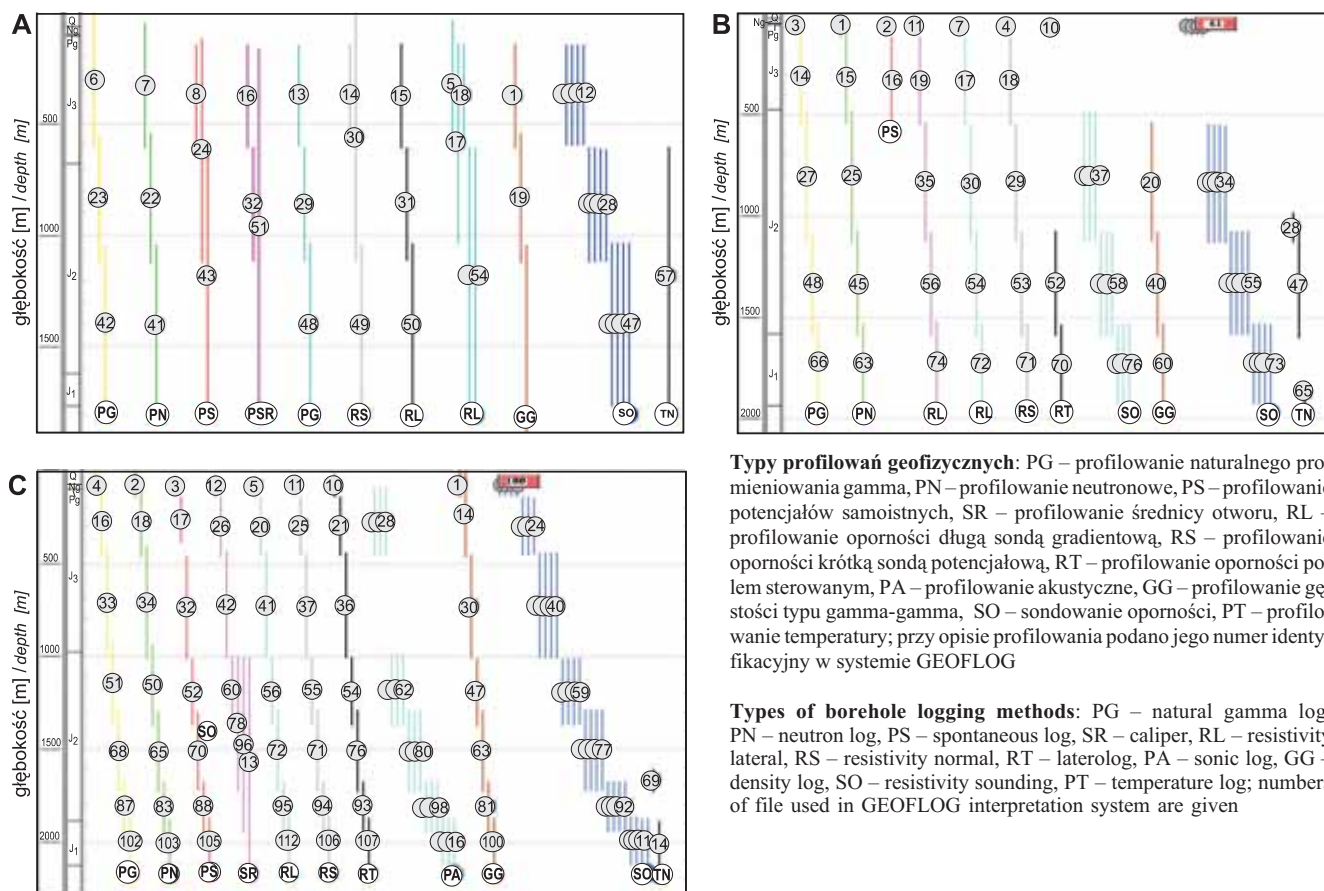
Odcinek badań strefowych	Data wykonywania badań	Głębokość otworu w czasie wykonywania badań [m]	Typ badań	Odcinek pomiarowy [m]
1	2	3	4	5
Wojszyce IG 1a				
1	16–17.12.1987 r.	610,0	POp PS ×2 Pśr PK PG PNG PGG SO ×5 POst mPOst PA (ΔT, T1, T2)	147–595 147–592 147–605 0–605 0–605 50–607 147–608 147–595 147–598 173–605 147–608
2	23–24.02.1988 r.	1120,0	POp POg Pśr PG PSgrad ×2 PGG PNNnt PT max POP	607,5–1115,0 607,5–1115,0 607,5–1115,0 550–1115 607,5–1115,0 550–1115 550–1115 1 pkt 1 pkt
3	28.04.1988 r. 1.05.1988 r.	1764,0	POp PSgrad Pśr PK PG PNN nt PGG POst mPOst PS SO ×5 PAc	1040–1763 606–1763 606–1762 1050–1760 1040–1760 1040–1762 1040–1757 1040–1764 606–1764 606,6–1762,0 1040–1763 71–606
	21.05.1988 r.	1764,0	PAcement	23–1240

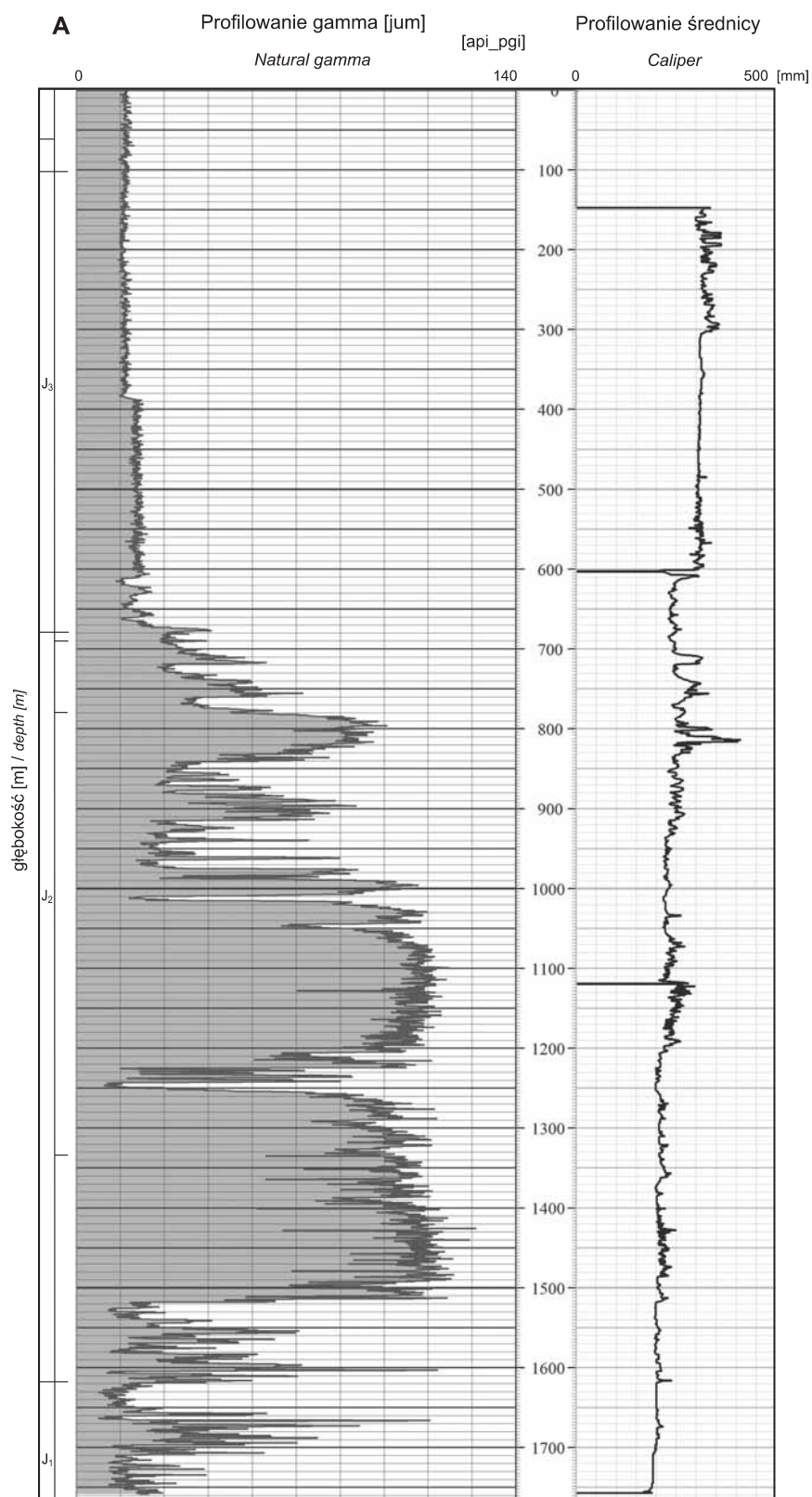
Odcinek badań strefowych	Data wykonywania badań	Głębokość otworu w czasie wykonywania badań [m]	Typ badań	Odcinek pomiarowy [m]
1	2	3	4	5
Wojszyce IG 3				
1	15.05.1989 r.	122,0	PK BSO ×6 PS POst Pśr PG PNG	25–115 29–117 29–117 29–117 29–117 3–117 3–117
2	30–31.05.1989 r.	552,0	PG PNG Pśr PO PS PK	80–550 80–550 123–551 123–550 123–550 100–425
3	19–20.07.1989 r.	1144,0	SO ×5 POp mPO PG PGG PNG PA Pśr PK PT	552–1129 552–1129 552–1125 500–1133 552–1132 500–1132 552–1128 552–1131 500–1130 985–1128
4	15–16.09.1989 r.	1595,0	PG PGG PNG Pśr PO PT PA (ΔT, T1, T2) PK SOx4 POst Pśr mPO PA c	1080–1593 1080–1593 1080–1593 552–1590 1080–1583 1080–1593 1080–1590 1100–1575 1090–1583 1090–1583 552–1590 1090–1590 100–552

Tabela 28 cd.

