

BADANIA GEOFIZYCZNE

Jan SZEWCZYK

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

ZAKRES WYKONANYCH BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

W trakcie realizacji otworu wiertniczego Poddębice PIG 2 w okresie od 3 maja 1991 r. do 27 sierpnia 1992 r. przeprowadzono w nim sukcesywnie tzw. strefowe badania geofizyczne. Łącznie wykonano badania w dwunastu podstawowych odcinkach pomiarowych. W tabeli 10 zestawiono informacje na temat daty wykonywania pomiarów, rodzaju stosowanych metod pomiarowych oraz zakresu ich głębokości. Poza wymienionymi głównymi typami pomiarów, wykonywano pomiary o charakterze technicznym, niezbędne do właściwego prowadzenia procesu wiercenia.

Wykonawcą całości badań geofizycznych była Geofizyka Toruń. Badania przeprowadzono przy użyciu standardowej aparatury analogowej typu AKSŁ-7 produkcji radzieckiej. Był to jeden z ostatnich głębokich otworów badawczych Państwo-

wego Instytutu Geologicznego, w którym wykonano badania geofizyczne z zastosowaniem przestarzałego sprzętu pomiarowego, zdecydowanie odbiegającego od obowiązujących w tym okresie na świecie standardów. Wyniki pomiarów były rejestrowane w sposób analogowy w jednolitej skali głębokościowej 1:500. Nadzór metodyczno-inwestorski nad badaniami geofizycznymi sprawował Państwowy Instytut Geologiczny, w osobie autora niniejszego opracowania.

Na figurze 30 przedstawiono w formie graficznej odcinki badań strefowych, z wyszczególnieniem rodzaju wykonanych badań w otworze wiertniczym Poddębice PIG 2 wraz z numerem katalogowym przyjętym dla poszczególnych badań w autorskim programie interpretacyjnym GEOFLOG.

Tabela 10

Rodzaje pomiarów geofizycznych wykonanych w otworze wiertniczym Poddębice PIG 2

The types of geophysical measurements made in the Poddębice PIG 2 borehole

Odcinek badań strefowych	Data pomiaru	Głębokość [m]	Rodzaj pomiaru / symbol	Badany interwał [m]
1	2	3	4	5
1	3.05.1991 r.	403,00	PG PNG PŚr PO × 2 PS × 2 PK BSO × 4 POst	3–395 3–400 12–400 20–393 18–391 25–395 20–400 20–400
1A	13.06.1991 r.	403,00	PK PK	375–1130 1100–1310
2	23–24.05.1991 r.	972,00	PG PNN PŚr PO × 2 PS PT PA (Δt , t_1 , t_2) ¹ BSO × 4 POst	350–976 350–976 395–975 399–972 399–972 856–976 399–975 399–970 399–970

Tabela 10 cd.

1	2	3	4	5
3	11–12.06.1991 r.	1449,00	PG PNG PŚr PO × 2 PS PT PA (Δt , t_1 , t_2) ¹ PK BSO × 4 POst PŚr mPO PAc	855–1442 855–1446 899–1445 907–1441 900–1442 1309–1444 912–1446 1310–1446 907–1441 907–1441 392–1445 398–1446 5–420
4	16–17.07.1991 r.	1947,00	PG PNG PŚr Po × 2 PS PT PA (Δt , t_1 , t_2) ¹ PK BSO × 4 POst mPOst PŚr	1300–1941 1300–1941 1300–1941 1300–1937 1300–1941 1841–1941 1300–1941 1425–1940 1300–1937 1300–1937 1300–1937 399–1941
4A	12.09.1991 r.	2150,00	PK	1900–2144
5	27–28.09.1991 r.	2389,00	PG PNG PŚr PO × 2 PS PT PA (Δt , t_1 , t_2) ¹ PK 23 BSO × 4 POst mPO PŚr	1855–2385 1855–2385 1855–2385 1895–2380 1895–2380 2250–2385 1890–2383 2140–2385 1890–2380 1890–2380 1890–2382 398–2385
6	9–10.10.1991 r.	2541,00	PG PGG PNG PŚr PO × 2 PT PA (Δt , t_1 , t_2) ¹ PK PS BSO × 4 POst mPO PŚr	2320–2536 2330–2536 2330–2536 399–2526 2330–2530 2420–2530 2330–2530 2370–2530 2320–2530 2320–2530 2320–2530 2300–2530 399–2526
7	13–14.11.1991 r.	2953,00	PG PGG PNG PŚr PO × 2 PT PA (Δt , t_1 , t_2) ¹ PK BSO × 4 POst PAc	2475–2948 2485–2950 2475–2950 2533–2945 2533–2941 2840–2950 2533–2947 2475–2945 2942–2953 2942–2953 40–2533

Tabela 10 cd.

1	2	3	4	5
8	15–16.01.1992 r.	3524,00	PG PNG PGG PŚr PO × 2 PS (?) PT PA (Δt , t_1 , t_2) ¹ PK BSO × 4 POst PŚr mPO	2900–3524 2900–3524 2900–3524 2900–3521 2900–3513 2900–3510 3415–3522 2900–3518 3925–3520 2900–3510 2900–3510 2533–3520 2900–3518
9	6–7.03.1992 r.	3851,00	PG PNG PGG PŚr PO × 1 PA (Δt , t_1 , t_2) ¹ PK PS PNN + lg BSO × 5 POst	3475–3847 3475–3847 3475–3849 3480–3840 3480–3840 3740–3850 3475–3845 3450–3840 3480–3840 3475–3849 3475–3840 3475–3840
10	25–26.05.1992 r.	4379,00	PG PGG PNG PŚr PO × 2 PT PA (Δt , t_1 , t_2) ¹ PK PNN BSO × 4 POst PŚr	3800–4368 3800–4376 3800–4376 2537–4375 3800–4370 4267–4376 3800–4375 3825–4375 3800–4376 3790–4370 3790–4370 2537–4375
11	20–21.06.1992 r.	4500,00	PG PGG PNG PŚr PNN PT PA (Δt , t_1 , t_2) ¹ PO × 2 BSO × 4 POst PŚr	4320–4499 4320–4499 4320–4499 4320–4499 4320–4499 4375–4499 4320–4499 4320–4499 4320–4499 4320–4499 2539–4498
12	1.07.1992 r.	4730,00	PT 9 w warunkach ustabilizowanych	25–3516
12	26–27.08.1992 r.	4730,00	PG PNG PGG PŚr PO × 2 PT PA (Δt , t_1 , t_2) ¹ PK PNN BSO × 4 POst PŚr	4450–4730 4450–4730 4450–4730 4450–4730 4465–4724 4675–4730 4450–4730 4450–4725 4450–4730 4450–4725 4450–4725 2538–4728

Objaśnienia skrótów na str. 12–13 / for symbols see pp. 12–13; ¹ Δt – czas interwałowy / interval time; t_1 , t_2 – czas przebiegu sygnału dla dwóch rejestratorów / travelttime of acoustic wave for two receivers;

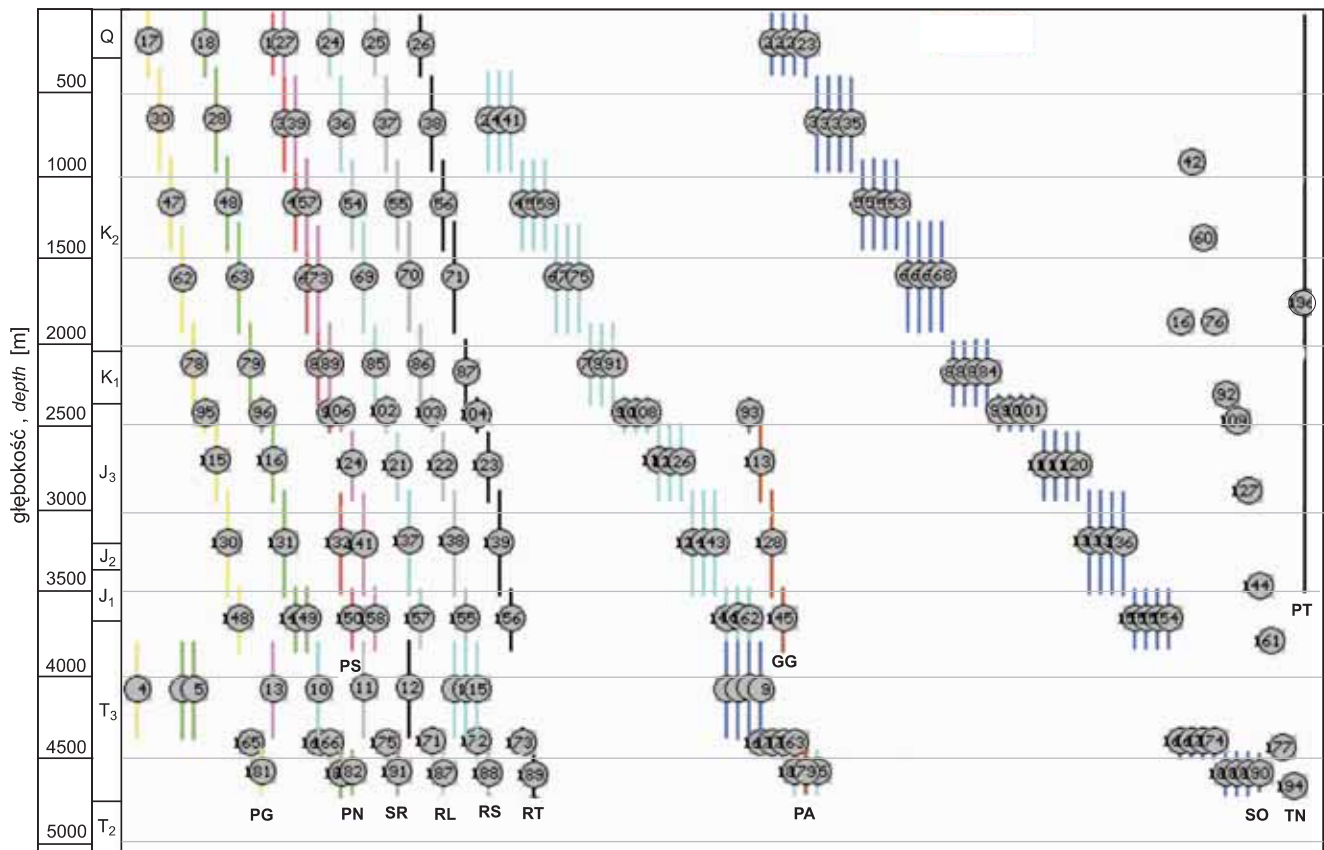


Fig. 30. Schematyczne zestawienie profilowań geofizycznych z otworu wiertniczego Poddebice PIG 2 istniejących w formie danych cyfrowych w CBDG PIG-PIB (2010 r.)

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, PA – profilowanie akustyczne, GG – profilowanie gęstości typu gamma-gamma, SO – profilowanie (sondowanie) oporności, TN – profilowanie temperatury w warunkach niestabilizowanych, PT – profilowanie temperatury; numer identyfikacyjny podano w systemie GEOFLOG

Diagram showing digitized wireline logs intervals for the Poddebice PIG 2 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, PA – sonic, GG – density, SO – resistivity, TN – temperature log in unstable condition, RT – laterolog, PT – temperature; file number is given in GEOFLOG system

Na figurze 31 przedstawiono natomiast wyniki unormowanych i połączonych zarejestrowanych wartości naturalnego promieniowania gamma, a także profilowania średnicy otworu wiertniczego ze wskazaniem głębokości połączenia poszczególnych odcinków badań. Pokazano równocześnie profil litologiczny (LITO) ze wskazaniem odcinków rdzeniowych, z zaznaczeniem uzyskanej efektywności rdzeniowania.

Metodykę normowania profilowań gamma opisano w pracy Szewczyka (2000).

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

Pomiary radiometryczne, stanowiące wówczas podstawowy (i praktycznie jedyny) typ badań geofizycznych, które były podstawą do oceny litologii oraz właściwości zbiorniko-

wych skał występujących w profilu, wykonywano sondami, które nie spełniały norm standaryzacji, ani tym bardziej kalibracji. Były to sondy typu SP-62 w metodzie PNG, oraz sonda GNG-8 w metodzie PNN. W przypadku pomiarów radiometrycznych każdorazowo wykonywano pomiar kontrolny, na odcinku nie mniejszym niż 50 metrów – zazwyczaj w najgłębszej części badanego odcinka profilu.

Pomiary temperatury przeprowadzono sondami TG-5 bądź T-5, a pomiary akustyczne sondami SPAK-4, którymi wykonano standardowe badania akustyczne, oraz ocenę stanu zacementowania rur okładzinowych. Po zakończeniu wiercenia, po 10-dobowej stójce otworu, wykonano profilowanie temperatury w warunkach zbliżonych do ustabilizowanych, do głębokości 3516,0 m (poniżej tej głębokości wystąpiło zwężenie średnicy ścianek otworu wiertniczego, uniemożliwiające pomiar w jego głębszej części). Ponadto w każdym

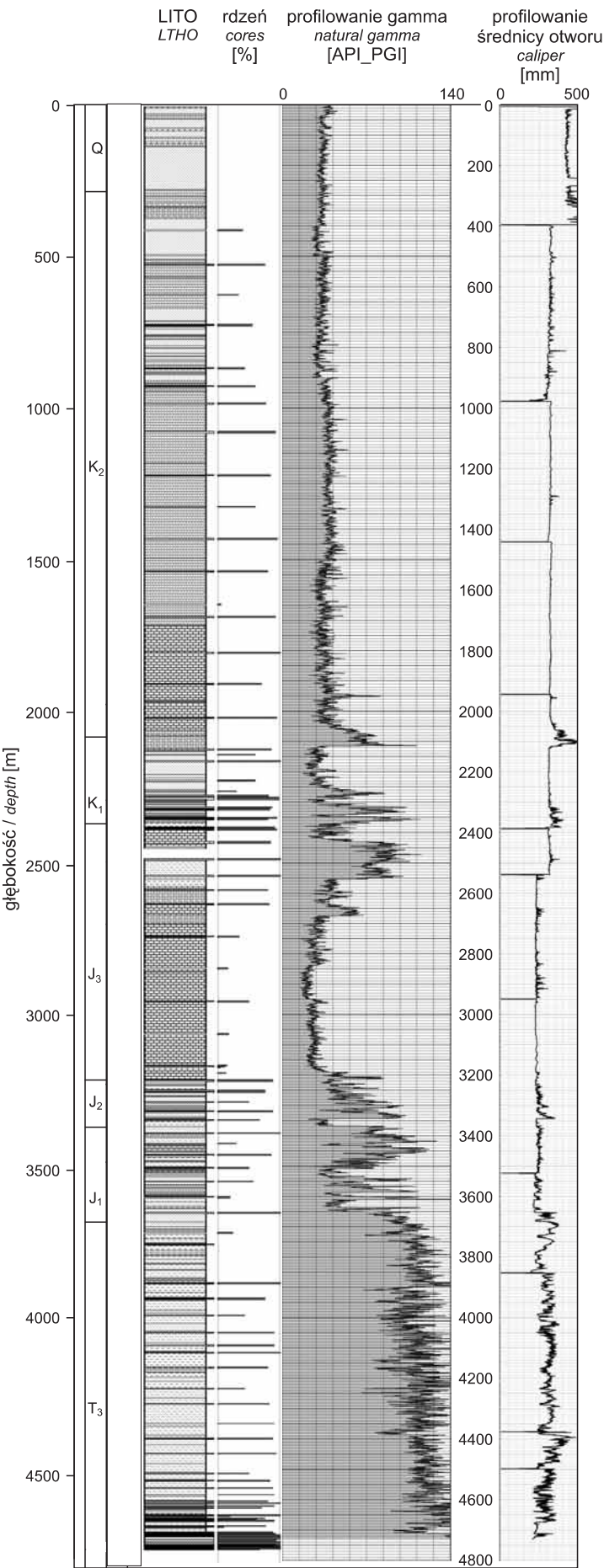


Fig. 31. Unormowane oraz połączone wartości profilowania naturalnego promieniowania gamma dla profilu Poddębice PIG 2

Na wykresie profilowania średnicy otworu wskazano miejsca połączeń poszczególnych odcinków badań

Normalised and connected gamma ray logs intervals from the Poddębice PIG 2 borehole

Connection points of individual wireline logs intervals are indicated on caliper log



z badanych odcinków pomiarowych zarejestrowano, w ich najgłębszym odcinku, ciągle pomiary temperatury w warunkach nieustabilizowanych (T_n), będące odpowiednikiem pomiaru temperatury maksymalnej (*BHT – Bottom Hole Temperature*).