1	2	3	4	5
5	16–17.11.1989 r.	1935,0	PG	1540–1932
			PGG	1540–1932
			PNG	1540–1932
			Pśr	1540–1932
			PO ×2	1540–1932
			PT	1825–1932
			PA (ΔT, T1, T2)	1540–1932
			PK	1575–1900
			SO ×4	1540–1928
			POst	1540–1928
			mPOst	1540–1928
			Pśr	552–1932
	10.01.1990 r.	1935,0	PK (20 pkt)	425–1930
	3.01.1990 r.	1935,0	PAc	700–1700
Wojszyce IG 4s				
1	24.06.1988 r.	144,0	POp	28–142
			SO ×5	28–142
			PK	25–140
			Pśr	28–141
			POst	28–142
			PG	5–142
			PNG	5–142
			PGG	5–142
2	8.07.1988 r.	463,0	POp	144–453
			BSO ×4	144–453
			POst	144–462
			mPO	144–460
			PS	144–460
			PG	100–462
			PNG	100–462
			PGG	144–462
			Pśr	144–458
			PK	100–455
			PA	144–460
3	13–15.09.1988 r.	1010,0	SO ×5	464–1010
			POst	464–1010
			POgp	464–1010
			PSgrad	464–1010
			POP	464–1010
			Pśr	464–1009
			PK (26 pkt)	425–1010
			PG	410–1010
			PNG	410–1010
			PGG	464–1010
	18.09.1988 r.	1010,0	PAcement	20–1010

1	2	3	4	5
4	9.11.1988 r.	1375,0	SO ×5	1010–1366
			POp	1010–1366
			POst	1010–1370
			PS	1010–1366
			PG	1010–1370
			PNG	1010–1372
			PGG	1010–1370
			PA	1010–1372
			Pśr	1010–1361
			PK (17 pkt)	975–1370
5	5–6.01.1989 r.	1728,0	POp	1300–1722
			BSO	1300–1722
			POst	1300–1725
			Pśr	1011–1726
			PG	1300–1725
			PGG	1300–1725
			PNN	1300–1725
			PS	2300–1722
			PA (ΔT, T1, T2)	1300–1725
			PK	1300–1725
			PT	1610–1729
6	4–5.02.1989 r.	1949,0	PG	1675–1945
			PGG	1675–1945
			PNN	1675–1945
			PO×2	1675–1941
			PS	1675–1941
			PA (ΔT, T1, T2)	1675–1945
			PK	1675–1945
			Pśr	1010–1949
			SO ×4	1675–1945
7	6–7.03.1989 r.	2125,0	POst	1675–1945
			PJ	1675–1945
			SO ×5	1895–2117
			POp	1895–2117
			POst	1895–2117
			PS	1895–2117
			PG	1895–2125
			PNG	1895–2125
			PGG	1895–2125
	21.03.1989 r.	2125,0	PA	1895–2125
			Pśr	1895–2124
			PK	1900–2120
			PT	1895–2125
			PA c	790–1947





Wojszyce IG 1a

Fig. 51. Unnormowane wartości profilowania naturalnego promieniowania gamma

A – otwór wiertniczy Wojszyce IG 1a, **B** – otwór wiertniczy Wojszyce IG 3, **C** – otwór wiertniczy Wojszyce IG 4; na wykresie profilowania średnicy otworu wskazano miejsca połączeń poszczególnych odcinków pomiarowych

Normalized values of natural gamma logs

A – Wojszyce IG 1a borehole, **B** – Wojszyce IG 3 borehole, **C** – Wojszyce IG 4 borehole; a depth point is shown on caliper logs for joined of runs of well logs

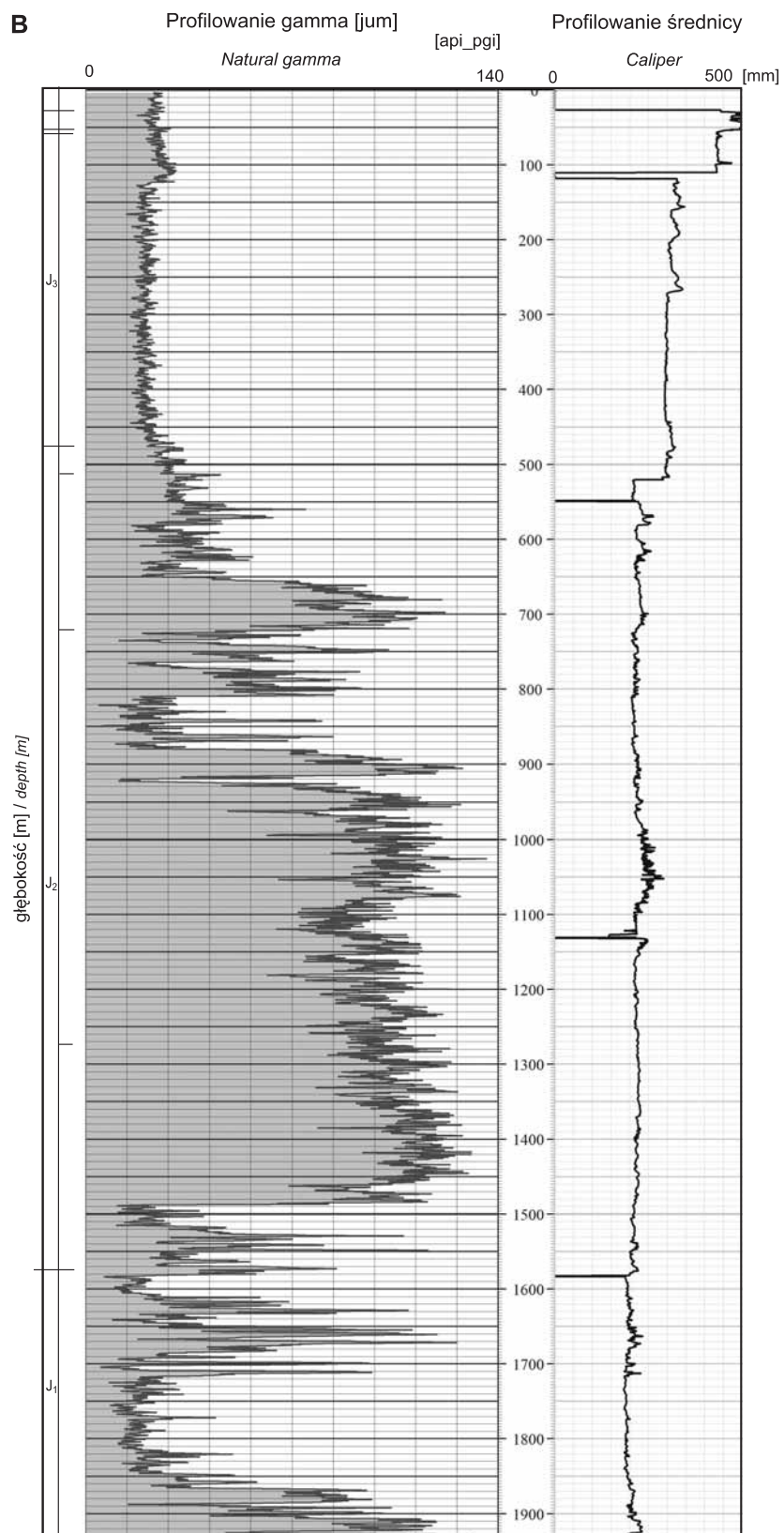


Fig. 51 cd.

Wojszyce IG 3



Wojszyce IG 4

- cyfrowych opisów litologii (Gientka, Szewczyk, 1996);
- kalibracji sond neutronowych danymi laboratoryjnymi (Szewczyk, 1998a, b);
- konstrukcji syntetycznych profilowań akustycznych (Szewczyk, 1998b);
- standaryzacji statystycznej danych radiometrycznych (Szewczyk, 2000);
- obliczeń gęstości objętościowej uwzględniających zmienność składu mineralnego skał (Szewczyk, 2003);
- obliczeń przewodności cieplnej skał oraz wartości gęstości strumienia ciepłego (Szewczyk, 2001; Szewczyk i in., 2004);

- określenia związków statystycznych między cechami geofizycznymi, petrofizycznymi i petrograficznymi (Maliszewska i in., 2001)

Wszystkie te działania umożliwiły podjęcie systematycznych prac interpretacyjnych nie tylko na obszarze Niżu Polskiego (Szewczyk, 1998a,b, 2000, 2001; Szewczyk, Gientka, 1998, 2005, 2009).

Jednym z najważniejszych elementów interpretacyjnych była wykonana *post factum* kalibracja danych radiometrycznych. Znaczny zakres rdzeniowania profili wykonanych wierceń we wszystkich omawianych otworach oraz liczne badania laboratoryjne parametrów petrofizycznych rdzeni wiertniczych pozwoliły na unikatowe w skali całego Niżu Polskiego rozpoznanie cech fizycznych utworów mezozoicznych.

WYNIKI INTERPRETACJI DANYCH GEOFIZYCZNYCH

Wyniki badań geofizycznych wykorzystano zarówno w trakcie ustalania profilu litologiczno-stratygraficznego, jak i przy wyborze warstw wodonośnych bądź ich fragmentów istotnych do rozpoznania parametrów hydrogeochemicznych oraz hydrodynamicznych wód podziemnych. W ramach prac interpretacyjnych m.in.:

- opracowano cyfrowy opis profilu wiertniczego (LITO);
- opracowano warstwowy (GEO) oraz objętościowy (VOL) geofizyczny profil litologiczny;

- opracowano wielkość przesunięć głębokościowych między głębokościami określanymi na podstawie długości przewodu wiertniczego i na podstawie pomiarów;
- dokonano kalibracji *post factum* profilowań radiometrycznych na podstawie laboratoryjnych danych petrofizycznych;
- obliczono porowatość całkowitą oraz efektywną, gęstość objętościową oraz prędkość fal akustycznych;
- obliczono przewodność cieplną skał wraz z określeniem gęstości strumienia ciepłego.

CYFROWY OPIS PROFILU LITOLOGICZNEGO

Punktem wyjściowym do prac interpretacyjnych było opracowanie cyfrowego opisu profilu wiertniczego opartego zarówno na informacjach dotyczących rdzeni wiertniczych, jak i próbek okruchowych. Stosowano oryginalną metodę opisu cyfrowego litologii zaproponowaną przez Gientkę i Szewczyka (1996). Metoda ta, wraz z opracowanymi procedurami informatycznymi, pozwala na uzyskanie unormowanego cyfrowego opisu rdzeni wiertniczych oraz próbek okruchowych, w formie umożliwiającej jego numeryczne przetwarzanie

i stosowanie w procedurach interpretacyjnych systemu GEO-FLOG. Uzyskiwany w ten sposób cyfrowy opis litologii przenoszono na warstwowy profil geofizyczny (GEO) opracowany na podstawie analiz profilowań geofizycznych. W procesie interpretacji uwzględniano zarówno wzajemne przesunięcia głębokościowe obu typów informacji, jak i niepełny uzysk rdzenia. W interpretacjach danych z rdzeni, w przypadku jego niepełnego uzysku, przyjęto zasadę dowiązywania głębokości do stropu odcinka rdzeniowanego.