Zastosowany sprzęt pomiarowy, a także zakres wykonanych badań oraz ich jakość, z obiektywnych przyczyn (nieдоступność sprzętu pomiarowego o wysokim standardzie związana z obowiązującym embargiem gospodarczym), pozwoliła na rozpoznania profilu głębokiego otworu wiertniczego Poddębice PIG 2 jedynie w ograniczonym zakresie.

W trakcie wiercenia realizowano bieżące prace interpretacyjne, m.in. związane z określeniem optymalnych interwałów głębokościowych do wykonania opróbowań złożowych. Po

zakończeniu prac wiertniczych sporządzono dokumentację końcową badań geofizycznych, stanowiącą część składową dokumentacji otworu wiertniczego Poddębice PIG 2.

W latach 90. XX wieku, w ramach tworzenia bazy cyfrowych badań geofizycznych Centralnej Bazy Danych Geologicznych zdigitalizowano podstawową część wyników badań, obejmującą głównie pomiary radiometryczne, akustyczne oraz wybrane elektrometryczne. 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*). Metodę oraz zakres opracowywania danych geofizycznych przedstawiono w opracowaniu dokumentacyjnym (Szewczyk i in., 2001).

PROFIL LITOLOGICZNO-PETROFIZYCZNY

W trakcie wykonywania otworu wiertniczego Poddębice PIG 2, a także po jego zakończeniu, realizowano bieżące prace interpretacyjne, m.in. związane z określeniem optymalnych interwałów głębokościowych do wykonania opróbowań złożowych. Wykonawcą tych prac interpretacyjnych było przedsiębiorstwo Geofizyka Toruń. Uzyskane wyniki prac zawarto w dokumentacji końcowej otworu badawczego Poddębice PIG 2. Były one wykorzystywane m.in. przy wyborze odcinków profilu do badań złożowych.

W trakcie prac interpretacyjnych kalibracja wyników profilowań neutronowych w jednostkach porowatości następowała *post factum*, na podstawie korelacji statystycznej z wynikami laboratoryjnych badań próbek skalnych (Szewczyk, 1998a).

Po 2000 r., w związku z pracami interpretacyjnymi dla obszaru Niżu Polskiego, wykonano kompleksowe prace interpretacyjne danych geofizycznych dla całego otworu wiertniczego Poddębice PIG 2. Ich celem było określenie podstawowych parametrów petrofizycznych skał występujących w profilu, tj. porowatości, zailenia, gęstości objętościowej oraz przewodności cieplnej (Szewczyk, 2000). Prace interpretacyjne prowadzono przy wykorzystaniu autorskiego, sukcesywnie rozbudowywanego programu interpretacyjnego GEOFLOG (Szewczyk, 1998b). Należy zaznaczyć, że prace interpretacyjne, zarówno pod względem ich zakresu, jak i stopnia szczegółowości, były dostosowane do konkretnych i ograniczonych celów badawczych, i z tego powodu powinny być one traktowane jako wstępny wariant wyników interpretacyjnych w odniesieniu do danych z otworu wiertniczego Poddębice PIG 2. Dalszy rozwój metodyki prac interpretacyjnych, ukierunkowa-

nych na interpretację archiwalnych danych geofizycznych, z pewnością umożliwi uzyskanie pełniejszego rozpoznania profili wiercen archiwalnych, w tym również profilu otworu Poddębice PIG 2.

Figura 32 przedstawia wyniki kompleksowej interpretacji litologii, porowatości całkowitej oraz gęstości objętościowej dla profilu całego otworu. Dla porównania pokazano również wyniki laboratoryjnych badań dwóch ostatnich parametrów, uzyskane na podstawie wyników badań laboratoryjnych rdzeni wiertniczych.

Opisane powyżej wyniki interpretacji pozwalają m.in. na wydzielenie w profilu wiercenia warstw przepuszczalnych, a także ocenę ich właściwości filtracyjnych, w tym porowatości efektywnej (Szewczyk, 2006). Na figurze 33 przedstawiono zestawienie zgeneralizowanego warstwowego profilu właściwości filtracyjnych utworów z otworu wiertniczego Poddębice PIG 2, z podziałem profilu na warstwy wykazujące cechy skał zbiornikowych oraz warstwy izolacyjne. Zaznaczono równocześnie odcinek wykonanych badań hydrogeologicznych z podaną informacją na temat uzyskanej wartości wydajności wody złożowej oraz jej mineralizacji.

Jednym z wyników prac interpretacyjnych była informacja na temat gęstości objętościowej skał, zarówno w odniesieniu do stanu powietrzno-suchego, jak i stanu nasycenia wodą złożową. Na figurze 34 przedstawiono wyniki obliczeń gęstości objętościowej w stanie powietrzno-suchym, a więc dla warunków, dla których są wykonywane badania laboratoryjne tego parametru.

Niezależnie od zastosowanej metody obliczenia gęstości objętościowej, której wyniki przedstawiono na figurze 34, dla określenia wartości gęstości objętościowej zastosowano ory-

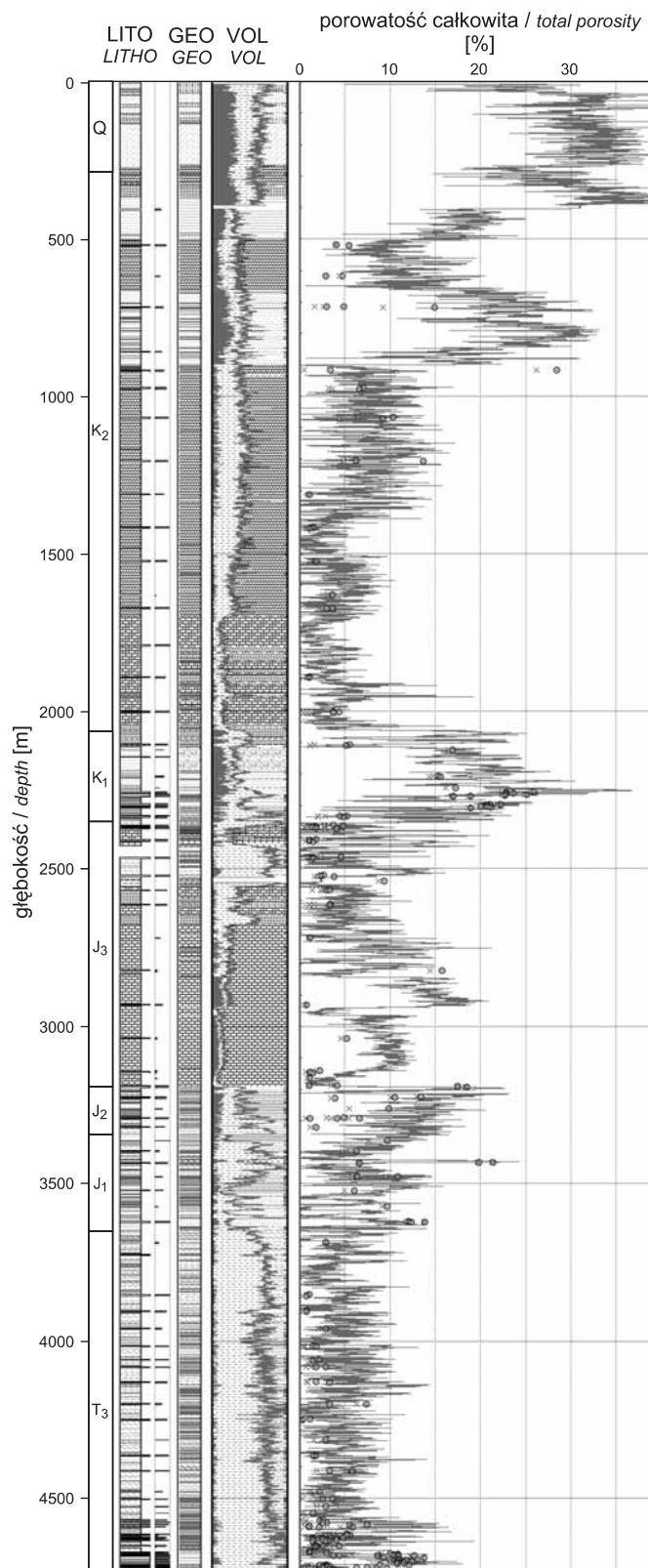


Fig. 32. Profil litologiczno-wiertniczy (LITO), geofizyczny (GEO), objętościowy (VOL) oraz obliczonej na podstawie danych geofizycznych porowatości całkowitej

Dla porównania pokazano wyniki badań laboratoryjnych, tj. porowatości całkowitej (kółka) oraz efektywnej (krzyżyki) parametru

Lithologic (LITHO), geophysical (GEO), and volumetric (VOL) logs with total porosity values calculated from geophysical data

Results of laboratory measurements are shown for comparison: total porosity (circles), effective porosity (crosslets)

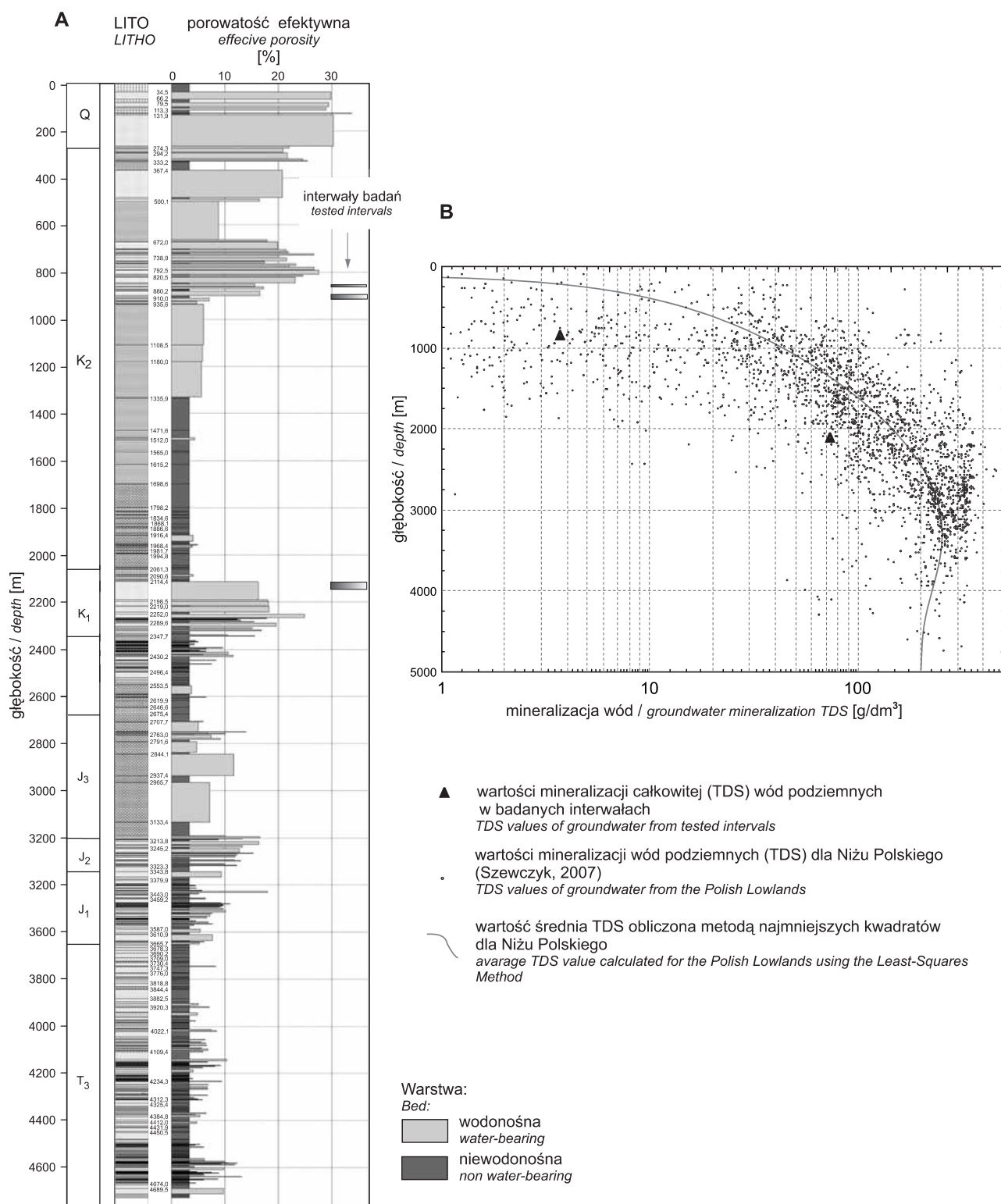


Fig. 33. A. Warstwy zbiornikowe i izolujące w strefie objętej badaniami hydrogeologicznymi. **B.** Mineralizacje wód podziemnych uzyskanych w badanych odcinkach na tle mineralizacji wód z obszaru Nizżu Polskiego, z wartością średnią obliczoną metodą najmniejszych kwadratów (Szewczyk, 2006) (B)

Wskazano interwały badań

A. Aquifer and sealing beds within the intervals of hydrogeological tests. **B.** Total dissolved solids of groundwater from tested intervals shown against the background of groundwater mineralisation in the Polish Lowlands, with the average value calculated using the least-squares method (Szewczyk, 2006)