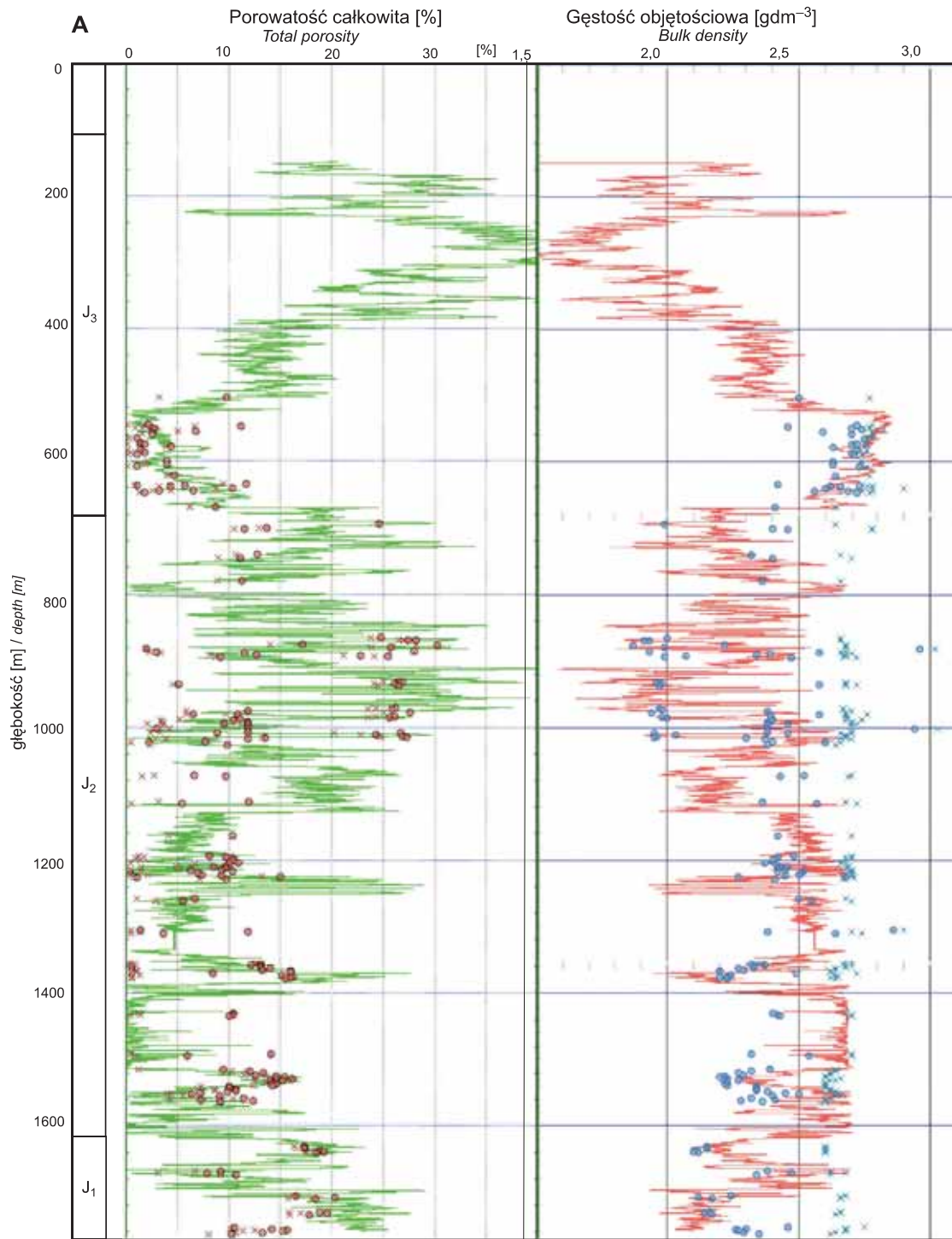
PROFILE GĘSTOŚCIOWE ORAZ POROWATOŚCIOWE

Ważnym elementem interpretacyjnym była wykonywana *post factum* kalibracja stosowanych w badaniach sond radiometrycznych. Metody wykonywania kalibracji opisano we wcześniejszych pracach autora (Szewczyk, 1998a, 2000). Uzyskiwane tym sposobem informacje pozwalają na obliczenie objętościowego profilu litologicznego (VOL) badanych profili wierceń, uwzględniającego zarówno istniejący opis litologiczny, jak i wyniki badań parametrów petrofizycznych uzyskiwanych na podstawie badań laboratoryjnych. W zastosowanej procedurze interpretacyjnej przyjęto 3-składnikowy model objętościowy skały (przestrzeń porowa+zailenie+

szkielet skały). Poprawność przyjmowanych parametrów metodycznych, jak i wybieranych tzw. głębokościowych odcinków metodycznych (o stałych parametrach interpretacyjnych), oceniano metodą iteracyjną na podstawie zgodności uzyskiwanych wyników, zarówno z wynikami badań laboratoryjnych (porowatości i gęstości), jak i zgodności obliczonej prędkości fal akustycznych, z obserwowanymi jej wartościami. Głębokości łączenia poszczególnych badań odcinkowych były z definicji wybierane tak, jak głębokości początkowe wspomnianych wcześniej odcinków metodycznych.

Na figurze 52A–C przedstawiono wyniki obliczeń porowatości całkowitej oraz gęstości objętościowej w stanie powietrzno-suchym dla wszystkich trzech analizowanych otworów wiertniczych. W przypadku otworu Wojszyce IG 4 (fig. 52C) dodatkowo pokazane zostały wyniki obliczonych

(DTS) oraz obserwowanych prędkości fal akustycznych. Uwagę zwraca strefa występujących w interwale 785,5–940,9 m dolomitów jury górnej. Są to utwory o rzadko spotykanej jednorodności, o niezwykle dużej zwięzłości praktycznie nieporowate i nieprzepuszczalne. Są one źródłem bardzo silnego

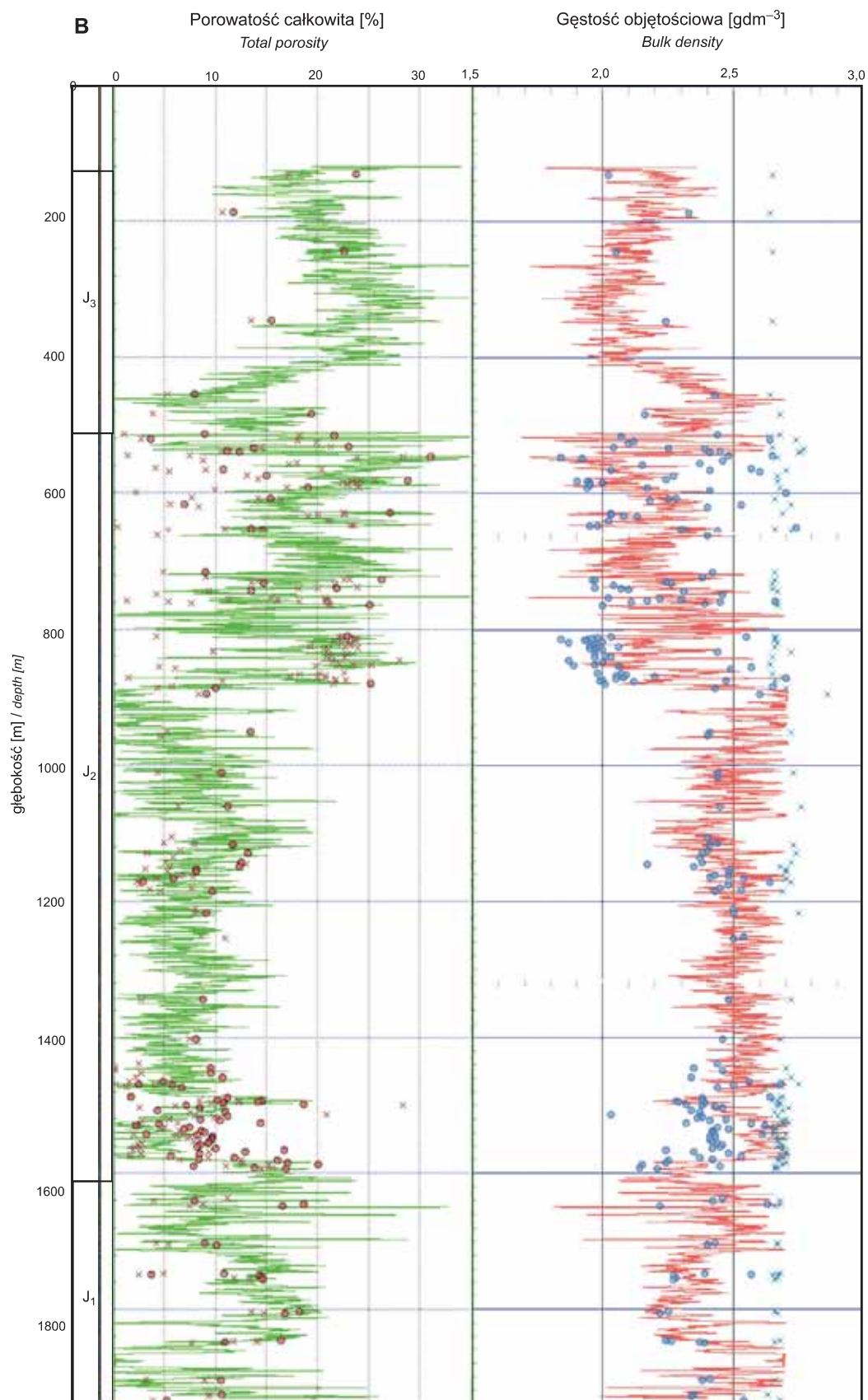


Wojszyce IG 1a

Fig. 52. Głębokościowe zestawienie wyników obliczeń porowatości całkowitej oraz gęstości objętościowej w profilach otworów wiertniczych Wojszyce IG 1a (A), IG 3 (B) i IG 4 (C)

Results of calculation of total porosity and bulk density in Wojszyce IG 1a (A), IG 3 (B) oraz IG 4 (C) boreholes

Fig. 52 cd.