Tested intervals are marked

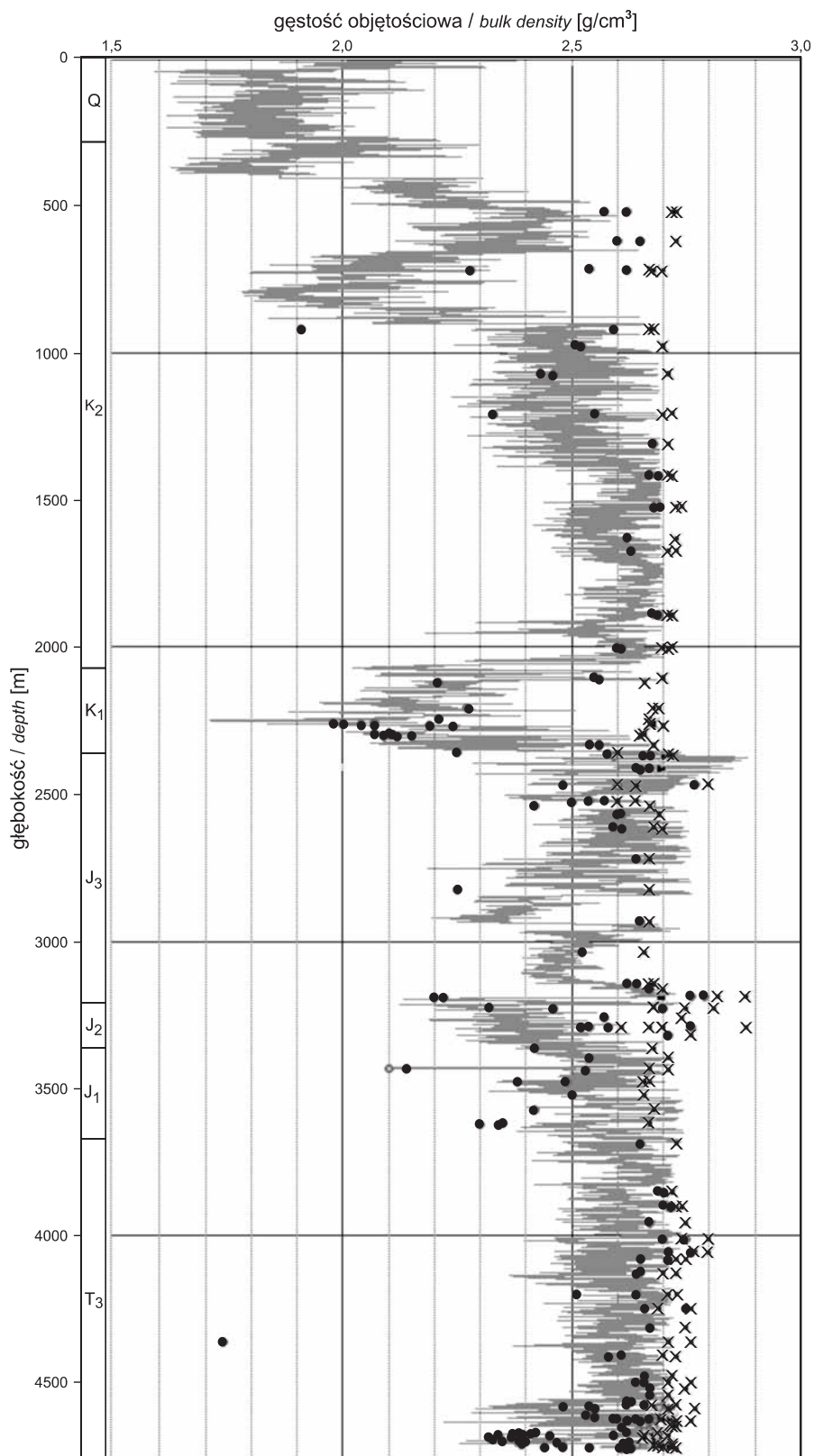


Fig. 34. Zestawienie głębokościowe profilu gęstości objętościowej obliczonej na podstawie modelu litologiczno-porowatościowego

Dla porównania symbolami zaznaczono wynik badań laboratoryjnych – gęstości objętościowej w stanie powietrzno-suchym (kropki) oraz gęstości właściwej (krzyżyki)

Bulk density versus depth, calculated from the lithological-porosity model

Results of laboratory measurements are marked with symbols for comparison: bulk density in air-dry conditions (dots) and specific density (crosslets)

ginalną metodę statystyczną (Szewczyk, Gientka, 2002) obliczania tego parametru. Metodę tę opracowano na podstawie znalezionych statystycznych związków między typem litologiczno-stratygraficznym skały obszaru Niżu Polskiego, głębokością występowania skały a gęstością objętościową. Metoda ta może mieć zastosowanie przede wszystkim w odniesieniu do interpretacji gęstości objętościowej do mode-

lowań wyników grawimetrycznych metodą *strippingu*, szczególnie w odniesieniu do archiwalnych otworów wiertniczych, pozbawionych dobrych jakościowo wyników badań geofizycznych. Na [figurze 35](#) zaprezentowano wyniki zastosowania tej metody w odniesieniu do profilu otworu wiertniczego Poddębice PIG 2.

CHARAKTERYSTYKA TERMICZNA

W otworze wiertniczym Poddębice PIG 2 wykonano badania termiczne w warunkach zbliżonych do ustalonych (po około 14 dobach stójki). Ze względu na utratę drożności odwiertu, związaną z długim okresem braku cyrkulacji płuczki wiertniczej, pomiar temperatury wykonano do głębokości 3516,0 m (przy całkowitej końcowej głębokości otworu wynoszącej 4730,0 m). 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 Poddębic wynosi ona około plus 9,21°C, podczas gdy temperatura ekstrapolowana do powierzchni wynosi około 14–15°C. W otworze wiertniczym, w dolnej części odcinków poszczególnych badań strefowych wykonywano pomiary temperatury w nieustalonych warunkach termicznych, stanowiące odpowiednik pomiarów temperatury maksymalnej (*BHT*). Wyniki tych badań przedstawiono w [tabeli 11](#).

Na [figurze 36](#) 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 różnice między obliczonymi wartościami T_s z wynikami bezpośredniego pomiaru temperatury (T) są efektem zarówno niepełnej stabilizacji termicznej otworu, jak i nielinowości układu pomiarowego. Na [figurze 35](#) pokazano równocześnie obliczoną wartość temperatury profilowania (T_{corr}), stanowiącą estymację rzeczywistej temperatury niezaburzonej. Uwzględnia ona zarówno wpływ paleoklimatu, jak i zaburzeń związanych z procesem wiercenia.

Wartość głębokiej gęstości strumienia cieplnego dla tego otworu, uwzględniającą wpływ czynnika paleoklimatycznego, wynosi 79,6 mWm⁻² (Szewczyk, Gientka, 2009). Otwór wiertniczy Poddębice PIG 2 znajduje się w brzeżnej części strefy podwyższonych wartości strumienia cieplnego. Temperatura ustabilizowana dla głębokości 2000 m (poza wpływem zaburzeń klimatycznych) wynosi 55,3°C.

CHARAKTERYSTYKA HYDROGEOLOGICZNA

W otworze wiertniczym Poddębice PIG 2 wykonano badania hydrogeologiczne w czterech poziomach, z których w trzech uzyskano przyływ wód złożowych, tj. z utworów kredy górnej,

z interwału głębokości 849,0–855,0 i 878,0–923,0 m oraz z interwału głębokości 2119,0–2145,0 m, w obrębie utworów kredy dolnej. Szczegółowe omówienie wyników badań hydrogeolo-

Tabela 11

**Wartości temperatury maksymalnej (*BHT*)
w otworze wiertniczym Poddębice PIG 2**

Maximum temperature value (*BHT*)
in the Poddębice PIG 2 borehole

Głębokość [m]	Temperatura maksymalna [°C]
1542,0	37,3
2023,0	45,0
2505,0	55,0
3006,0	66,0
3417,0	91,0
3605,0	95,0
4175,0	97,0
4256,0	107,5
4736,0	120,0
5223,0	131,0
5451,0	133,0
5615,0	134,0

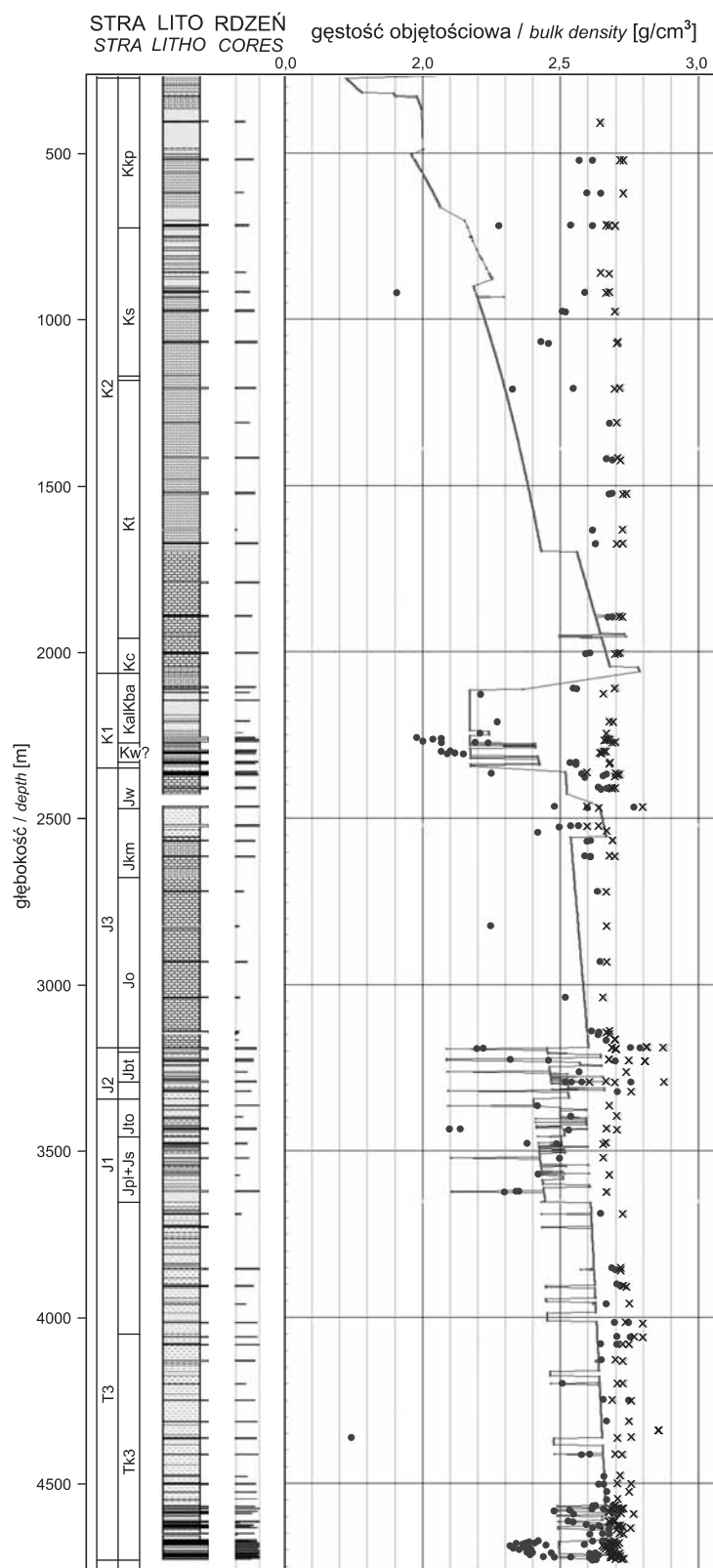


Fig. 35. Wynik obliczenia gęstości objętościowej metodą statystyczną skał dla otworu wiertniczego Poddębice FIG 2

Dla porównania przedstawiono wyniki pomiarów gęstości objętościowej (kropki) oraz właściwej (krzyżyki) uzyskane na podstawie badań laboratoryjnych

Bulk density of rocks, calculated by a statistical method (curve) for the Poddębice FIG 2 borehole

Results of laboratory measurements of bulk density (circles) and specific density (crosslets) are presented for comparison

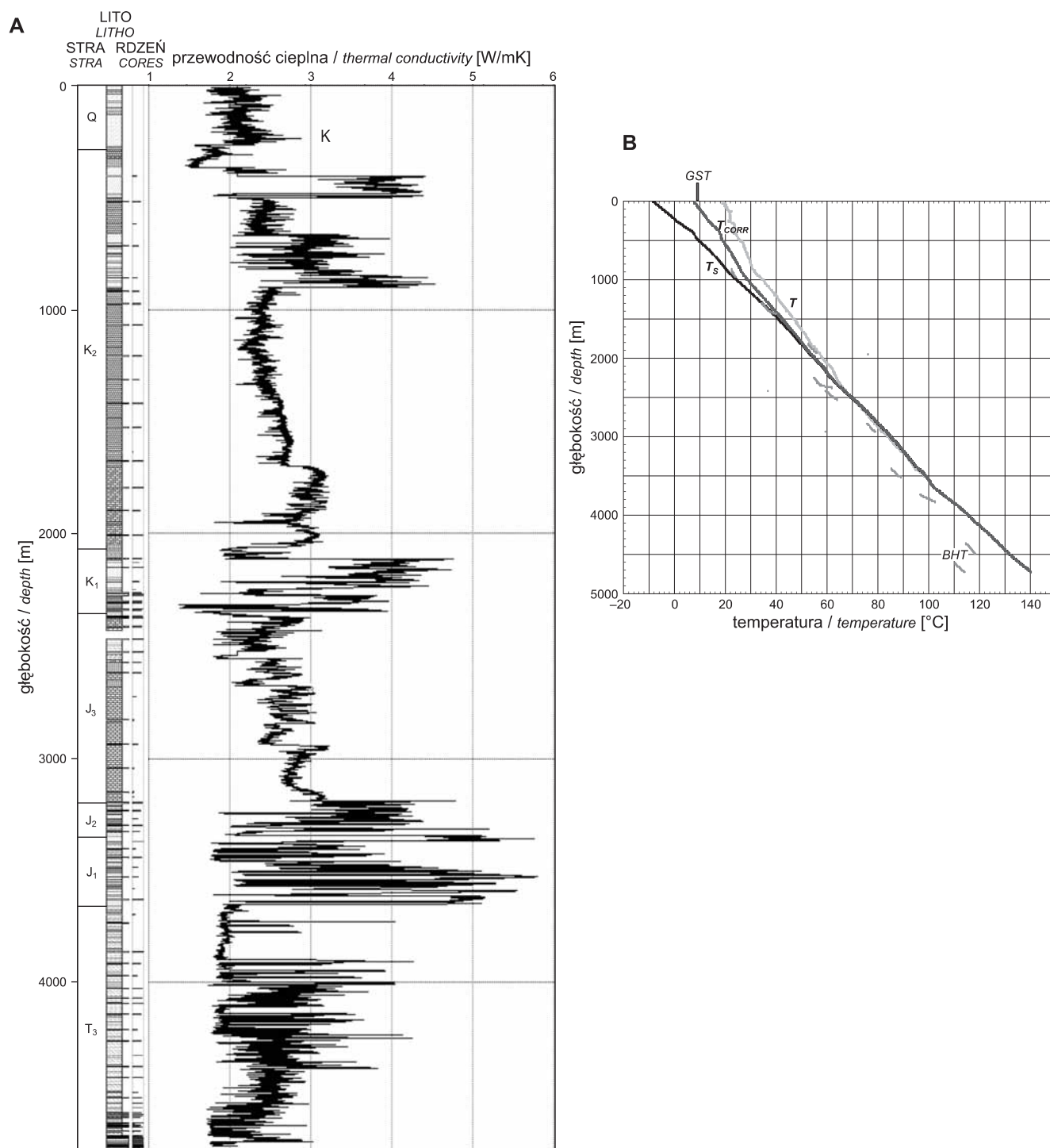


Fig. 36. Przewodność cieplna (A) i charakterystyka termiczna (B) dla otworu wiertniczego Podgębice PIG 2

T – zarejestrowana wartość temperatury dla warunków zbliżonych do ustalonych, T_s – temperatura syntetyczna (paleotemperatura) obliczona na podstawie przewodności termicznej skał (K) oraz stałej określonej wielkości strumienia cieplnego unormowanego do warunków klimatu ostatniego zlodowacenia (Szewczyk, Gientka, 2009), GST – temperatura powierzchni ziemi, T_{CORR} – wartość temperatury profilowania, BHT – temperatura zarejestrowana w trakcie badań strefowych w warunkach niestabilizowanych

Thermal conductivity (A) and thermal data (B) in the Podgębice PIG 2 borehole

T – temperature recorded for near stable conditions, T_s – synthetic temperature (paleotemperature) calculated based on thermal conductivity of rocks (K) and constant heat flow value normalised to the last glaciation climatic conditions (Szewczyk, Gientka, 2009), GST – ground surface temperature, T_{CORR} – corrected temperature, BHT – temperature recorded during interval tests in unstable conditions

gicznych przedstawiono w rozdziale „Wyniki badań poziomów zbiornikowych”. Przy wyborze interwałów do opróbowania kierowano się głównie wynikami badań geofizycznych.

Na [figurze 36A](#) przedstawiono zgeneralizowany warstwowy profil właściwości filtracyjnych wraz z podziałem na warstwy wodonośne oraz izolacyjne. Pokazano równocześnie lokalizację stref z wykonanymi badaniami hydrogeologicznymi, w których uzyskano przepływ wód złożowych. Na [figurze 36B](#) przedstawiono wyniki badań mineralizacji wód złożowych, uzyskanych z otworu wiertniczego Poddębice PIG 2, na tle rozkładu tego parametru uzyskanego w otworach ba-

dawczych i poszukiwawczych dla obszaru Niżu Polskiego (Bojarski i in., 1996; Szewczyk, 2006). Zaprezentowano wykres wartości średniej mineralizacji obliczony metodą najmniejszych kwadratów. Może on być traktowany jako układ odniesienia w stosunku do wartości mineralizacji w badanych poziomach wodonośnych. Wyniki pomiarów z otworu wiertniczego Poddębice PIG 2 wskazują, że mineralizacje wód w badanych poziomach charakteryzują się wyraźnie innym wysłodzeniem w stosunku do typowych wód mezozoicznych z obszaru Niżu Polskiego.

PODSUMOWANIE

Wyniki badań geofizycznych wykonanych w otworze wiertniczym Poddębice PIG 2 stanowią istotny element rozpoznania utworów piętra osadowego na obszarze centralnej części Niżu Polskiego. Omawiany otwór wiertniczy był jednym z ostatnich głębokich otworów badawczych w całości zrealizowanych w ramach prac badawczych Państwowego Instytutu Geologicznego z zastosowaniem klasycznej analogowej techniki badań. Uzyskane wyniki stanowią „pomost” między wynikami uzyskanymi we wcześniej wykonanych otworach badawczych a późniejszymi badaniami uzyskiwanymi z zastosowaniem współczesnej cyfrowej aparatury badawczej firmy Halliburton.

Należy podkreślić, że prezentowane wyniki należy traktować jako wstępny wariant wyników interpretacyjnych, m.in. z powodu niskiego stopnia szczegółowości wykonanych prac interpretacyjnych prezentowanych w niniejszym opracowaniu – głównie ze względu na postawiony cel badawczy, tj. uzyskania podstawowych informacji na temat uproszczonego modelu litologiczno-petrofizycznego skał występujących w profilu. Niezbędny dalszy rozwój metodyki prac interpretacyjnych ukierunkowanych na kompleksową interpretację archiwalnych danych geofizycznych umożliwi uzyskanie sukcesywnego, pełniejszego rozpoznania profilu głębokiego otworu wiertniczego Poddębice PIG 2.

Waldemar JÓŹWIAK, Lidia DZIEWIŃSKA

POMIAR PRĘDKOŚCI ŚREDNICH

W otworze wiertniczym Poddębice PIG 2 prace pomiarowe prędkości średnich oraz profilowania akustycznego wykonana w 1992 roku Grupa Sejsmometrii Wiertniczej PGNiG Geofizyka Toruń. Pomiary wykonano metodą bezdynamitową, przy użyciu aparatury CS-5G.

Zakres głębokości pomiaru prędkości średnich wynosił 120,0–4710,0 m, a interwał pomiaru profilowania akustycznego 400,0–4725,0 m. Całkowita głębokość otworu wiertniczego wynosi 4730,0 m. Można zatem przyjąć, że pomiary obejmują cały zakres głębokości otworu wiertniczego i dotyczą utworów od kenozoiku przez kredę, jurę do triasu górnego.

Prace prowadzono z trzech punktów wzbudzenia (PS), przy założeniu poziomym odniesienia pomiaru 0,0 m n.p.m. ([tab. 12](#)).

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

Przy interpretacji uwzględniono również wyniki profilowania akustycznego, skalibrowane według hodografu prędkości średnich.

Do obliczenia krzywej prędkości średnich przyjęto jako poziom odniesienia poziom pomiaru, czyli 0,0 m n.p.m., przy wysokości otworu wynoszącej 101,0 m n.p.m.

Tabela 12

Parametry pomiarów prędkości średnich

Average velocity measurement parameters

Punkt wzbudzenia	1	2	3
Interwał [m]	15	15	15
Głębokość początkowa	120	120	120
Głębokość końcowa	4710	4710	4710
Liczba punktów pomiarowych	307	307	307
Odległość punktu wzbudzenia od głębokiego otworu [m]	50	55	100
Azymut w stopniach, kierunek – PS	120	240	360
Niwelacja wysokości PS w stosunku do wylotu głębokiego otworu [m]	0	0	0
Głębokość wzbudzenia [m]	0	0	0

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;
- h – głębokość zanurzenia geofonu głębinowego;
- h_{po} – średnia głębokość wzbudzenia;
- N – wysokość względem punktu strzałowego w stosunku do otworu wiertniczego;
- Δh – różnica głębokości między h_{po} i poziomem odniesienia w metrach.

Czas obserwowany (t_{obs}) na sejsmogramach przeliczono na czas poprawiony (t_p) zgodnie ze wzorem:

$$t_p = t_{obs} - \Delta th$$

gdzie:

- t_p – czas poprawiony;
- t_{obs} – czas obserwowany;
- Δth – 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 liczone na podstawie wzoru:

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

gdzie:

- t_r – czas zredukowany;
- h_r – głębokość zredukowana punktu pomiarowego;
- t_p – czas poprawiony;
- d – odległość punktu strzałowego od głębokiego otworu.

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:

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

gdzie:

- V_{sr} – prędkość średnia;
- h_r – głębokość zredukowana punktu pomiarowego;
- t_r – czas zredukowany;

Wszystkie wartości h_r , t_r oraz V_{sr} , zestawiono w tabeli 13. Obliczenia wykonano przy pomocy odpowiedniego programu komputerowego.

Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do konstrukcji krzywych prędkości średnich (fig. 37A) i hodografu pionowego (fig. 37B). Do wykreślenia krzywej prędkości średnich wykorzystano wartości uśrednione z poszczególnych punktów wzbudzenia.

Przedstawiony na figurze 37B 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

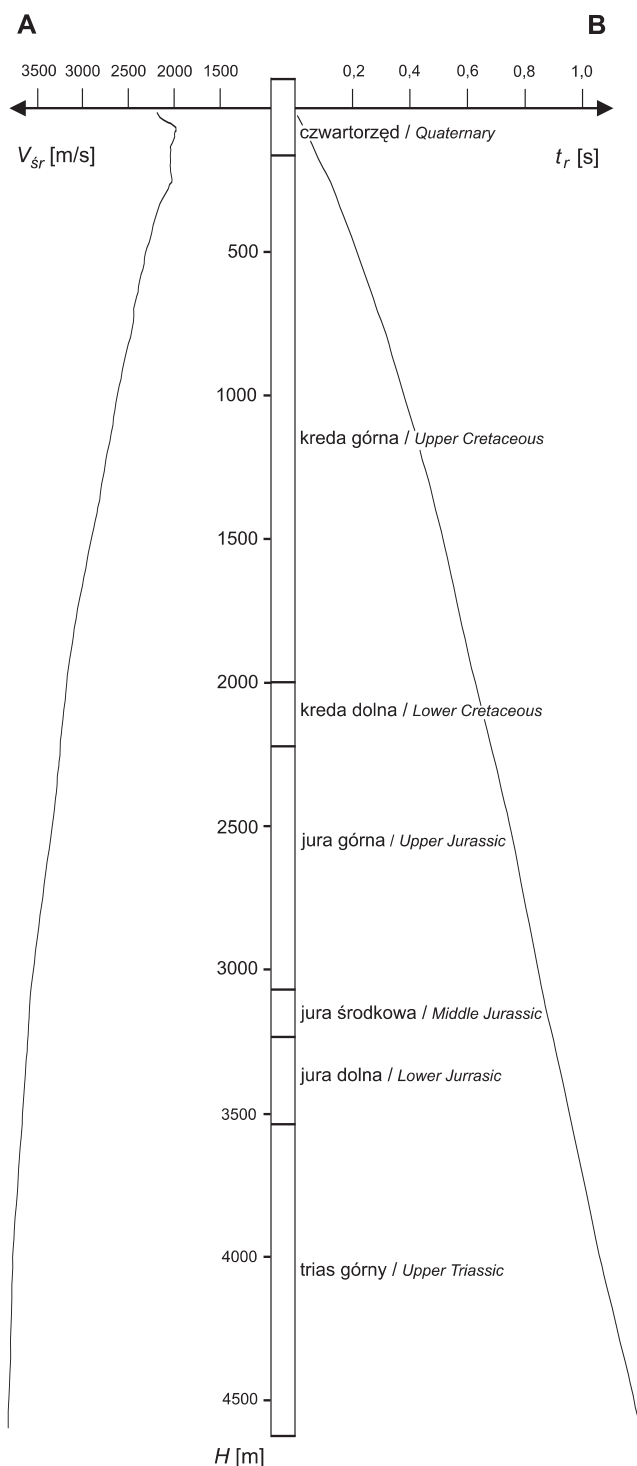


Fig. 37. Wykres prędkości średnich (A) i hodograf pionowy (B)

t_r – średni czas zredukowany, V_{sr} – prędkość średnia, h – głębokość; poziom odniesienia 0,0 m n.p.m.

Average seismic velocity (A) and travel-time curve (B)

t_r – average reduced time, V_{sr} – average velocity, h – depth; reference level 0,0 m a.s.l.

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 filtry 0,25; 0,5 i 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 zostały zmniejszone przypadkowe skoki wartości spowodowane ich zaokrągleniem do 1 ms lub błędami pomiarowymi. Kolejne powtarzanie wymienionych wyżej operacji powodowało 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 Państwowego Instytutu Geologicznego na potrzeby interpretacji prac sejsmicznych.

Różnice wartości 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 wydzielają 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.

Zestawienie uśrednionych wartości V_w (prędkość wygładzona), V_i (prędkość interwałowa) i V_k (prędkość kompleksowa) obliczonych z pomiarów czasu wygładzonego zawiera [tabela 14](#). Krzywe prędkości wygładzonych, interwałowych i kompleksowych przedstawiono na [figurze 38](#).

Profil otworu wiertniczego Poddębice PIG 2 reprezentują osady kenozoiku, kredy górnej i dolnej, jury górnej, środkowej i dolnej oraz triasu górnego. Hodograf pionowy wskazuje na typową zależność między wzrostem głębokości a czasem rejestracji. Z wykresu prędkości średnich wynika, że w otworze wiertniczym Poddębice PIG 2 zaznacza się stały, początkowo nieco większy, a następnie liniowy wzrost prędkości wraz z głębokością, o wyraźnym załamaniu krzywej na głębokości około 1600 m.

Utwory kenozoiku i stropową warstwę kredy górnej charakteryzuje stała prędkość około 2150 m/s, po czym następuje znaczny wzrost wartości kompleksowej do około 2750 m/s. Utwory kredy górnej odznaczają się dużym zróżnicowaniem prędkości w szerokim przedziale wartości od

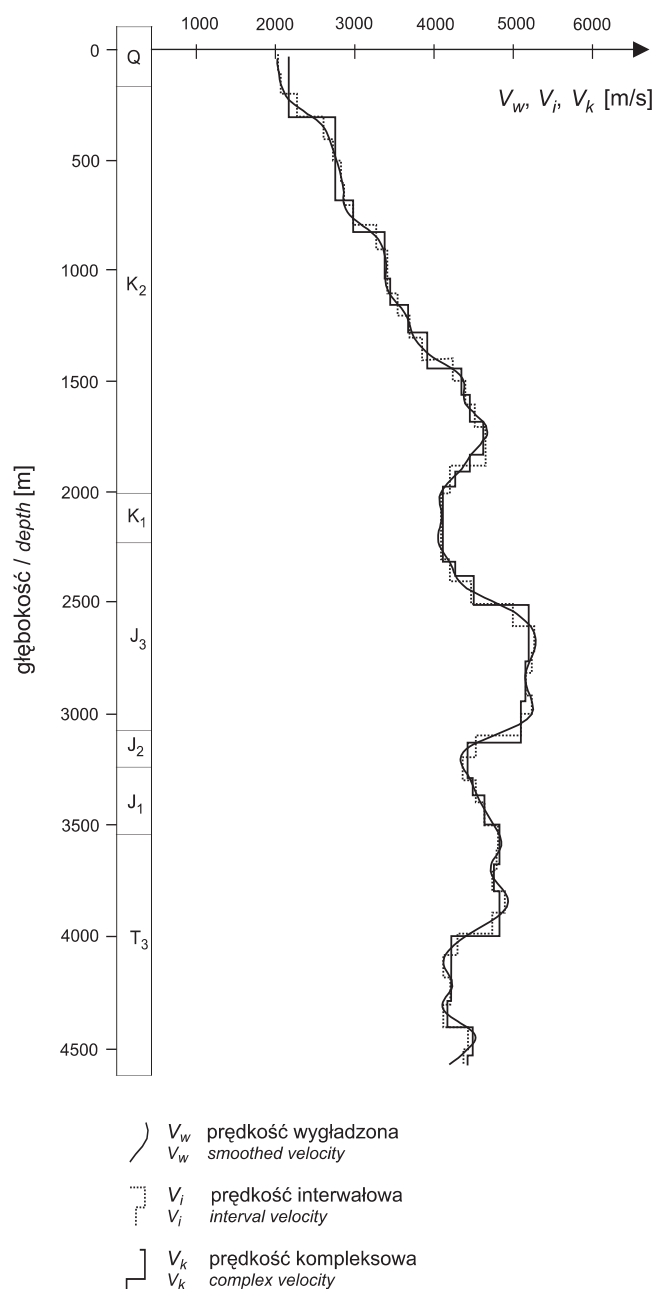


Fig. 38. Wykresy prędkości wygładzonych (V_w), interwałowych (V_i) i kompleksowych (V_k)

Poziom odniesienia wylotu otworu 101,0 m n.p.m.