Wojszyce IG 3

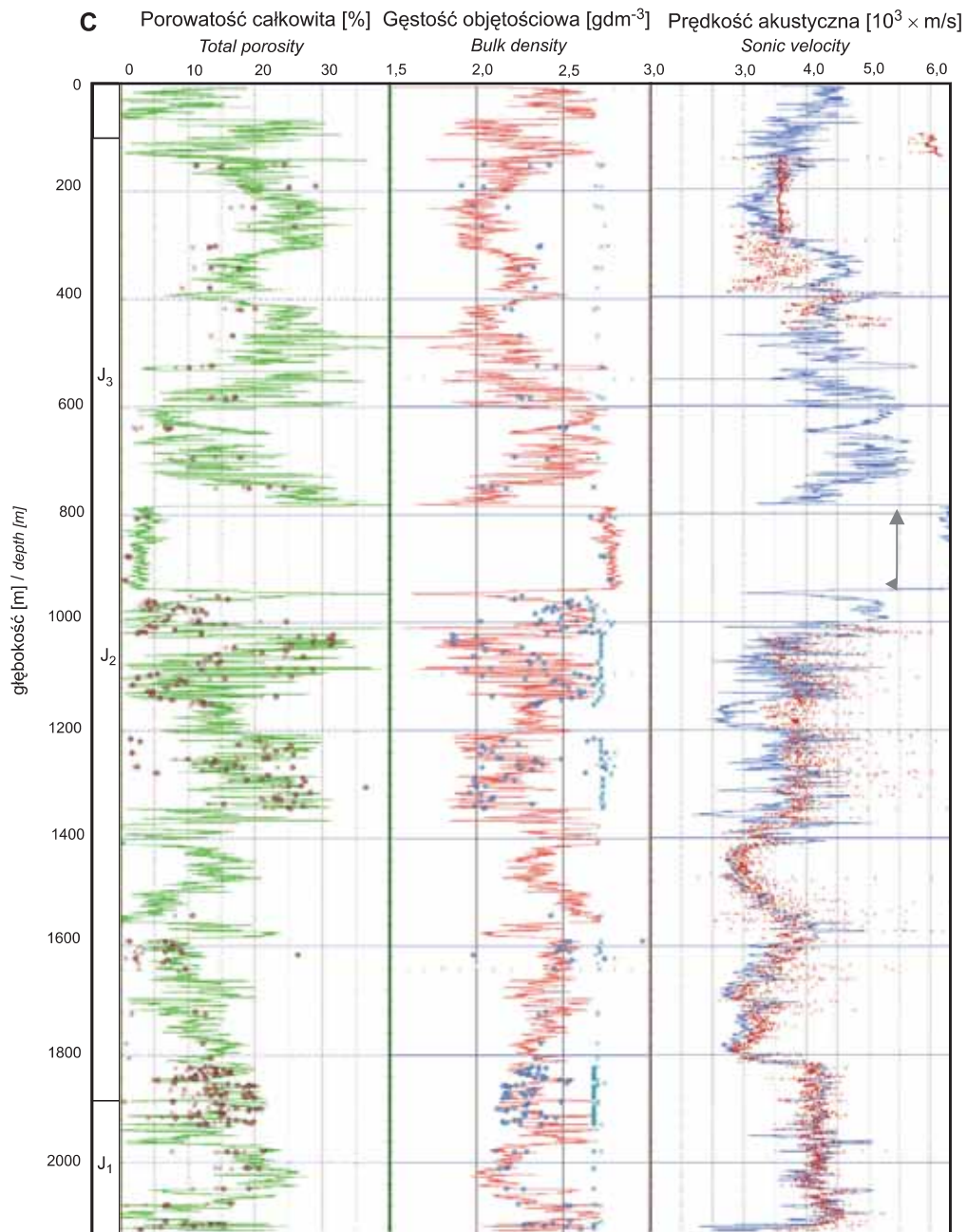


Fig. 52 cd.

Wojszyce IG 4

sygnału sejsmicznego obserwowanego m.in. na profilu sejsmicznym ZRG01197.

Uzyskane wyniki interpretacji porównywano z wynikami badań parametrów fizycznych uzyskanymi na podstawie badań laboratoryjnych. Prezentowane wyniki mogą być wykorzystane w analizach związanych z pozyskiwaniem energii geotermalnej, hydrogeologii czy też w modelowniach wyników powierzchniowych badań geofizycznych, takich jak badania sejsmiczne czy grawimetryczne.

Wyniki bezpośrednich rejestracji prędkości fal akustycznych (DT) uzyskane w trakcie badań wykonanych we wszystkich omawianych otworach wiertniczych, ze względu na niską jakość stosowanego sprzętu pomiarowego, nie pozwo-

liły na uzyskanie dostatecznie wiarygodnego rozpoznania tej ważnej, szczególnie dla badań sejsmicznych, cechy fizycznej skał występujących w profilach. Jednym z efektów wykonanych prac interpretacyjnych było, wspomniane już wcześniej, obliczenie objętościowego profilu litologiczno-porowatościowego (VOL). Rozwiązując zadanie, określane w fizyce jako zadanie „wprost”, obliczono wartość tzw. syntetycznego profilowania akustycznego (DTS). Przykład wyniku pokazany został na [figurze 52C](#). Zastosowaną metodykę obliczeń omówiono we wcześniejszej pracy autora (Szewczyk, 1998b). W zastosowanej procedurze interpretacyjnej wykorzystano model Hana i in. (1986), uwzględniający wpływ ciśnienia litostatycznego.

WARUNKI GEOTERMICZNE

W żadnym z omawianych otworów wiertniczych nie wykonano obserwacji w warunkach ustabilizowanego reżimu termicznego – przeprowadzono w nich natomiast pomiary temperatury w warunkach reżimu nieustabilizowanego, będące substytutem pomiarów temperatury maksymalnej (BHT). Na figurze 53 pokazane zostało zestawienie tych wartości dla omawianych otworów wiertniczych, na tle wyników z obszaru Niżu Polskiego (Szewczyk, 2010, zmienione)

Dla profili wszystkich trzech omawianych otworów wiertniczych obliczono wartości przewodności cieplnej – wynik tych obliczeń przedstawiono na figurze 54.

Znajomość przewodności cieplnej pozwoliła na obliczanie wielkości strumienia ciepłego. W obliczeniach tych uwzględniono wpływ czynnika paleoklimatycznego na wartość strumienia (Szewczyk, 2003). Wartość strumienia wyniosła odpowiednio: $93,6 \text{ mWm}^{-2}$ (Wojszyce IG 1a), $90,3 \text{ mWm}^{-2}$ (Wojszyce IG 3) oraz $85,8 \text{ mWm}^{-2}$ (Wojszyce IG 4). Wszystkie trzy analizowane otwory wiertnicze znajdują się w strefie

podwyższonych wartości strumienia, związanych ze wschodnią granicą zasięgu waryscydlów, zdefiniowaną przez Pożaryskiego i in. (1992).

Wszystkie analizowane otwory znajdują się w pobliżu osiowej strefy wyraźnie podwyższonych wartości strumienia charakterystycznej dla dużego segmentu wału kujawskiego. Na figurze 55A–C przedstawiono zarówno wartości obserwowanej temperatury (T), jak i obliczonych wartości paleotemperatury (T_s) oraz wartości temperatury maksymalnej zarejestrowanej w poszczególnych otworach wiertniczych.

We wszystkich trzech omawianych otworach przeprowadzono obserwacje temperatury w warunkach nieustabilizowanych termicznie nad dnem otworów (odpowiednik tzw. pomiarów termometrem maksymalnym). Wartości średniej temperatury w strefie przypowierzchniowej (GST), określone na podstawie obserwacji wieloletnich stacji meteorologicznych (Szewczyk, 2005), wynoszą odpowiednio: $9,20$; $9,20$ oraz $9,19^\circ \text{C}$.

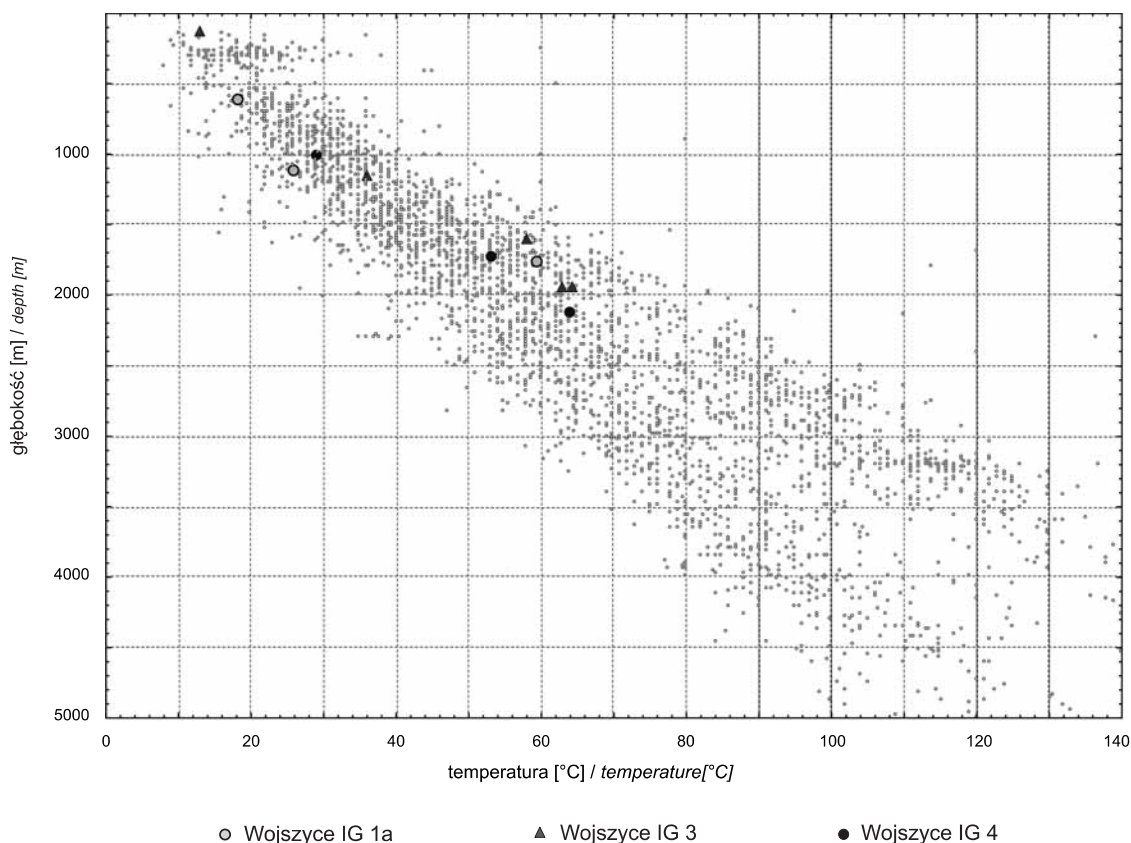


Fig. 53. Wartość temperatury maksymalnej (BHT) w analizowanych otworach wiertniczych na tle wartości tego parametru dla obszaru całej Polski (Szewczyk, 2010, zmienione)