Smoothed (V_w), interval (V_i) and complex (V_k) velocities

Reference level 101.0 m a.s.l.

2150 do 4650 m/s, co wiąże się m.in. z ich urozmaiconym wykształceniem litologicznym. Widoczny w utworach kampanu kontrast prędkości na wymienionej granicy pozwala wyodrębnić w kredzie kompleks górny, o wyraźnie niższych wartościach prędkości w stosunku do pozostałych utworów kredy górnej. Następnie stopniowy i systematyczny wzrost kontynuuje się poprzez średnie wartości 3000, 3350, 3450, 3650, 3900 m/s, aż do wartości 4350, 4450 i 4650 m/s, obejmując całą środkową część marglisto-ilasto-wapiennych

utworów kredy górnej. Trzy ostatnie najwyższe wartości pozwalają wydzielić w obrębie tej serii kompleks związany z osadami turonu o miąższości około 400 m, charakteryzujący się przewagą skał węglanowych.

Na wykresie, na głębokości około 1840 m obserwuje się pierwsze obniżenie wartości prędkości kompleksowej do około 4400 m/s i kolejne odpowiednio do 4250 i 4100 m/s, obejmujące warstwy dolne kredy górnej i utwory kredy dolnej oraz górne warstwy jury górnej. W utworach jury górnej, środkowej i dolnej na krzywych prędkości interwałowych i kompleksowych oraz średnich obserwuje się zróżnicowanie, odzwierciedlające zmienność ich litologicznego wykształcenia. W obrębie utworów jury zaznaczają się dwa główne kompleksy prędkościowe. Wysokie wartości prędkości 5200–5100 m/s zarejestrowane na krzywej w interwale 2540,00–3120,00 m wyróżniają wapienny kompleks oksfordu oraz część wapienną kimerydu dolnego. Niższe wartości (4250 i 4500 m/s) charakteryzują leżący powyżej kompleks utworów jury górnej, co jest uzasadnione ich marglisto-ilastym wykształceniem, oraz leżący poniżej o stosunkowo małych miąższościach kompleks osadów jury środkowej i jury dolnej o przekroju ilasto-piaszczystym i prędkościach kompleksowych kształtujących się w granicach 4400–4500 m/s dla utworów jury środkowej i odpowiednio 4650–8400 m/s dla jury dolnej.

Od głębokości około 3500 m zaznacza się stopniowy wzrost wartości prędkości interwałowych i kompleksowych, spowodowany zwiększonym udziałem skał piaszczystych triasu górnego. Wykres prędkości odpowiadający utworom triasu górnego jest trójdzielny. Kompleks leżący najwyżej, charakteryzujący się prędkością 4750–4800 m/s, występuje do głębokości około 4000 m i zaznacza granicę stratygraficzną między utworami jury i triasu. Poniżej następuje spadek wartości do około 4200 m/s, obejmujący warstwę o miąższości około 440 m, co prawdopodobnie jest uzasadnione wzrostem zawartości materiału ilastego. Ostatni kompleks o wzroście wartości do około 4450 m/s odpowiada warstwowi górnej serii gipsowej.

Wykonany pomiar dostarcza danych do głębokościowej interpretacji profili sejsmicznych. Obserwując różnice w prędkościach kompleksowych, można się spodziewać występowania granic odbijających w utworach kredy górnej oraz jury górnej. Sugerują to występujące zmiany w prędkościach interwałowych i kompleksowych. Przedstawiony materiał świadczy o stosunkowo małych zmiennościach prędkości w otoczeniu rozpatrywanego otworu wiertniczego.

W utworach kredy górnej występuje granica związana z wapieniami turonu. W obrębie warstw jurajskich stwierdzono ośrodki cienkowarstwowe o niedużych kontrastach prędkości. Rozkład prędkości kompleksowych nie sprzyja powstawaniu silnych odbić poza wyróżniającym się kompleksem w jurze górnej, dającym najwyraźniejszą granicę związaną z przystropową częścią jury górnej. Utwory ilasto-mułowcowo-piaszczyste jury środkowej, dolnej oraz triasu górnego są mało kontrastowe pod względem odbicia fal sejsmicznych, tym nie mniej poziomy te znajdują swoje słabe odzwierciedlenie w obrazie sejsmicznym. Są to: granica spąg jury górnej /strop jury środkowej, granice wewnątrz jury środkowej i jury dolnej oraz strop triasu.

Tabela 13

Zestawienie wartości średniego czasu zredukowanego (t_r), prędkości średniej (V_{sr}) i głębokości (h)Average values of reduced time (t_r), average velocity (V_{sr}) and depth (h)

Głębokość h [m]	Czas zredukowany z punktu pomiarowego 1 t_{r1} [s]	Czas zredukowany z punktu pomiarowego 2 t_{r2} [s]	Czas zredukowany z punktu pomiarowego 3 t_{r3} [s]	Średni czas zredukowany $t_{r\,sr}$ [s]	Prędkość średnia V_{sr} [m/s]
1	2	3	4	5	6
19	0,0080	0,0080	0,01000	0,0087	2192
34	0,0150	0,0150	0,0170	0,0157	2170
49	0,0230	0,0230	0,0240	0,0233	2100
64	0,0310	0,0310	0,0330	0,0317	2021
79	0,0390	0,0390	0,0420	0,0400	1975
94	0,0460	0,0460	0,0490	0,0470	2000
109	0,0540	0,0530	0,0570	0,0547	1994
124	0,0610	0,0600	0,0640	0,0617	2011
139	0,0680	0,0660	0,0710	0,0683	2034
154	0,0750	0,0740	0,0770	0,0753	2044
169	0,0820	0,0820	0,0850	0,0830	2036
184	0,0900	0,0880	0,0920	0,0900	2044
199	0,0970	0,0960	0,1000	0,0977	2038
214	0,1040	0,1030	0,1070	0,1047	2045
229	0,1110	0,1100	0,1140	0,1117	2051
244	0,1190	0,1180	0,1230	0,1200	2033
259	0,1270	0,1260	0,1310	0,1280	2023
274	0,1330	0,1320	0,1360	0,1337	2050
289	0,1390	0,1380	0,1420	0,1397	2069
304	0,1440	0,1440	0,1470	0,1450	2097
319	0,1490	0,1490	0,1520	0,1500	2127
334	0,1540	0,1540	0,1580	0,1553	2150
349	0,1590	0,1590	0,1640	0,1607	2172
364	0,1650	0,1650	0,1700	0,1667	2184
379	0,1710	0,1700	0,1760	0,1723	2199
394	0,1770	0,1760	0,1810	0,1780	2213
409	0,1830	0,1820	0,1860	0,1837	2227
424	0,1890	0,1880	0,1920	0,1897	2236
439	0,1940	0,1940	0,1970	0,1950	2251
454	0,2000	0,2000	0,2030	0,2010	2269
469	0,2060	0,2050	0,2080	0,2063	2273
484	0,2110	0,2100	0,2130	0,2113	2290
499	0,2160	0,2150	0,2180	0,2163	2307
514	0,2220	0,2200	0,2230	0,2217	2319

Tabela 13 cd.

1	2	3	4	5	6
529	0,2270	0,2250	0,2290	0,2270	2330
544	0,2330	0,2310	0,2350	0,2330	2335
559	0,2390	0,2370	0,2400	0,2387	2342
574	0,2440	0,2420	0,2450	0,2437	2356
589	0,2490	0,2470	0,2500	0,2487	2369
604	0,2540	0,2520	0,2550	0,2537	2381
619	0,2590	0,2580	2,2600	0,2590	2390
634	0,2640	0,2640	0,2660	0,2647	2395
649	0,2690	0,2700	0,2710	0,2700	2404
664	0,2740	0,2740	0,2760	0,2747	2417
679	0,2790	0,2780	0,2810	0,2793	2431
694	0,2840	0,2830	0,2860	0,2843	2441
709	0,2900	0,2880	0,2910	0,2897	2448
724	0,2960	0,2940	0,2970	0,2957	2449
739	0,3020	0,3000	0,3040	0,3020	2447
754	0,3070	0,3060	0,3090	0,3073	2453
769	0,3120	0,3110	0,3140	0,3123	2462
789	0,3170	0,3160	0,3180	0,3170	2473
799	0,3220	0,3210	0,3230	0,3220	2481
814	0,3260	0,3250	0,3270	0,3260	2497
829	0,3300	0,3300	0,3320	0,3307	2507
844	0,3340	0,3350	0,3360	0,3350	2519
859	0,3390	0,3390	0,3400	0,3393	2531
874	0,3440	0,3430	0,3440	0,3437	2543
889	0,3480	0,3470	0,3490	0,3480	2555
904	0,3530	0,3520	0,3530	0,3527	2563
919	0,3580	0,3580	0,3570	0,3577	2569
934	0,3620	0,3620	0,3620	0,3620	2580
949	0,3660	0,3660	0,3670	0,3663	2591
964	0,3700	0,3700	0,3710	0,3703	2603
979	0,3740	0,3750	0,3750	0,3747	2623
994	0,3790	0,3790	0,3790	0,3990	2623
1009	0,3830	0,3830	0,3840	0,3833	2632
1024	0,3880	0,3880	0,3880	0,3880	2639
1039	0,3930	0,3920	0,3920	0,3923	2648
1054	0,3970	0,960	0,3970	0,3967	2657
1069	0,4010	0,4000	0,4020	0,4010	2666
1084	0,4050	0,4050	0,4070	0,4057	2672
1099	0,4100	0,4100	0,4120	0,4107	2676

Tabela 13 cd.

1	2	3	4	5	6
1114	0,4140	0,4150	0,4160	0,4150	2684
1129	0,4190	0,4200	0,4210	0,4200	2688
1144	0,4230	0,4240	0,4240	0,4237	2700
1159	0,4270	0,4280	0,4280	0,4277	2710
1174	0,4310	0,4320	0,4320	0,4317	2720
1189	0,4350	0,4360	0,4360	0,4357	2729
1204	0,4390	0,4400	0,4400	0,4397	2738
1219	0,4430	0,4440	0,4440	0,4437	2748
1234	0,4470	0,4480	0,4480	0,4477	2757
1249	0,4510	0,4520	0,4520	0,4517	2765
1264	0,4560	0,4570	0,4560	0,4563	2770
1279	0,4600	0,4610	0,4600	0,4603	2778
1294	0,1640	0,4640	0,4640	0,4640	2789
1309	0,1680	0,4680	0,4680	0,4680	2797
1324	0,4720	0,4720	0,4730	0,4723	2803
1339	0,4750	0,4760	0,4770	0,4760	2813
1354	0,4790	0,4800	0,4810	0,4800	2821
1369	0,4830	0,4840	0,4850	0,4840	2829
1384	0,4870	0,4880	0,4890	0,4880	2836
1399	0,4910	0,4920	0,4930	0,4920	2843
1414	0,4950	0,4960	0,4960	0,4957	2853
1429	0,4990	0,5000	0,4990	0,4993	2862
1444	0,5030	0,5040	0,5020	0,5031	2871
1459	0,5060	0,5080	0,5050	0,5063	2882
1474	0,5090	0,5110	0,5080	0,5093	2894
1489	0,5120	0,5140	0,5120	0,5127	2904
1504	0,5150	0,5170	0,5150	0,5157	2917
1519	0,5190	0,5200	0,5190	0,5193	2925
1534	0,5220	0,5230	0,5230	0,5227	2935
1549	0,5250	0,5270	0,5260	0,5260	2945
1564	0,5290	0,5300	0,5290	0,5293	2955
1579	0,5330	0,5330	0,5320	0,5327	2964
1594	0,5370	0,5370	0,5360	0,5367	2970
1609	0,5400	0,5410	0,5400	0,5403	2978
1624	0,5430	0,5450	0,5430	0,5437	2987
1639	0,5470	0,5490	0,5470	0,5477	2993
1654	0,5370	0,5370	0,6360	0,5367	2970
1669	0,5530	0,5550	0,5530	0,5537	3014
1684	0,5570	0,5580	0,5560	0,5570	3023

Tabela 13 cd.

1	2	3	4	5	6
1699	0,5600	0,5610	0,5590	0,5600	3034
1714	0,5630	0,5640	0,5620	0,5630	3044
1729	0,5660	0,5670	0,5650	0,5660	3055
1744	0,5700	0,5700	0,5680	0,5693	3063
1759	0,5730	0,5730	0,5710	0,5723	3073
1774	0,5760	0,5760	0,5750	0,5757	3082
1789	0,5790	0,5790	0,5790	0,5790	3090
1804	0,5820	0,5820	0,5820	0,5820	3100
1819	0,5860	0,5850	0,5830	0,5847	3111
1834	0,5900	0,5890	0,5880	0,5890	3114
1849	0,5930	0,5930	0,5920	0,5927	3120
1864	0,5960	0,5970	0,5950	0,5960	3128
1879	0,6000	0,6000	0,5980	0,5993	3135
1894	0,6030	0,6040	0,6020	0,6030	3141
1909	0,6060	0,6070	0,6050	0,6060	3150
1924	0,6090	0,6100	0,6080	0,6090	3159
1939	0,6120	0,6130	0,6120	0,6123	3167
1954	0,6160	0,6170	0,6150	0,6160	3172
1969	0,6200	0,6210	0,6180	0,6197	3178
1984	0,6240	0,6240	0,6220	0,6233	3183
1999	0,6280	0,6280	0,6260	0,6273	3187
2014	0,6320	0,6320	0,6300	0,6313	3190
2029	0,6360	0,6360	0,6340	0,6353	3194
2044	0,6390	0,6400	0,6380	0,6390	3199
2059	0,6420	0,6440	0,6420	0,6427	3204
2074	0,6450	0,6480	0,6450	0,6460	3211
2089	0,6490	0,6520	0,6480	0,6497	3215
2104	0,6530	0,6550	0,6510	0,6530	3222
2119	0,6570	0,6580	0,6550	0,6567	3227
2134	0,6600	0,6620	0,6590	0,6630	3232
2149	0,6640	0,6660	0,6630	0,6643	3235
2164	0,6680	0,6700	0,6660	0,6680	3240
2179	0,6710	0,6740	0,6700	0,6717	3244
2194	0,6750	0,6770	0,6730	0,6750	3250
2209	0,6780	0,6800	0,6770	0,6783	3257
2224	0,6820	0,6840	0,6810	0,6823	3259
2239	0,6860	0,6880	0,6850	0,6863	3262
2254	0,6900	0,6920	0,6890	0,6903	3265
2269	0,6940	0,6960	0,6930	0,6943	3268

Tabela 13 cd.

1	2	3	4	5	6
2284	0,6980	0,7000	0,6970	0,6983	3271
2299	0,7020	0,7031	0,7010	0,7020	3275
2314	0,7040	0,7060	0,7040	0,7047	3284
2329	0,7070	0,7090	0,7070	0,7077	3291
2344	0,7110	0,7130	0,7110	0,7117	3294
2359	0,7150	0,7160	0,7150	0,7153	3298
2374	0,7180	0,7190	0,7180	0,7183	3305
2389	0,7210	0,7230	0,7210	0,7217	3310
2404	0,7250	0,7270	0,7250	0,7257	3313
2419	0,7290	0,7310	0,7290	0,7297	3315
2434	0,7330	0,7350	0,7330	0,7337	3318
2449	0,7370	0,7390	0,7360	0,7373	3321
2464	0,7400	0,7420	0,7390	0,7403	3328
2479	0,7430	0,7450	0,7420	0,7433	3335
2494	0,7460	0,7580	0,7450	0,7463	3342
2509	0,7490	0,7510	0,7480	0,7493	3348
2524	0,7520	0,7540	0,7510	0,7523	3355
2539	0,7550	0,4570	0,7550	0,7557	3360
2554	0,7580	0,7600	0,7580	0,7587	3366
2569	0,7610	0,7630	0,7610	0,7617	3373
2584	0,7640	0,7650	0,7640	0,7643	3381
2599	0,7660	0,7680	0,7670	0,7670	3389
2614	0,7690	0,7710	0,7700	0,7700	3395
2629	0,7720	0,7740	0,7730	0,7730	3401
2644	0,7750	0,7770	0,7750	0,7757	3409
2659	0,7780	0,7790	0,7780	0,7783	3416
2674	0,7810	0,7820	0,7810	0,7813	3422
2689	0,7840	0,7850	0,7840	0,7843	3428
2704	0,7860	0,7880	0,7860	0,7867	3437
2719	0,7890	0,7910	0,7890	0,7897	3443
2734	0,7910	0,7940	0,7920	0,7923	3451
2749	0,7940	0,7970	0,7950	0,7953	3456
2764	0,7970	0,8000	0,7980	0,7983	3462
2779	0,8000	0,8030	0,8010	0,8013	3468
2794	0,8020	0,8050	0,8040	0,8037	3477
2809	0,8060	0,8080	0,8060	0,8067	3482
2824	0,8090	0,8100	0,8090	0,8097	3488
2839	0,8120	0,8140	0,8120	0,8127	3493
2854	0,8450	0,8170	0,8150	0,8157	3499

Tabela 13 cd.

1	2	3	4	5	6
2869	0,8180	0,8200	0,8180	0,8187	3504
2884	0,8210	0,8230	0,8210	0,8217	3510
2899	0,8240	0,8260	0,8240	0,8247	3515
2914	0,8270	0,8280	0,8270	0,8273	3522
2929	0,8300	0,8310	0,8300	0,8303	3527
2944	0,8330	0,8340	0,8320	0,8330	3534
2959	0,8350	0,8370	0,8350	0,8357	3541
2974	0,8380	0,8400	0,8380	0,8337	3546
2989	0,8410	0,8430	0,8410	0,8417	3551
3004	0,8440	0,8460	0,8440	0,8447	3556
3019	0,8470	0,8490	0,8470	0,8477	3562
3034	0,8500	0,8510	0,8490	0,8500	3569
3049	0,8520	0,8540	0,8520	0,8527	3576
3064	0,8550	0,8570	0,8540	0,8553	3582
3079	0,8580	0,8600	0,8570	0,8583	3587
3094	0,8610	0,8630	0,8600	0,8613	3592
3109	0,8640	0,8660	0,8630	0,8643	3597
3124	0,8670	0,8680	0,8670	0,8673	3602
3139	0,8700	0,8710	0,8700	0,8703	3607
3154	0,8730	0,8750	0,8730	0,8737	3610
3169	0,8770	0,8790	0,8770	0,8777	3611
3184	0,8810	0,8830	0,8810	0,8817	3611
3199	0,8850	0,8870	0,8840	0,8853	3613
3214	0,8880	0,8910	0,8870	0,8887	3617
3229	0,8920	0,8950	0,8900	0,8923	3619
3244	0,8950	0,8990	0,8940	0,8960	3621
3259	0,8990	0,9020	0,8980	0,8997	3622
3274	0,9020	0,9050	0,9010	0,9027	3627
3289	0,9050	0,9080	0,9040	0,9057	3632
3304	0,9080	0,9110	0,9070	0,9087	3636
3319	0,9120	0,9140	0,9110	0,9123	3638
3334	0,9150	0,9170	0,9150	0,9157	3641
3349	0,9190	0,9210	0,9190	0,9117	3642
3364	0,9220	0,9250	0,9220	0,9230	3645
3379	0,9250	0,9280	0,9250	0,9260	3649
3394	0,9280	0,9310	0,9280	0,9290	3653
3409	0,9310	0,9350	0,910	0,9323	3656
3424	0,9350	0,9380	0,9340	0,9357	3659
3439	0,9380	0,9410	0,9380	0,9390	3662

Tabela 13 cd.

1	2	3	4	5	6
3454	0,9410	0,9440	0,9410	0,9420	3667
3469	0,9450	0,9480	0,9440	0,9457	3668
3484	0,9480	0,9510	0,9480	0,9490	3671
3499	0,9510	0,9540	0,9510	0,9520	3675
3514	0,9540	0,9570	0,9540	0,9550	3680
3529	0,9570	0,9600	0,9570	0,9580	3684
3544	0,9600	0,9630	0,9600	0,9610	3688
3559	0,9630	0,9660	0,9640	0,9643	3691
3574	0,9670	0,9690	0,9680	0,9680	3692
3589	0,9700	0,9720	0,9710	0,9710	3696
3604	0,9720	0,9750	0,9740	0,9737	3701
3619	0,9750	0,9780	0,9760	0,9763	3707
3634	0,9780	0,9810	0,9790	0,9793	3711
3649	0,9810	0,9840	0,9820	0,9823	3715
3664	0,9850	0,9870	0,9850	0,9857	3717
3679	0,9880	0,9900	0,9880	0,9887	3721
3694	0,9910	0,9930	0,9910	0,9917	3725
3709	0,9950	0,9970	0,9950	0,9957	3725
3724	0,9980	1,0010	0,9980	0,9990	3728
3739	1,0010	1,0040	1,0010	1,0020	3732
3754	1,0050	1,0070	1,0040	1,0053	3734
3769	1,0080	1,0100	1,0080	1,0087	3737
3784	1,0110	1,0130	1,0110	1,0117	3740
3799	1,0140	1,0160	1,0140	1,0147	3744
3814	1,0170	1,0190	1,0170	1,0177	3748
3829	1,0200	1,0220	1,0200	1,0207	3735
3844	1,0230	1,0250	1,0230	1,0237	3755
3859	1,0260	1,0280	1,0260	1,0267	3759
3874	1,0290	1,0310	1,0290	1,0297	3762
3889	1,0320	1,0340	1,0320	1,0327	3766
3904	1,0350	1,0370	1,0350	1,0357	3770
3919	1,0380	1,0400	1,0380	1,0387	3773
3934	1,0410	1,0430	1,0410	1,0417	3777
3949	1,0440	1,0460	1,0440	1,0447	3780
3964	1,0470	1,0490	1,0470	1,0477	3784
3979	1,0500	1,0520	1,0500	1,0570	3787
3994	1,0530	1,0560	1,0530	1,0540	3789
4009	1,056	1,0590	1,0570	1,0573	3792
4024	1,0600	0,0620	1,0610	1,0610	3793

Tabela 13 cd.

1	2	3	4	5	6
4039	1,6040	1,0660	1,0650	1,0650	3792
4054	1,0680	1,0690	1,0690	1,0987	3794
4069	1,0710	1,0730	1,0720	1,0720	3796
4084	1,0740	1,0760	1,0760	1,0753	3798
4099	1,0770	1,0800	1,0790	1,0787	3800
4114	1,0810	1,0830	1,0820	1,0820	3802
4129	1,0850	1,0870	1,0860	1,0860	3802
4144	1,0890	1,0910	1,0900	1,0900	3802
4159	1,0930	1,0950	1,0940	1,0940	3802
4174	0,0970	1,0990	1,0980	1,0980	3801
4189	1,1010	1,1030	1,1020	1,1020	3801
4204	1,1040	1,1070	1,1050	1,1053	3803
4219	1,1080	1,1000	1,1090	1,1090	3804
4234	1,1110	1,1130	1,1120	1,1120	3808
4249	1,1140	1,1160	1,1150	1,1150	3811
4264	1,1170	1,1190	1,1180	1,1180	3814
4279	1,1200	1,1230	1,1210	1,1213	3816
4294	1,1240	1,1260	1,1250	1,1250	3817
4309	1,1280	1,1300	1,1290	1,1290	3817
4324	1,1320	1,1340	4,1330	1,1330	3816
4339	1,1360	1,1380	1,1370	1,1370	3816
4354	1,1400	1,1420	1,1410	1,1410	3816
4369	1,1440	1,1460	1,1450	1,1450	3816
4384	1,1480	1,1490	1,1490	1,1387	3817
4399	1,1520	1,1530	1,1520	1,1523	3817
4414	1,1550	1,1570	1,1550	1,1557	3819
4429	1,1590	1,1600	1,1590	1,1593	3820
4444	1,1610	1,1630	1,1620	1,1620	3824
4459	1,1640	1,1660	1,1650	1,1650	3827
4474	1,1680	1,1690	1,1690	1,1687	3828
4489	1,1710	1,1730	1,1720	1,1720	3830
4504	1,1740	1,1760	1,1750	1,1750	3833
4519	1,1770	1,1790	1,1780	1,1780	3836
4534	1,1800	1,1820	1,1800	1,1807	3840
4549	1,1830	1,1850	1,1830	1,1837	3843
4564	1,1870	1,1890	1,1870	1,1877	3843
4579	1,1910	1,1930	1,1910	1,1917	3843
4594	1,1950	1,1970	1,1950	1,1957	3842
4609	1,1980	1,1980	1,1990	1,1983	3846

Tabela 14

Zestawienie uśrednionych wartości prędkości interwałowej (V_i), kompleksowej (V_k) i wygładzonej (V_w) obliczonych z czasu wygładzonego

Averaged interval (V_i), complex (V_k) and smoothed (V_w) velocities calculated from smoothed time

Głębokość H [m]	Prędkość interwałowa V_i [m/s]	Prędkość kompleksowa V_k [m/s]	Prędkość wygładzona V_w [m/s]
1	2	3	4
20	2027	2131	
40	2027	2131	2025
60	2027	2131	2026
80	2027	2131	2030
100	2027	2131	2037
120	2069	2131	2047
140	2069	2131	2059
160	2069	2131	2073
180	2069	2131	2093
200	2069	2131	2123
220	2267	2131	2167
240	2267	2131	2226
260	2267	2131	2299
280	2267	2131	2382
300	2267	2131	2464
320	2602	2743	2537
340	2602	2743	2594
360	2602	2743	2635
380	2602	2743	2662
400	2602	2743	2681
420	2728	2743	2699
440	2728	2743	2718
460	2728	2743	2737
480	2728	2743	2757
500	2728	2743	2775
520	2816	2743	2793
540	2816	2743	2809
560	2816	2743	2825
580	2816	2743	2840
600	2816	2743	2852
620	2864	2743	2861
640	2864	2743	2865
660	2864	2743	2866
680	2864	2743	2866
700	2864	2980	2874

Głębokość H [m]	Prędkość interwałowa V_i [m/s]	Prędkość kompleksowa V_k [m/s]	Prędkość wygładzona V_w [m/s]
1	2	3	4
720	2969	2980	2894
740	2969	2980	2931
760	2969	2980	2986
780	2969	2980	3055
800	2969	2980	3129
820	3274	2980	3201
840	3274	3361	3262
860	3274	3361	3309
880	3274	3361	3343
900	3274	3361	3366
920	3395	3361	3384
940	3395	3361	3395
960	3395	3361	3402
980	3395	3361	3404
1000	3395	3361	3401
1020	3402	3361	3396
1040	3402	3361	3392
1060	3402	3454	3397
1080	3402	3454	3412
1100	3402	3454	3440
1120	3548	3454	3480
1140	3548	3454	3527
1160	3548	3454	3575
1180	3548	3667	3617
1200	3548	3667	3650
1220	3702	3667	3675
1240	3702	3667	3694
1260	3702	3667	3711
1280	3702	3667	3729
1300	3702	3907	3753
1320	3862	3907	3785
1340	3862	3907	3827
1360	3862	3907	3881
1380	3862	3907	3949
1400	3862	3907	4029

Tabela 14 cd.

1	2	3	4
1420	4232	3907	4118
1440	4232	3907	4207
1460	4232	4349	4284
1480	4232	4349	4344
1500	4232	4349	4379
1520	4383	4349	4390
1540	4383	4349	4386
1560	4383	4349	4378
1580	4383	4452	4378
1600	4383	4452	4395
1620	4519	4452	4433
1640	4519	4452	4487
1660	4519	4452	4550
1680	4519	4452	4610
1700	4519	4629	4657
1720	4648	4629	4680
1740	4648	4629	4676
1760	4648	4629	4650
1780	4648	4629	4607
1800	4648	4629	4555
1820	4648	4629	4505
1840	4648	4422	4461
1860	4648	4422	4422
1880	4648	4422	4385
1900	4443	4422	4343
1920	4211	4266	4294
1940	4211	4266	4239
1960	4211	4266	4182
1980	4211	4098	4132
2000	4211	4098	1097
2020	4085	4098	4079
2040	4085	4098	4077
2060	4085	4098	4084
2080	4085	4098	4094
2100	4085	4098	4101
2120	4084	4090	4101
2140	4084	4090	4093
2160	4084	4090	4080
2180	4084	4090	4065
2200	4084	4095	4055

1	2	3	4
2220	4085	4095	4053
2240	4085	4095	4063
2260	4085	4095	4089
2280	4085	4095	4125
2300	4085	4095	4165
2320	4235	4095	4201
2340	4235	4237	4228
2360	4235	4237	4248
2380	4235	4237	4268
2400	4235	4494	4298
2420	4481	4494	4349
2440	4481	4494	4423
2460	4481	4494	4519
2480	4481	4494	4630
2500	4481	4494	4746
2520	4481	4494	4859
2540	4995	5196	4963
2560	4995	5196	5053
2580	4995	5196	5130
2600	4995	5196	5191
2620	5270	5196	5237
2640	5270	5196	5270
2660	5270	5196	5290
2680	5270	5196	5297
2700	5270	5196	5293
2720	5449	5196	5282
2740	5249	5196	5263
2760	5249	5196	5240
2780	5249	5196	5216
2800	5249	5183	5193
2820	5170	5183	5173
2840	5170	5183	5163
2860	5170	5183	5162
2880	5170	5183	5171
2900	5170	5183	5187
2920	5234	5183	5208
2940	5234	5183	5229
2960	5234	5116	5247
2980	5234	5116	5258
3000	5234	5116	5257

Tabela 14 cd.