Bottom Hole Temperature (BHT) for all considered boreholes with all BHT for Poland into background were shown (Szewczyk, 2010, modified)

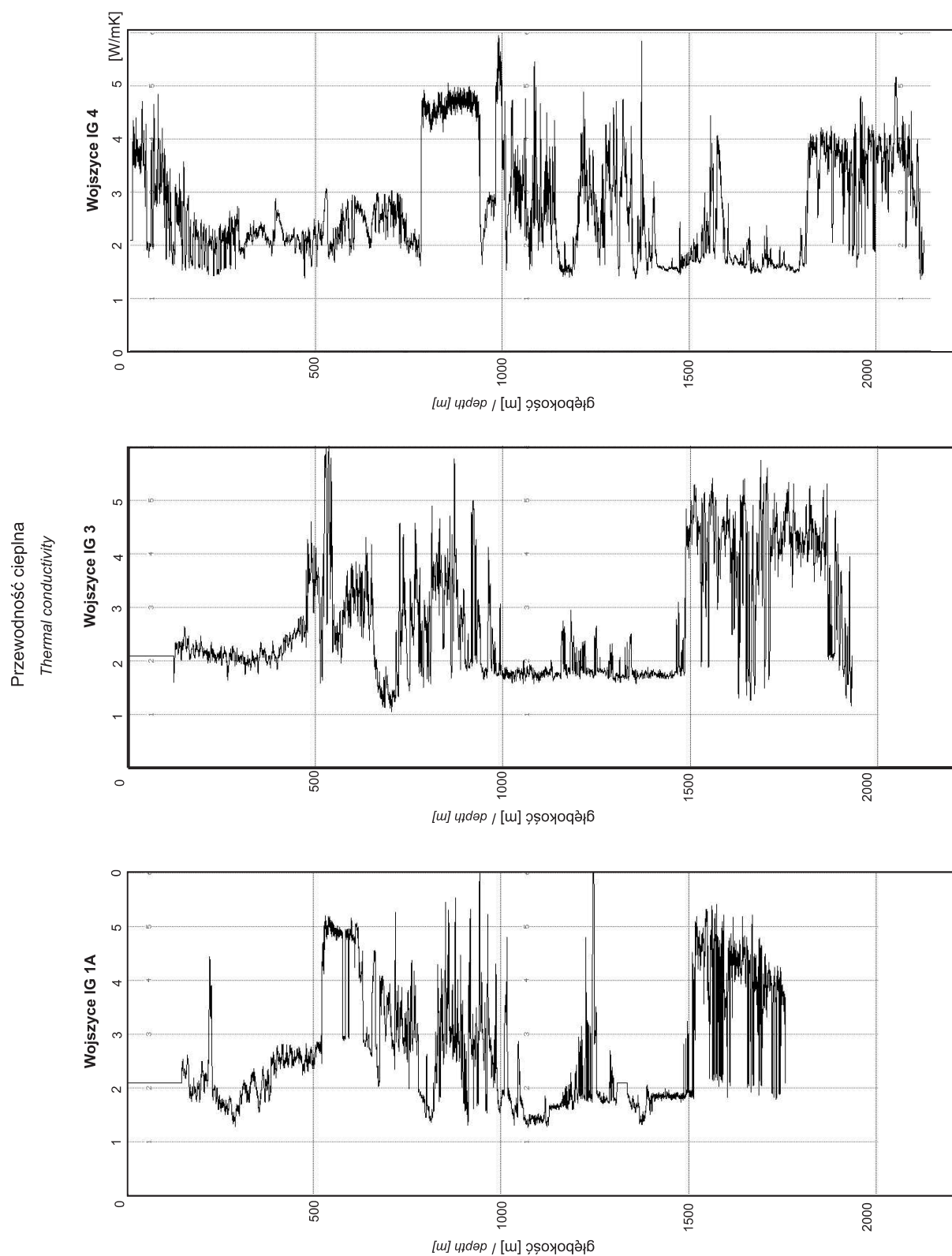


Fig. 54. Zmienność głębokościowa przewodności cieplnej w analizowanych otworach wiertniczych obliczona na podstawie danych geofizycznych

Calculated thermal conductivity based on geophysical data

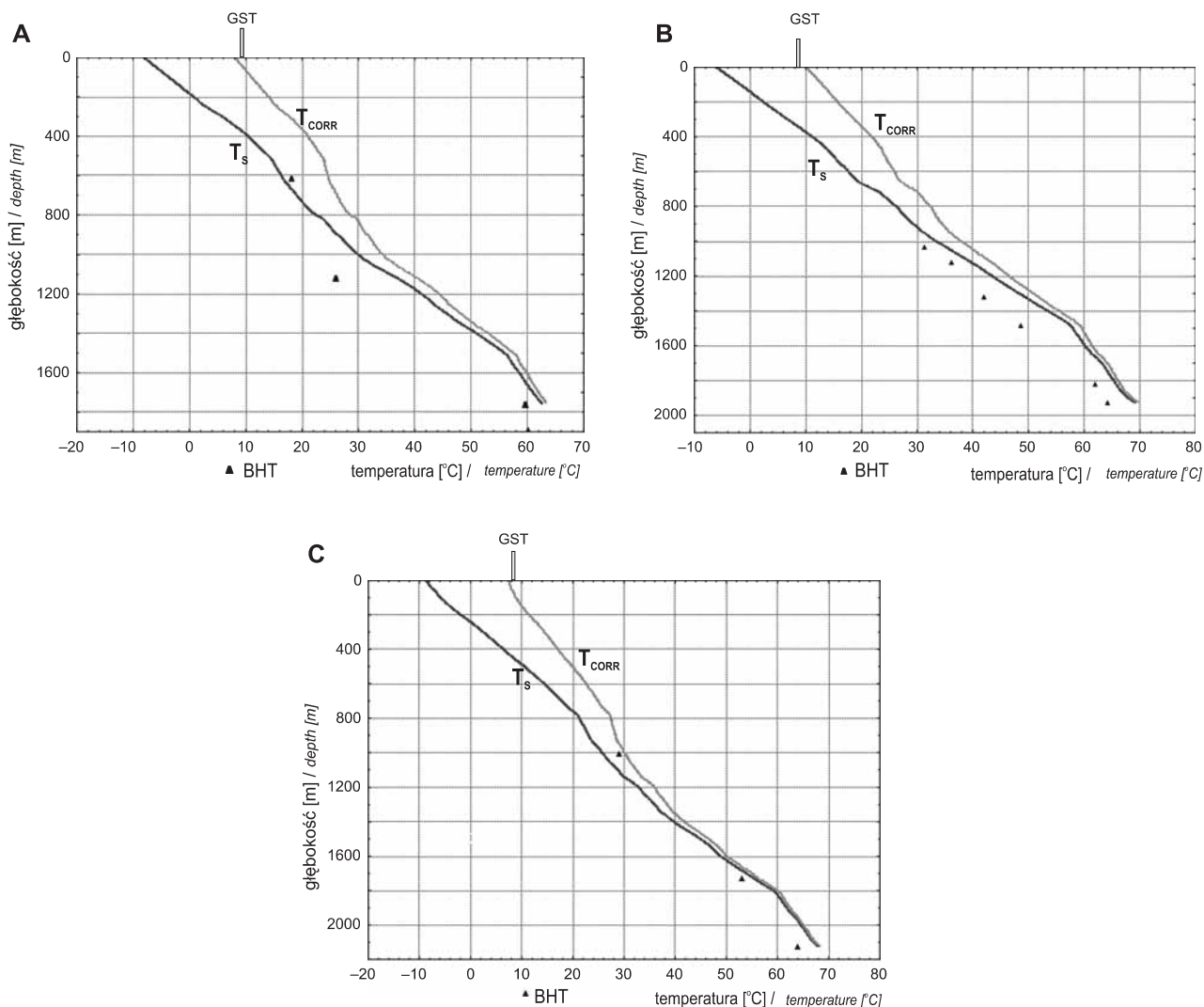


Fig. 55. Obliczony profil paleotemperatury (T_s) oraz temperatury współczesnej (T_{corr}) w otworach wiertniczych Wojszyce IG 1a (A), IG 3 (B) oraz Wojszyce IG 4 (C)

Calculated paleotemperatures (T_s) and corrected temperature (T_{corr}) in Wojszyce IG 1a (A), IG 3 (B) and IG 4 (C) boreholes

WARSTWY WODONOŚNE – MINERALIZACJA WÓD PODZIEMNYCH

Jednym z ważnych celów badawczych wykonania otworów wiertniczych, zgodnie z przyjętymi założeniami badawczymi, było wydzielenie warstw wodonośnych ze szczególnym uwzględnieniem warstw mogących potencjalnie zawierać bituminy. Na figurze 56A przedstawiono jako przykład profil otworu wiertniczego Wojszyce IG 4 z wydzielonymi poziomami wodonośnymi, wraz z obliczoną dla nich średnią porowatością efektywną, a także lokalizację głębokościową badanych fragmentów profilu.

Na figurze 56B przedstawione zostało zestawienie mineralizacji wód podziemnych z badanymi poziomami wodono-

śnych, na tle wartości mineralizacji obserwowanych na Niziu Polskim. Linia ciągłą pokazano średnią wartość mineralizacji obliczoną metodą najmniejszych kwadratów.

Wody podziemne dla badanego obszaru wykazują relatywnie niższą mineralizację w stosunku do wartości średnich obserwowanych na obszarze Niziu Polskiego. Wysłodzenie wód może być związane z prawdopodobną infiltracją wód płytszych w poziomach wodonośnych o niskiej mineralizacji w kierunku głębszych poziomów (descenzja wód).

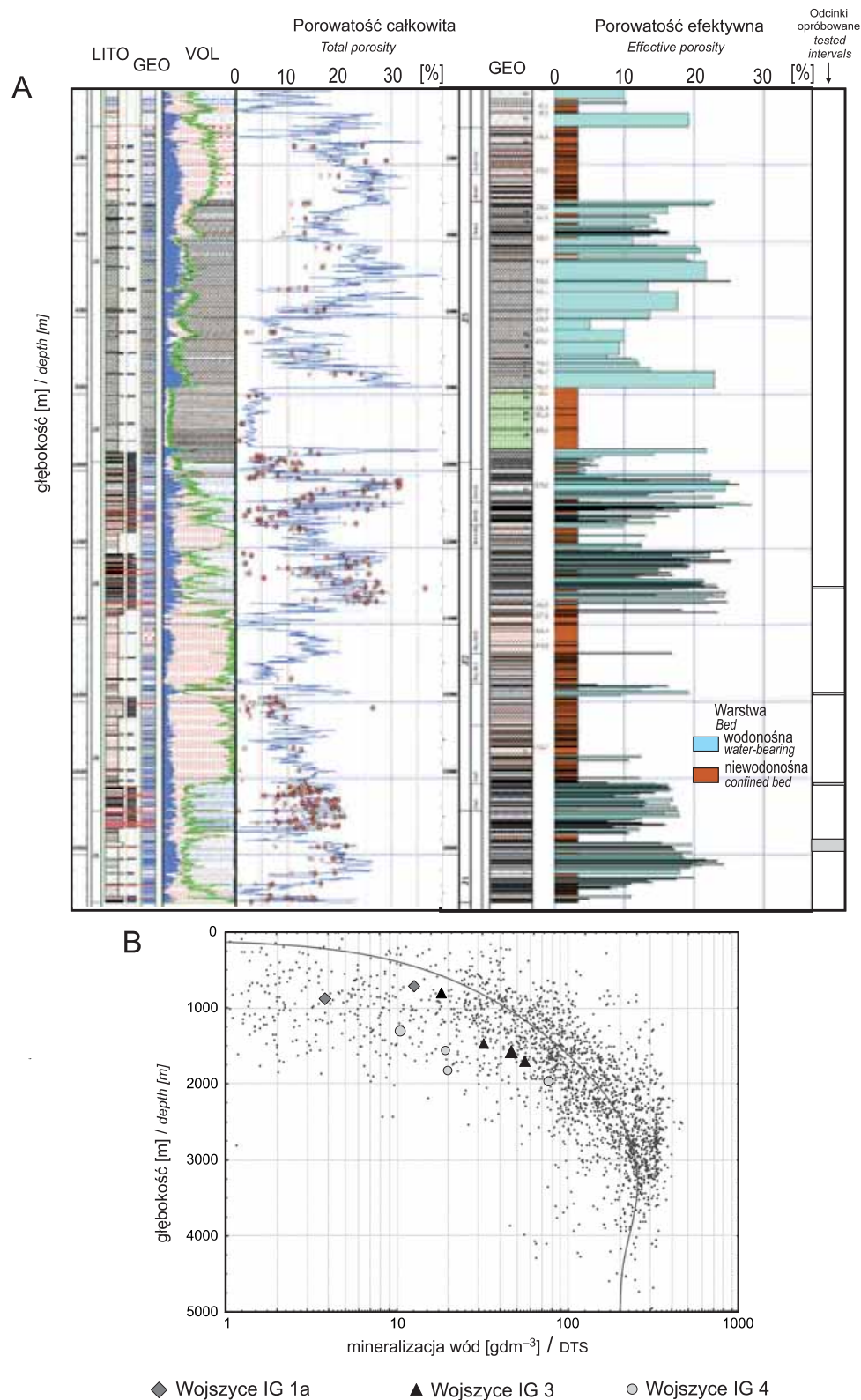


Fig. 56. A. Warstwy wodonośne oraz izolacyjne w profilach otworu wiertniczego Wojszyce IG 4, określone na podstawie interpretacji danych geofizycznych; podano średnią wartość porowatości efektywnej dla tych warstw i wskazano interwały głębokościowe, w których wykonano badania hydrogeologiczne. **B.** Mineralizacja wody stwierdzona w trakcie opróbowania we wszystkich analizowanych otworach na tle zmienności mineralizacji wód na obszarze Niżu Polskiego; pokazano wartość średnią mineralizacji tych wód obliczoną metodą najmniejszych kwadratów

A. Aquifers and non-aquifers in Wojszyce IG 4 borehole based on geophysical well logging interpretation methods; average effective porosity of aquifers and depth intervals are shown. **B.** Results of tests from analyzed wells with all results for Polish Lowlands in the background

Lidia DZIEWIŃSKA, Waldemar JÓŹWIĄK

PROFILOWANIE PRĘDKOŚCI ŚREDNICH W OTWORZE WIERTNICZYM WOJSZYCE IG 3

METODYKA

Pomiar prędkości średnich w otworze wiertniczym Wojszyce IG 3 został wykonany w 1989 r. przez Pracownię Sejsmiki Otworowej Zakładu Badań Geofizycznych PPG Kombinatoru Geologicznego Północ. Prace pomiarowe przeprowadzono metodą bezdynamitową, przy użyciu aparatury CS-5G i sondy 1-geofonowej, przy interwale pomiarowym 15 m. Pomiaru prowadzono z 3 punktów wzbudzenia – strzelania (PS), usytuowanych następująco:

PS1	$d = 100$ m	$A = 100^\circ$	$N = 0$ m
PS2	$d = 50$ m	$A = 220^\circ$	$N = 0$ m
PS3	$d = 50$ m	$A = 350^\circ$	$N = 0$ m

gdzie:

d – odległość punktu strzałowego od głębokiego otworu wiertniczego;

A – azymut kierunku otwór PS;

N – wysokość PS w stosunku do wylotu głębokiego otworu wiertniczego.

Pomiarem objęto odcinek otworu od 50 do 1935 m, czyli do końcowej głębokości wiercenia. Profilowanie prędkości średnich obejmuje utwory jury górnej, środkowej i dolnej.

Redukcję głębokości pomiaru do pionu wykonano, zakładając od punktu wybuchu do głębokości zanurzenia geofonu jednorodny ośrodek, czyli przy założeniu prostoliniowego przebiegu promienia sejsmicznego.

Przy interpretacji uwzględniono również wyniki profilowania akustycznego skalibrowanego według hodografu średnich prędkości w interwale 552,5–1930,0 m.

Do obliczenia krzywej prędkości średnich przyjęto jako poziom odniesienia poziom pomiaru, czyli 100 m n.p.m., przy wysokości otworu wynoszącej 108 m.

Głębokość zredukowana do poziomu odniesienia została obliczona ze wzoru:

$$h_r = h - h_{po} \pm N \pm \Delta h$$

gdzie:

h_r – głębokość zredukowana punktu pomiarowego, [m];

h – głębokość zanurzenia geofonu głębinowego, [m];

h_{po} – głębokość poziomu odniesienia, [m];

Δh – różnica głębokości między h_{po} i poziomem odniesienia, [m].

Czas obserwowany na sejsmogramach przeliczono na czas poprawiony zgodnie ze wzorem:

$$t_p = t_{obs} + t_h$$

gdzie:

t_p – czas poprawiony, [s];

t_{obs} – czas obserwowany, [s];

t_h – poprawka wynikająca z głębokości punktu wzbudzenia, poziomu odniesienia, miąższości strefy małych prędkości, prędkości w tej strefie i prędkości pod nią.

Czas zredukowany (t_r) dla poszczególnych punktów wzbudzenia liczono na podstawie wzoru:

$$t_r = \frac{h_r}{\sqrt{h_r^2 + d^2}} t_p$$

gdzie :

d – odległość PS od głębokiego otworu dla danego PS, [m].

W celu wyeliminowania anizotropii ośrodka obliczono średni czas zredukowany (t_r) jako średnią arytmetyczną pomiarów czasu zredukowanego z poszczególnych punktów wzbudzenia.

Wartości h_r i t_r posłużyły do obliczenia prędkości średnich V_{sr} zgodnie ze wzorem:

$$V_{sr} = \frac{h_r}{t_r}$$

Wszystkie wartości h_r , t_r i V_{sr} zestawiono w tabeli 29. Obliczenia wykonano przy pomocy odpowiedniego programu komputerowego.

Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do konstrukcji krzywych prędkości średnich (fig. 57A) i hodografu pionowego (fig. 57B). Do wykreślenia krzywej prędkości średnich

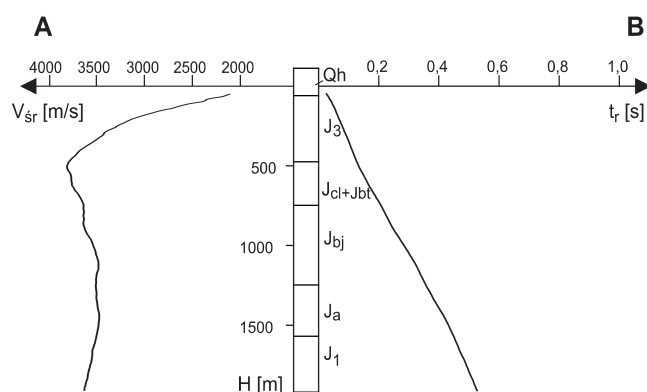


Fig. 57. Wykres prędkości średnich (A) i hodograf pionowy (B) dla otworu wiertniczego Wojszyce IG 3 (poziom odniesienia 100 m n.p.m.)

t_r – średni czas zredukowany, V_{sr} – prędkość średnia, h – głębokość

Average seismic velocity (A) and travel-time curve (B) for Wojszyce IG 3 borehole (reference level 100 m a.s.l.)

t_r – average reduced time, V_{sr} – average velocity, h – depth

wykorzystano wartości uśrednione z poszczególnych punktów wzbudzenia.

Przedstawiony na [figurze 57B](#) hodograf pionowy wskazuje na zależność między wzrostem głębokości a czasem rejestracji.

W celu wyznaczenia poszczególnych kompleksów prędkościowych, a szczególnie ich średnich wartości, zastosowano sposób wygładzania wartości pomiarów geofizycznych.

Metoda ta może być stosowana w przypadku, gdy wartości zmierzone zmieniają się przypadkowo z punktu na punkt w granicach błędu pomiarowego. Warunkiem jej wykorzystania jest jednakowy odstęp między punktami pomiarowymi.

Podaną metodę zastosowano do wygładzania odczytów czasu z pomiarów prędkości średnich, w celu obliczenia prędkości interwałowych bez przypadkowych skoków wartości, wywołanych błędami pomiaru czasu. Krzywe wygładzone prędkości interwałowych obliczono w celu wyznaczenia stref maksymalnych gradientów prędkości, które odpowiadają granicom prędkościowym poszczególnych kompleksów.