1	2	3	4
3020	5111	5116	5233
3040	5111	5116	5180
3060	5111	5116	5096
3080	5111	5116	4978
3100	5111	5116	4839
3120	4524	5116	4695
3140	4525	4413	4560
3160	4525	4413	4451
3180	4525	4413	4377
2300	4525	4413	4338
3220	4370	4413	4331
3240	4370	4413	4349
3260	4370	4413	4379
3280	4370	4413	4414
3300	4370	4413	4446
3320	4509	4497	4474
3340	4509	4497	4498
3360	4509	4497	4521
3380	4509	4497	4544
3400	4509	4646	4570
3420	4644	4646	4598
3440	4644	4646	4627
3460	4644	4646	4658
3480	4644	4646	4692
3500	4644	4646	4729
3520	4810	4646	4765
3540	4810	4819	4800
3560	4810	4819	4830
3580	4810	4819	4851
3600	4810	4819	4857
3620	4796	4819	4846
3640	4796	4819	4818
3660	4796	4819	4782
3680	4796	4819	4745
3700	4796	4765	4719
3720	4752	4765	4711
3740	4752	4765	4725
3760	4752	4765	4757
3780	4752	4765	4800
3800	4752	4765	4847

1	2	3	4
3820	4915	4765	4890
3840	4615	4809	4922
3860	4915	4809	4937
3880	4915	4809	4932
3900	4915	4809	4903
3920	4718	4809	4850
3940	4718	4809	4776
3960	4718	4809	4684
3980	4718	4809	4586
4000	4718	4809	4487
4020	4291	4210	4397
4040	4291	4210	4318
4060	4291	4210	4250
4080	4291	4210	4195
4100	4291	4210	4151
4120	4133	4210	4122
4140	4133	4210	4113
4160	4133	4210	4125
4180	4180	4180	4180
4200	4133	4210	4190
4220	4204	4210	4219
4240	4204	4203	4229
4260	4204	4203	4214
4280	4204	4203	4178
4300	4204	4203	4135
4320	4133	4194	4104
4340	4133	4194	4098
4360	4133	4194	4123
4380	4133	4194	4180
4400	4133	4194	4260
4420	4444	4194	4352
4440	4444	4194	4437
4460	4444	4470	4498
4480	4444	4470	4525
4500	4444	4470	4531
4520	4372	4470	4466
4540	4372	4470	4400
4560	4372	4470	4334
4580	4472	4445	4285
4600	4372	4415	4200

Zdzisław PETECKI

MODELOWANIE GRAWIMETRYCZNE W REJONIE OTWORU WIERTNICZEGO PODDĘBICE PIG 2

WSTĘP

W latach 90. XX wieku, w ramach rozszerzenia dokumentacji geologicznej otworu wiertniczego Poddębice PIG 2 (Marek, Gaździcka, 1994), wykonano modelowanie grawimetryczne wzdłuż profilu Uniejów–Gostynin, biegnącego przez rejon niecki uniejowskiej (łódzkiej), wału kujawskie-

go i niecki płockiej. Modelowanie miało na celu uszczegółowienie budowy utworów pokrywy permsko-mezozoicznej w otoczeniu głębokiego otworu wiertniczego Poddębice PIG 2.

OBRAZ GRAWIMETRYCZNY

Anomalie grawimetryczne stanowią sumę wszystkich efektów grawitacyjnych, pochodzących nie tylko od części osadowej skorupy, lecz również jej warstw głębszych. Obserwowane anomalie mają przeważnie złożony charakter. Odzwierciedlają kontrasty gęstościowe o charakterze regionalnym i lokalnym.

Rejon przebiegu profilu znajduje się na kontakcie dwóch regionalnych jednostek grawimetrycznych – niżu szczecińsko-mogileńskiego-miechowskiego i niżu kujawskiego (Królikowski, Petecki, 1995). Otwór wiertniczy Poddębice PIG 2 jest położony w centralnej części niżu szczecińsko-mogileńskiego-miechowskiego, w obrębie regionalnej anomalii tzw. depresji mogileńsko-łódzkiej, związanej z niecką o tej samej nazwie. Anomalia ta graniczy z wyżem Kutna, który zalicza się do innej regionalnej jednostki, niżu kujawskiego, i jest związany z wałem kujawskim (fig. 39).

Udział kompleksu permsko-mezozoicznego w powstaniu anomalii grawimetrycznych w analizowanym rejonie jest znaczący. Skały wszystkich jego okresów wywołują znaczące efekty grawitacyjne, które w połączeniu z efektami pochodzącymi od leżących głębiej osadów oraz skał krystalicznych skorupy tworzą obraz rejestrowany na powierzchni Ziemi. Geneza występujących tutaj anomalii o charakterze lokalnym, zarówno dodatnich, jak i ujemnych, wiąże się w większości przypadków ze strukturami solnymi, tworzącymi z otoczeniem duże kontrasty gęstościowe (Marek red., 1977, 1983). Anomalie dodatnie są wywołane podniesionymi utworami jurajskimi bądź triasowymi, pod którymi występują solne utwory cechsztyńskie, natomiast anomalie ujemne wywołują struktury solne bez nadkładu mezozoicznego bądź z nadkładem o niewielkiej miąższości.

Przebieg anomalii grawimetrycznych w rejonie otworu wiertniczego Poddębice PIG 2 jest w ogólnych zarysach zgodny z kierunkiem wału kujawskiego. Tworzą one najczęściej wydłużone pasma o kierunku NW–SE, charakteryzujące się kilkoma maksimami lub minimami. Najbardziej intensywne anomalie grawimetryczne tego obszaru grupują się w strefie znanej struktury solnej Kłodawa–Łęczycza, położonej na północny wschód od otworu Poddębice PIG 2 (fig. 39). Strukturze tej odpowiadają dwa ciągi anomalne, dodatni na południowym zachodzie i ujemny na północnym wschodzie.

Druga strefa struktur solnych, Ponętów–Wartkowice, usytuowana na południowy zachód od omawianego otworu wiertniczego, słabo zaznacza się w obrazie anomalii grawimetrycznych. Wiąże się to z występowaniem słabiej wykształconych struktur solnych i strefą przyrostu miąższości utworów mezozoicznych. Północno-wschodnia granica anomalii wyraża się bardziej intensywną strefą gradientu poziomego, co może wskazywać na możliwość występowania podłużnej linii tektonicznej. Na uwagę zasługuje ciąg ujemnych anomalii grawimetrycznych towarzyszących od strony północno-wschodniej względnie dodatniej anomalii Ponętów–Wartkowice. W jego obrębie jest położony otwór wiertniczy Poddębice PIG 2.

Można stwierdzić, że o wielkości anomalii na tym obszarze decyduje głębokość występowania struktur solnych i wzajemny stosunek miąższości mas jurajsko-triasowych do cechsztyńskich. Ponadto osie tych struktur wyznaczone badaniami sejsmicznymi nie pokrywają się z ekstremalnymi amplitudami lokalnych anomalii siły ciężkości.

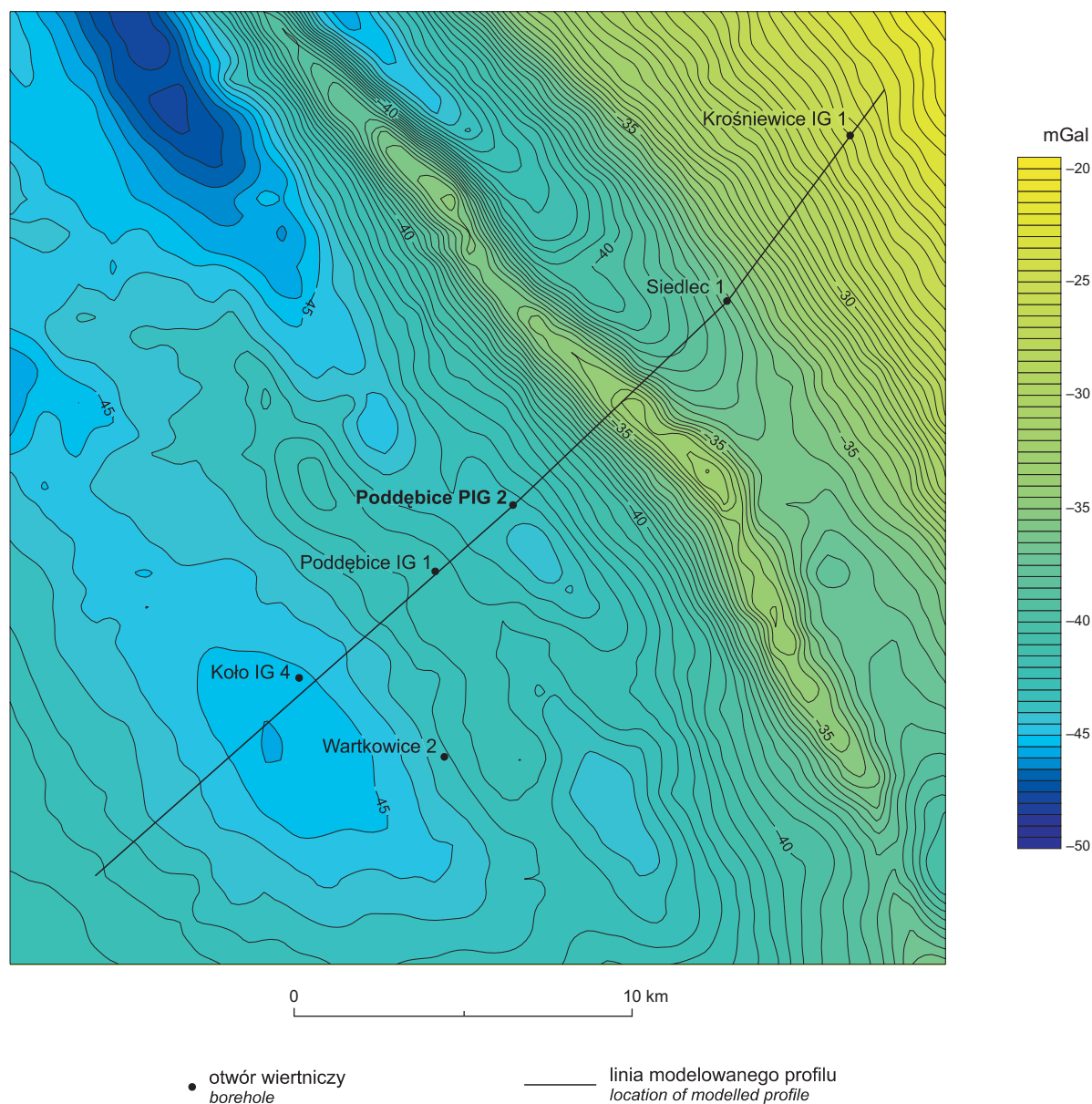


Fig. 39. Anomalie grawimetryczne w redukcji Bouguera w rejonie wysadu solnego Kłodawa–Łęczyca

Bouguer gravity anomalies in the Kłodawa–Łęczyca salt diapir area

MODEL STRUKTURALNO-GĘSTOŚCIOWY

Warunkiem przystąpienia do geofizycznej interpretacji ilościowej (modelowania) jest znajomość modelu geometrycznego granic stratygraficznych i rozkładu gęstości skał występujących w danym rejonie. W związku z powyższym wykonanie modelowania grawimetrycznego zostało poprzedzone spo-

rządzeniem modelu geofizyczno-geologicznego wzdłuż przekroju oraz określeniem litologii i parametrów fizycznych skał dla wybranych otworów wiertniczych.

W tym celu wykorzystano dostępne dokumentacje geofizyczne i geologiczne.

Do wyznaczenia głębokości poszczególnych granic stratygraficznych wykorzystano dane z opracowań badań sejsmiki refleksyjnej oraz z dokumentacji geologicznych głębokich otworów wiertniczych.

Zaprezentowany odcinek przekroju pokrywa się z profilem sejsmicznym 3-II-77W (fig. 5) wykonanym przez Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych. Wyniki uzyskane na tym profilu były podstawą do wyznaczenia poziomów refleksyjnych (kredowych, jurajskich, triasowych i cechsztyńskich), stref nieciągłości tektoniczno-litologicznych oraz określenia głębokości głównych granic stratygraficznych.

Ze względu na stopień rozpoznania budowy geologicznej rejonu obraz utworów permo-mezozoicznych i ich podłoża jest zgeneralizowany.

Do interpretacji geologicznej anomalii grawimetrycznych niezbędne jest dobre rozpoznanie kontrastów gęstości skał na granicach poszczególnych pięter stratygraficznych. Związana jest z tym konieczność przeprowadzenia rozpoznania gęstościowego badanego rejonu, obejmującego dane ze wszystkich otworów z wykonanym pomiarem gęstości.

Niecka uniejowska i wał kujawski są pod względem gęstościowym stosunkowo słabo rozpoznane. Pomiary gęstości skał wykonano w otworach wiertniczych znajdujących się w większości w częściach kulminacyjnych struktur. Niski procent rdzeniowania powoduje, że poszczególne kompleksy skalne reprezentują fragmentaryczne dane gęstościowe.

Na podstawie danych o gęstości skał uzyskanych z otworów wiertniczych na omawianym terenie (Marek red., 1977, 1983) można wyróżnić występowanie podstawowego kontrastu gęstościowego pomiędzy skałami kredowymi i górnopaleozoicznymi. Przejście z utworów jury do triasu wykazuje niewielki wzrost wartości gęstości. Również między poszczególnymi piętrami triasu występuje stosunkowo małe zróżnicowanie ciężarów objętościowych.

W obrębie strefy Wartkowic brak pomiarów, na których podstawie można scharakteryzować gęstość skał cechsztyńskich. Występująca w najbliższym sąsiedztwie struktura Izbica-Kłodawa-Łęczycza, jest przykładem na to, że utwory cechsztyńskie mają decydujący wpływ na kształtowanie obrazu anomalii grawimetrycznych. Cechsztyń, reprezentowany przez sól kamienną, wykazuje wyjątkowo duży kontrast gęstościowy zarówno w stosunku do nadkładu triasowo-jurajskiego i niżej położonych utworów starszego paleozoiku, jak i w stosunku do towarzyszących warstw anhydrytu oraz dolomitu.

W położonych wzdłuż profilu otworach wiertniczych, które nie zostały objęte pomiarami laboratoryjnymi (Poddębice PIG 2, Krośnice IG 1, Siedlec 1), dokonano oszacowania gęstości, wykorzystując zależności między innymi parametrami fizycznymi skał, określonymi na podstawie pomiarów geofizyki wiertniczej. W tym celu wydzielono warstwy litologiczno-geofizyczne i wyznaczono dla nich wartości: prędkość, gęstość i porowatość. Interpretację litologiczną wykonano porównując parametry geofizyczne, charakterystyczne dla poszczególnych typów litologicznych skał w otworach wiertniczych. Każdej wydzielonej w trakcie interpretacji warstwie przypisano wielkości, które ją charakteryzują. Są to: zailenie, porowatość oraz czas przejścia fali akustycznej na drodze jednego metra danej warstwy. Dla odcinków profili pozbawionych profilowania akustycznego do określenia prędkości warstwowych wykorzystano zależność prędkości w warstwie od jej porowatości i typu szkieletu. Interpretacja litologiczna i obliczenie zailenia oraz porowatości umożliwiły sporządzenie profilu litologiczno-objętościowego, na którego podstawie określono gęstości objętościowe.