Krzywe prędkości obliczono, wyrównując pomiary czasu zredukowane do pionu przy pomocy splotu z odpowiednim filtrem. Przetwarzanie to polegało na przeliczaniu wartości czasu i prędkości do poziomu odniesienia pomiaru i ich interpolacji dla znormalizowanych przedziałów głębokości, co 20 m. Następnie wyznaczone wartości wygładzono przy użyciu specjalnego programu przez zastosowanie operacji splotu z filtrem trójkątnym, stosując 20 razy filtr 0,25; 0,5; 0,25. Celem tych przekształceń, usuwających przypadkowe odchylenia poszczególnych danych pomiarowych wynikających z

niedokładności pomiarów, było przygotowanie materiałów do obliczenia prędkości interwałowych.

Przy pierwszym wygładzaniu zmniejszone zostają przypadkowe skoki wartości spowodowane ich zaokrągleniem do 1 ms lub błędami pomiarowymi. Kolejne powtarzanie wymienionych wyżej operacji powoduje zaokrąglenie załamań (hodografu) spowodowanych zmianami prędkości w kolejnych warstwach. W ten sposób powstały dodatkowe zbiory obejmujące: przetworzone pomiary czasu po ich zredukowaniu do poziomu odniesienia, wyinterpretowaniu wartości co 20 m i wygładzeniu oraz odpowiadające im wartości prędkości średnich.

Powyższe informacje są zawarte w banku danych prędkościowych utworzonym w latach 90. XX wieku w Zakładzie Geofizyki PIG na potrzeby interpretacji prac sejsmicznych.

Różnice wartości pomiarów czasu pomiędzy kolejnymi wygładzeniami są spowodowane zmianami prędkości w warstwach o określonej miąższości. Zjawisko to wykorzystano do wyznaczenia granic kompleksów prędkościowych w miejscach maksymalnych bezwzględnych wartości różnic czasu wygładzonego n i $n+1$ razy. Granice kompleksów wyznacza się w miejscach maksymalnych gradientów prędkości interwałowych.

Przy tym sposobie obliczeń wyróżniają się wyraźnie tylko kompleksy prędkościowe o miąższości powyżej 100 m. Maksymalne i minimalne wartości obliczonych prędkości odpowiadają uśrednionym wartościom kompleksów warstw o prędkościach zmniejszonych lub zwiększonych w porównaniu z sąsiednimi.

Tabela 29

Zestawienie wartości głębokości, czasu zredukowanego i prędkości średnich

Depth, reduced time and average velocity values

h [m]	t_r 1 [s]	t_r 2 [s]	t_r 3 [s]	$t_{r, \bar{s}r}$ [s]	$V_{\bar{s}r}$ [m/s]
1	2	3	4	5	6
52	0,0000	0,0240	0,0250	0,0245	2122
67	0,0000	0,0300	0,0310	0,0305	2197
82	0,0000	0,0340	0,0360	0,0350	2343
97	0,0000	0,0390	0,0420	0,0405	2395
112	0,0000	0,0430	0,0450	0,0440	2545
127	0,0000	0,0460	0,0500	0,0480	2646
142	0,0000	0,0500	0,0540	0,0520	2731
157	0,0000	0,0530	0,0570	0,0550	2855
172	0,0000	0,0570	0,0600	0,0585	2940
187	0,0600	0,0610	0,0640	0,0617	3032

h – głębokość depth; t_r 1 – czas zredukowany z punktu pomiarowego 1; t_r 2 – czas zredukowany z punktu pomiarowego 2; t_r 3 – czas zredukowany z punktu pomiarowego 3; $t_{r, \bar{s}r}$ – średni czas zredukowany; $V_{\bar{s}r}$ – prędkość średnia

h – depth; t_r 1 – reduced time from measuring point 1; t_r 2 – reduced time from measuring point 2; t_r 3 – reduced time from measuring point 3; $t_{r, \bar{s}r}$ – average reduced time; $V_{\bar{s}r}$ – average velocity

Tabela 29 cd.

1	2	3	4	5	6
202	0,0640	0,0640	0,0670	0,0650	3108
217	0,0680	0,0670	0,0700	0,0683	3176
232	0,0730	0,0700	0,0730	0,0720	3222
247	0,0760	0,0740	0,0760	0,0753	3279
262	0,0800	0,0770	0,0800	0,0790	3316
277	0,0830	0,0800	0,0830	0,0820	3378
292	0,0860	0,0840	0,0860	0,0853	3422
307	0,0900	0,0880	0,0900	0,0893	3437
322	0,0930	0,0920	0,0930	0,0927	3475
337	0,0960	0,0960	0,0960	0,0960	3510
352	0,1000	0,0990	0,0990	0,0993	3544
367	0,1030	0,1020	0,1020	0,1023	3586
382	0,1060	0,1050	0,1050	0,1053	3627
397	0,1090	0,1080	0,1080	0,1083	3665
412	0,1120	0,1120	0,1110	0,1117	3690
427	0,1150	0,1150	0,1150	0,1150	3713
442	0,1190	0,1180	0,1180	0,1183	3735
457	0,1220	0,1210	0,1210	0,1213	3766
472	0,1250	0,1240	0,1250	0,1247	3786
487	0,1290	0,1270	0,1280	0,1280	3805
502	0,1330	0,1310	0,1310	0,1317	3813
517	0,1370	0,1350	0,1350	0,1357	3811
532	0,1410	0,1400	0,1390	0,1400	3800
547	0,1460	0,1440	0,1440	0,1447	3781
562	0,1510	0,1480	0,1480	0,1490	3772
577	0,1550	0,1520	0,1520	0,1530	3771
592	0,1590	0,1560	0,1560	0,1570	3771
607	0,1630	0,1600	0,1610	0,1613	3762
622	0,1670	0,1640	0,1650	0,1653	3762
637	0,1720	0,1680	0,1700	0,1700	3747
652	0,1770	0,1720	0,1750	0,1747	3733
667	0,1820	0,1770	0,1800	0,1797	3712
682	0,1870	0,1820	0,1850	0,1847	3693
697	0,1910	0,1870	0,1900	0,1893	3681
712	0,1960	0,1920	0,1950	0,1943	3664
727	0,2010	0,1970	0,1990	0,1990	3653
742	0,2060	0,2020	0,2030	0,2037	3643
757	0,2100	0,2070	0,2070	0,2080	3639
772	0,2140	0,2110	0,2110	0,2120	3642
787	0,2180	0,2150	0,2160	0,2163	3638

Tabela 29 cd.

1	2	3	4	5	6
802	0,2220	0,2190	0,2200	0,2203	3640
817	0,2260	0,2230	0,2240	0,2243	3642
832	0,2300	0,2280	0,2280	0,2287	3638
847	0,2340	0,2320	0,2320	0,2327	3640
862	0,2380	0,2360	0,2360	0,2367	3642
877	0,2420	0,2410	0,2400	0,2410	3639
892	0,2460	0,2460	0,2450	0,2457	3631
907	0,2510	0,2500	0,2500	0,2503	3623
922	0,2560	0,2550	0,2550	0,2553	3611
937	0,2620	0,2600	0,2600	0,2607	3595
952	0,2680	0,2650	0,2650	0,2660	3579
967	0,2730	0,2710	0,2700	0,2713	3564
982	0,2780	0,2760	0,2750	0,2763	3554
997	0,2830	0,2810	0,2800	0,2813	3544
1012	0,2880	0,2860	0,2850	0,2863	3534
1027	0,2930	0,2910	0,2900	0,2913	3525
1042	0,2980	0,2960	0,2950	0,2963	3516
1057	0,3030	0,3000	0,3000	0,3010	3512
1072	0,3080	0,3050	0,3050	0,3060	3503
1087	0,3130	0,3100	0,3100	0,3110	3495
1102	0,3180	0,3150	0,3150	0,3160	3487
1117	0,3230	0,3190	0,3190	0,3203	3487
1132	0,3280	0,3230	0,3230	0,3247	3487
1147	0,3320	0,3280	0,3270	0,3290	3486
1162	0,3350	0,3320	0,3310	0,3327	3493
1177	0,3380	0,3350	0,3350	0,3360	3503
1192	0,3420	0,3390	0,3390	0,3400	3506
1207	0,3460	0,3430	0,3430	0,3440	3509
1222	0,3500	0,3470	0,3470	0,3480	3511
1237	0,3550	0,3510	0,3510	0,3523	3511
1252	0,3590	0,3550	0,3550	0,3563	3514
1267	0,3630	0,3600	0,3590	0,3607	3513
1282	0,3680	0,3650	0,3630	0,3653	3509
1297	0,3720	0,3700	0,3680	0,3700	3505
1312	0,3760	0,3750	0,3720	0,3743	3505
1327	0,3800	0,3790	0,3760	0,3783	3507
1342	0,3850	0,3830	0,3810	0,3830	3504
1357	0,3900	0,3870	0,3860	0,3877	3500
1372	0,3950	0,3910	0,3910	0,3923	3497
1387	0,4000	0,3950	0,3960	0,3970	3494

Tabela 29 cd.

1	2	3	4	5	6
1402	0,4050	0,3990	0,4010	0,4017	3490
1417	0,4100	0,4040	0,4060	0,4067	3484
1432	0,4150	0,4090	0,4110	0,4117	3479
1447	0,4190	0,4140	0,4150	0,4160	3478
1462	0,4230	0,4190	0,4190	0,4203	3478
1477	0,4270	0,4230	0,4230	0,4243	3481
1492	0,4310	0,4270	0,4270	0,4283	3483
1507	0,4350	0,4310	0,4310	0,4323	3486
1522	0,4390	0,4340	0,4350	0,4360	3491
1537	0,4430	0,4370	0,4390	0,4397	3496
1552	0,4460	0,4410	0,4430	0,4433	3501
1567	0,4500	0,4450	0,4460	0,4470	3506
1582	0,4540	0,4490	0,4490	0,4507	3510
1597	0,4570	0,4530	0,4520	0,4540	3518
1612	0,4600	0,4570	0,4560	0,4577	3522
1627	0,4630	0,4600	0,4590	0,4607	3532
1642	0,4660	0,4630	0,4630	0,4640	3539
1657	0,4690	0,4660	0,4660	0,4670	3548
1672	0,4730	0,4700	0,4700	0,4710	3550
1687	0,4770	0,4740	0,4740	0,4750	3552
1702	0,4810	0,4780	0,4780	0,4790	3553
1717	0,4850	0,4820	0,4820	0,4830	3555
1732	0,4880	0,4850	0,4860	0,4863	3561
1747	0,4910	0,4880	0,4890	0,4893	3570
1762	0,4950	0,4910	0,4930	0,4930	3574
1777	0,4980	0,4940	0,4960	0,4960	3583
1792	0,5010	0,4970	0,5000	0,4993	3589
1807	0,5040	0,5010	0,5030	0,5027	3595
1822	0,5080	0,5050	0,5060	0,5063	3598
1837	0,5110	0,5090	0,5100	0,5100	3602
1852	0,5140	0,5120	0,5130	0,5130	3610
1867	0,5170	0,5150	0,5160	0,5160	3618
1882	0,5200	0,5180	0,5200	0,5193	3624
1897	0,5240	0,5210	0,5230	0,5227	3629
1912	0,5280	0,5240	0,5270	0,5263	3633
1927	0,5310	0,5270	0,5310	0,5297	3638

WYNIKI BADAŃ

Zestawienie uśrednionych wartości V_i (prędkość interwałowa), V_k (prędkość kompleksowa) i V_w (prędkość wygładzona) obliczonych z pomiarów czasu wygładzonego zawiera [tabela 30](#). Krzywe prędkości wygładzonych, interwałowych i kompleksowych przedstawiono [na figurze 58](#). Wykresy wzbogacono profilem stratygraficznym otworu, co umożliwia bezpośrednie powiązanie zmian prędkości z kompleksami stratygraficzno-litologicznymi przekroju geologicznego w otworze oraz z refleksami sejsmicznymi.

Profil geologiczny otworu wiertniczego reprezentują utwory kenozoiku, jury górnej, środkowej i dolnej. Wśród prędkości reprezentujących poszczególne formacje obserwuje się duże zróżnicowanie ich wartości, związane ze znacznym zróżnicowaniem litologicznym poszczególnych warstw.

Analiza wykazuje, że wyraźny wzrost prędkości średniej charakteryzujący się zmianą nachylenia krzywej ma miejsce w obrębie utworów jury górnej, a szczególnie w jej dolnej części. Znajduje to potwierdzenie we wzroście obliczonych prędkości interwałowych i kompleksowych, których wykresy przedstawiono [na figurze 58](#). Wyraźne zróżnicowanie występuje w prędkościach kompleksowych w utworach jury górnej. W górnej partii tych utworów znajduje się warstwa o miąższości ok. 130 m, dla której prędkość kompleksowa wynosi ok. 2900 m/s, analogicznie jak dla utworów kenozoiku. Poniżej tej warstwy występują wapienne formacje oksfordu o zdecydowanie większych prędkościach (>4200 m/s), dochodzących w części maksymalnej do wartości 4400 m/s. Znaczną część profilu otworu wiertniczego stanowią utwory

jury środkowej. Na głębokości ok. 500 m, na granicy jury górnej i środkowej, zaznacza się charakterystyczny kontrast obniżenia prędkości w porównaniu ze strefą utworów nadległych.

Utwory jury środkowej charakteryzują się w miarę stabilną wartością prędkości zmieniającą się w granicach 3150–3500 m/s. Niemniej można w ich obrębie wyróżnić trzy odcinki o różnych prędkościach. Odcinek górny obejmujący kompleksy keloweju, batonu i górne warstwy bajosu do głębokości ok. 900 m ma prędkość ok. 3400 m/s. Poniżej, w centralnej części profilu jury środkowej, występuje seria bajosu górnego o miąższości ok. 200 m, o prędkości kompleksowej obniżonej do wartości 3150 m/s. Dolny odcinek zakończony granicą kontrastu w spągu utworów aalenu górnego, na głębokości ok. 1500 m, charakteryzuje się ponownym wzrostem prędkości kompleksowej do wartości ok. 3500 m/s. Zidentyfikowane powyżej kontrasty prędkości w mułowcowo-iłowcowo-piaskowcowych miąższych utworach jury środkowej w znacznym stopniu są związane z ich zmiennym wykształceniem litologicznym i zależą od przewagi danego składnika.

W utworach jury dolnej występuje znaczne podwyższenie wartości prędkości kompleksowej w stosunku do zanotowanych w utworach jury środkowej. Pod względem prędkościowym jura dolna jest trójdzielna. Obserwuje się tu zróżnicowanie prędkości wraz ze wzrostem głębokości. I tak, w części górnej, z granicą kontrastu w stropie utworów aalenu dolnego, notuje się wartość ok. 4150 m/s. Na głęb. ok. 1700 m następu-

Tabela 30

Zestawienie wartości prędkości interwałowej (V_i), prędkości kompleksowej (V_k) i prędkości wygładzonej (V_w)

Averaged interval (V_i), complex (V_k) and smoothed (V_w) velocity values calculated from smoothed velocity

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
1	2	3	4
20	2680	2931	
40	2680	2931	2582
60	2680	2931	2725
80	2680	2931	2919
100	2680	2931	3153
120	3715	2931	3406
140	3715	2931	3654
160	3715	4215	3874
180	3715	4215	4049
200	3715	4215	4176
220	4337	4215	4262
240	4337	4215	4322

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
1	2	3	4
260	4337	4215	4367
280	4337	4215	4409
300	4337	4215	4451
320	4534	4215	4494
340	4534	4401	4534
360	4534	4401	4560
380	4534	4401	4565
400	4534	4401	4538
420	4289	4401	4474
440	4289	4401	4375
460	4289	4401	4248
480	4289	4401	4106

Tabela 30 cd.

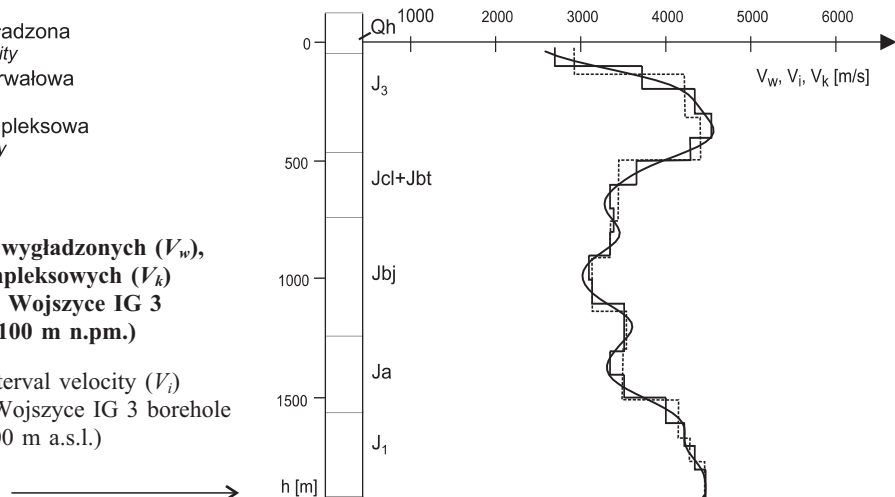
1	2	3	4
500	4289	4401	3964
520	3666	3450	3830
540	3666	3450	3711
560	3666	3450	3608
580	3666	3450	3519
600	3666	3450	3443
620	3322	3450	3378
640	3322	3450	3326
660	3322	3450	3292
680	3322	3450	3278
700	3322	3450	3286
720	3377	3450	3315
740	3377	3450	3357
760	3377	3450	3402
780	3377	3352	3440
800	3377	3352	3458
820	3361	3352	3448
840	3361	3352	3409
860	3361	3352	3345
880	3361	3352	3268
900	3361	3352	3189
920	3063	3352	3118
940	3063	3143	3065
960	3063	3143	3031
980	3063	3143	3018
1000	3063	3143	3025
1020	3132	3143	3050
1040	3132	3143	3092
1060	3132	3143	3151
1080	3132	3143	3225
1100	3132	3143	3311
1120	3503	3143	3402
1140	3503	3143	3488
1160	3503	3539	3556
1180	3503	3539	3597
1200	3503	3539	3607

1	2	3	4
1220	3518	3539	3588
1240	3518	3539	3549
1260	3518	3539	3499
1280	3518	3539	3447
1300	3518	3539	3399
1320	3330	3490	3358
1340	3330	3490	3328
1360	3330	3490	3310
1380	3330	3490	3311
1400	3330	3490	3333
1420	3504	3490	3379
1440	3504	3490	3449
1460	3504	3490	3540
1480	3504	3490	3647
1500	3504	3490	3763
1520	4014	3490	3878
1540	4014	4142	3986
1560	4014	4142	4077
1580	4014	4142	4149
1600	4014	4142	4196
1620	4223	4142	4219
1640	4223	4142	4225
1660	4223	4142	4224
1680	4223	4142	4226
1700	4223	4291	4238
1720	4327	4291	4265
1740	4327	4291	4304
1760	4327	4291	4349
1780	4327	4291	4392
1800	4327	4455	4426
1820	4461	4455	4455
1840	4461	4455	4464
1860	4461	4455	4469
1880	4461	4455	4469
1900	4461	4455	4467
1920	4461	4455	4430

- V_w prędkość wygładzona
smoothed velocity
 V_i prędkość interwałowa
interval velocity
 V_k prędkość kompleksowa
complex velocity

**Fig. 58. Wykresy prędkości wygładzonych (V_w),
 interwałowych (V_i) i kompleksowych (V_k)
 dla otworu wiertniczego Wojszyce IG 3
 (poziom odniesienia 100 m n.p.m.)**

Smoothed velocity (V_w), interval velocity (V_i)
 and complex velocity (V_k) for Wojszyce IG 3 borehole
 (reference level 100 m a.s.l.)



je wzrost prędkości do ok. 4300 m/s, a na głęb. ok. 1800 m kolejny wzrost do wartości ok. 4450 m/s. Podsumowując, granice prędkościowe związane ze zmianami właściwości fizycznych skał zaznaczają się jako granice stratygraficzne i są jednoznacznie ze zmianami litologii.

Wartości prędkości interwałowych i kompleksowych wykazują zgodność z profilem stratygraficzno-litologicznym.

Dla poszczególnych utworów geologicznych uzyskano następujące wartości prędkości kompleksowych:

- kenozoik – 2900 m/s;
- jura górna – 2900, 4200 i 4400 m/s;

- jura środkowa – 3350–3450, 3150, 3500 m/s;
- jura dolna – 4150, 4300, 4450 m/s.

Wykonane w otworze wiertniczym pomiary prędkości średnich umożliwiają prawidłową interpretację wykonanych w tym rejonie badań sejsmicznych.

Na podstawie przedstawionych materiałów można stwierdzić, że ze względu na kontrasty prędkości, najwyraźniejsze odbicia refleksyjne powinny powstawać w obrębie utworów jury górnej oraz w spągu utworów jury środkowej, co potwierdzają wyniki badań sejsmicznych, w rejonie otworu wiertniczego Wojszyce IG 3.