Przyjęte do modelowania gęstości skał z pomiarów laboratoryjnych i wyinterpretowane na podstawie profilowań geofizyki wiertniczej reprezentują średnią gęstość dla danego kompleksu.

MODELOWANIE GRAWIMETRYCZNE

Zrozumienie przyczyn obserwowanych anomalii grawimetrycznych wymaga określenia położenia, kształtu i parametrów ich fizycznych źródeł. Informacje te mogą być uzyskane m.in. na drodze modelowania danych grawimetrycznych. Modelowanie komputerowe stanowi jednocześnie szczególnie użyteczny sposób integracji niezależnych danych geofizycznych i geologicznych do uzyskania spójnego obrazu budowy strukturalnej.

Podstawowym czynnikiem wpływającym na wiarygodność wyników modelowania jest stan wiedzy o kształcie, głębokości położenia oraz o parametrach fizycznych źródeł. Z tego względu do konstrukcji początkowego modelu parametryczno-strukturalnego wzdłuż profilu oraz na etapie modelowania uwzględniono wyniki analizy danych geologicznych i geofizycznych.

Modelowanie wykonano z zastosowaniem programu SAKI (Webring, 1985), który umożliwia obliczanie dwuwymiarowych efektów grawitacyjnych, pochodzących od ciał o rozciągłości prostopadłej do kierunku profilu. Modelowane ciała mają w przekroju poprzecznym kształt wielokąta. Program umożliwia zarówno modelowanie wprost, w którym różnica między obserwowaną i obliczoną krzywą jest minimalizowana poprzez (interaktywną) zmianę kształtów i parametrów fizycznych ciał zaburzających, jak i modelowanie odwrotne, gdzie dane obserwowane stanowią punkt wyjściowy procedury inwersyjnej, optymalizującej funkcję parametrów modelu.

We wszystkich fazach modelowania zmieniano takie parametry, jak: głębokość, zasięg poziomy oraz gęstość poszczególnych bloków. Wstępny model geometryczno-gęstościowy

ciowy był znacznie bardziej skomplikowany zarówno co do ilości bloków, na które podzielono poszczególne kompleksy skalne, jak również co do znacznie bardziej szczegółowego rozpoznania gęstościowego.

Punktem wyjścia była opisana wyżej konstrukcja wstępnego modelu strukturalnego na podstawie danych sejsmicznych i rozpoznania geologicznego (wiertniczego). Elementem tego modelu – warstwom, blokom itp. przypisano odpowiednie war-

tości gęstości. Dane o tym parametrze są wynikiem pomiarów laboratoryjnych próbek pochodzących z rdzeni wiertniczych i/lub wynikiem pomiarów geofizycznych w otworach wiertniczych. Tak przygotowany wstępny model był przedmiotem wyznaczenia efektów grawitacyjnych z zastosowaniem odpowiedniego programu komputerowego. Sumaryczny efekt od modelu jest następnie porównywany z anomalią grawimetryczną wyznaczoną w wyniku obserwacji.

WYNIKI MODELOWANIA

Rozkład gęstości w kompleksie permsko-mezozoicznym wzdłuż linii przekroju, uzyskany w wyniku modelowania danych grawimetrycznych, przedstawiono na [figurze 40](#), stanowiącej fragment przekroju grawimetrycznego Uniejów–Gostynin (Marek, Gaździcka, 1994). Uwzględnia on zmiany poziome tego parametru. Model gęstościowy ośrodka tworzy osiem kompleksów, wyróżnionych w wyniku analizy granic kontrastów gęstości w otworach wiertniczych. Kompleksy te określono na podstawie pomiarów laboratoryjnych i interpretacji danych geofizyki wiertniczej. Model opracowany z uwzględnieniem warunków wykształcenia litologicznego skał odzwierciedla granice kontrastów gęstościowych najbardziej zbliżone do rzeczywistych, zgodne z granicami odbić sejsmicznych. Podnosi to wiarygodność wyników modelowania grawimetrycznego, która zależy głównie od stopnia rozpoznania strukturalno-gęstościowego interpretowanego ośrodka.

Otwór wiertniczy Poddębice PIG 2 jest zlokalizowany w synklinie wypełnionej utworami kredy, położonej między antyklinami: na południowym zachodzie – Wartkowic i na północnym wschodzie – Kłodawy–Łęczycy. Regionalnie zapadające w kierunku północno-wschodnim podłoże podcechsztyńskie osiąga głębokość od około 6,0 km w południowo-zachodniej części profilu (otwór wiertniczy Koło IG 4) do około 8 km w rejonie północno-wschodnim (Krośniewice IG 1). Utwory cechsztyńskie wykazują znaczne zmiany miąższości soli. Dość dużym zmianom miąższości podlegają też osady kredy, które na strukturze Wartkowic ulegają redukcji, a brak jest ich na bloku kutnowskim wału kujawskiego.

Początek profilu znajduje się w rejonie grawimetrycznego niżu związanego z niecką uniejowską. Obecność tego niżu może być spowodowana dużą miąższością lekkich osadów kredowych oraz cechsztyńskiej soli kamiennej. Występująca w tym rejonie struktura solna Wartkowic zaznacza się na powierzchni podkenozoicznej wychodniami kampanu i mastrychtu. W jej obrębie są zlokalizowane otwory wiertnicze: Koło IG 4, Wartkowice 2 i Poddębice IG 1. Najgłębszy z nich – otwór wiertniczy Wartkowice 2 (zrzutowany na linię profilu) ([fig. 40B](#)) udokumentował po przewierceniu utworów mezozoiku zredukowany profil triasu oraz obecność soli na głębokości około 3000 m.

Wyinterpretowane na podstawie modelowania ciało solne wyróżnia się bardziej stromym skrzydłem wschodnim i łagodniejszym zachodnim, podobnie jak skrzydło antykliny mezozoicznej znajdującej się nad masą solną.

Część północno-wschodnia przekroju przedstawia rejon struktury Kłodawy–Łęczycy, położonej w obrębie wału kujawskiego. Wysad solny Kłodawy–Łęczycy jest najwyraźniejszym obiektem w obrazie grawimetrycznym. W jego obrębie występuje charakterystyczna anomalia dodatnia, przechodząca gwałtownie w kierunku północnego wschodu w anomalię ujemną (minimum). W nawiązaniu do charakterystyki gęstościowej skał oraz wyników modelowania można stwierdzić, że maksymalne wartości anomalii grawimetrycznych na interpretowanym profilu odpowiadają strefie wypiętrzeń ciężkich utworów jury i triasu. Obserwowane w kierunku północnego wschodu obniżenie wartości anomalii jest wywołane oddziaływaniem mas solnych o małej gęstości.

Wykonana interpretacja pozwoliła na lepsze zdefiniowanie prawie pionowych granic słupa solnego. Wynik modelowania na tym profilu wskazuje, że w rejonie Łęczycy wysad ten nie przebił się całkowicie przez utwory triasowe i jurajskie, lecz tworzy silnie rozbudowaną w kierunku północno-wschodnim masę solną w postaci przewieszki solnej, potwierdzonej w profilu otworu wiertniczego Siedlec 1.

Stopniowe obniżanie się wartości anomalii grawimetrycznych w kierunku południowo-zachodnim od wysadu solnego Łęczycy jest wywołane obecnością i stopniowym wzrostem miąższości osadów kredy, która wyróżnia się stosunkowo niską gęstością. W centrum tej niecki kredowej jest zlokalizowany głęboki otwór wiertniczy Poddębice PIG 2.

Stopniowy wzrost wartości anomalii dalej w kierunku południowego zachodu jest wywołany ponowną redukcją osadów kredy w miarę zbliżania się do struktury antyklinalnej Wartkowic. Wynika z tego, że zasadniczy udział we względnie dodatniej anomalii grawimetrycznej występującej w zasięgu struktury Wartkowic mają ciężkie utwory mezozoiczne, głównie jurajskie, których miąższość wynosi w tej strefie około 1500 m, przy znacznie mniejszym udziale utworów kredowych.

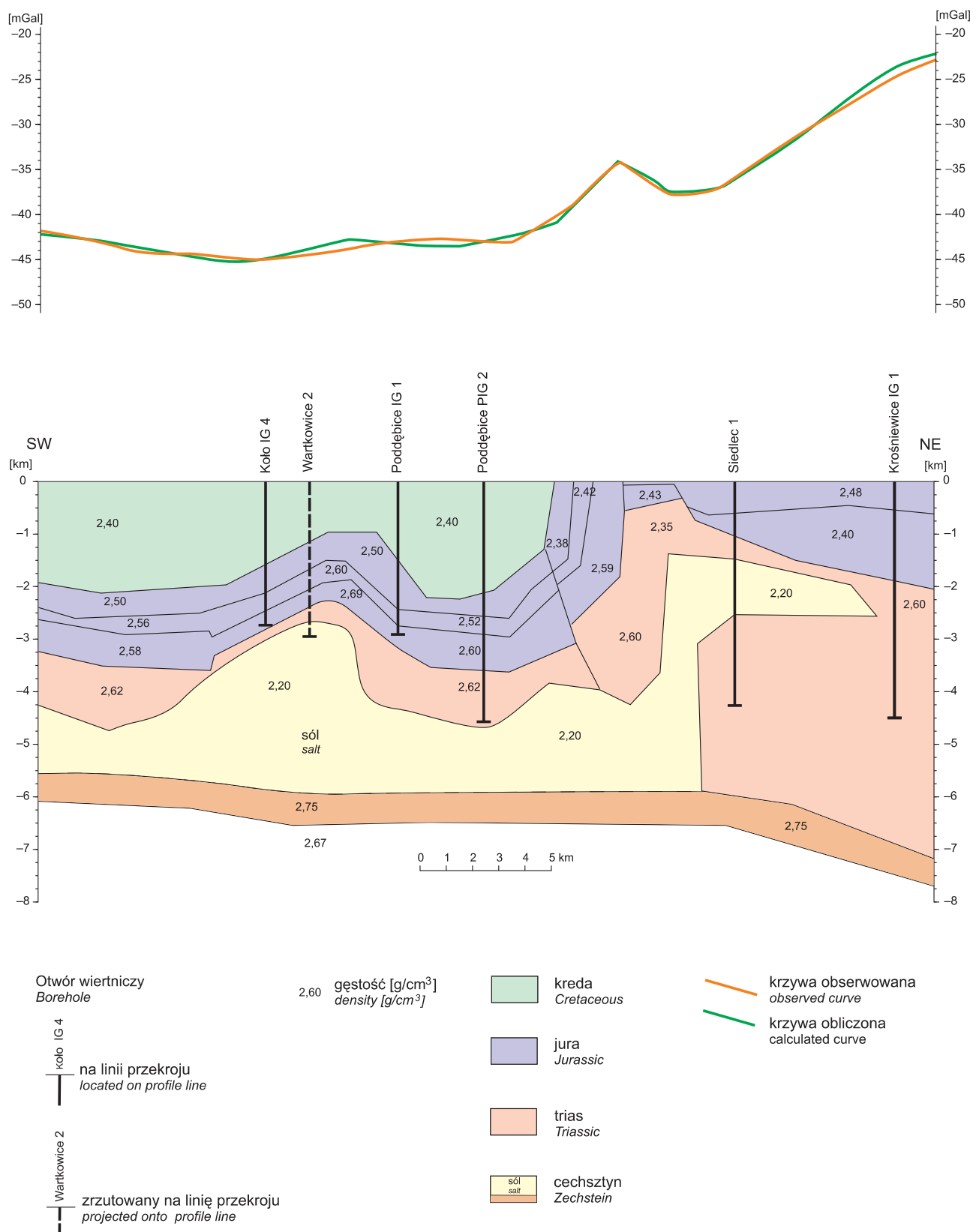


Fig. 40. Wynik modelowania grawimetrycznego wzdłuż linii przekroju biegnącego przez otwór wiertniczy Poddębice PIG 2

Gravity modelling along the profile crossing the Poddębice PIG 2 borehole

WNIOSKI

1. Decydujący wpływ zarówno na kształtowanie obrazu regionalnych, jak i lokalnych anomalii grawimetrycznych mają morfologia i miąższość utworów związanych ze spągami kredy oraz stropem utworów cechsztyńskich, reprezentowanych przez utwory solne.

Wyraźne kontrasty gęstościowe cechsztynu ze skałami otaczającymi, zróżnicowanie morfologiczne jego stropu oraz duża i zmienna miąższość osadów cechsztynu w istotny sposób (obok utworów kredy górnej) decydują o kształtowaniu się anomalii grawimetrycznych.

2. Odzwierciedlenie strefy Wartkowic w obrazie anomalii grawimetrycznych wskazuje, że sumaryczny efekt grawitacyjny jest uwarunkowany morfologią oraz miąższością ciężkich

utworów jurajsko-triasowych. Efekt grawitacyjny kilkukilometrowego nadkładu osadowego mezozoiku redukuje wpływ lekkich mas solnych. W wyniku tego struktura Wartkowic akcentuje się słabo w obrazie anomalii grawimetrycznych.

3. Obraz grawimetryczny w rejonie otworu wiertniczego Poddebice PIG 2 potwierdza występowanie niecki wypełnionej lekkimi utworami kredy, których miąższość w centralnej części tej struktury przekracza 2000 m.

4. Silnie wypiętrzone, ciężkie utwory triasowe i jurajskie struktury Kłodawa–Łęczycza mają zasadniczy udział w grawimetrycznych anomaliach dodatnich. Struktura solna ze względu na duży kontrast gęstości i prawie pionowe granice odzwierciedla się w postaci anomalii ujemnej.

Piotr KRZYWIEC

DANE SEJSMICZNE Z REJONU OTWORU WIERTNICZEGO PODDEBICE PIG 2

Otwór wiertniczy Poddebice PIG 2 oraz dwa dodatkowe otwory wiertnicze wykorzystane do kalibracji profilu (Poddebice IG 1 i Koło IG 4) są położone na południowo-zachodnim skłonie wału śródpolskiego, na południowy zachód od wysadu solnego Kłodawy. Do skalibrowania danych sejsmicznych po północno-wschodniej stronie wysadu solnego Kłodawy wykorzystano otwór wiertniczy Siedlec 1 oraz znajdujący się już poza profilem sejsmicznym omawianym poniżej otwór wiertniczy Krośniewice IG 1 (fig. 5; por. Dadlez, 2001; Krzywiec, 2004, 2009; Pharaoh i in., 2010).

Profil sejsmiczny wykorzystany do zilustrowania budowy geologicznej permsko-mezozoicznej pokrywy osadowej w otoczeniu otworu wiertniczego Poddebice PIG 2 pomierzono w drugiej połowie lat 70. XX wieku. Zaprezentowana w niniejszym opracowaniu wersja powstała w efekcie *reprocessingu* danych polowych, wykonanego przez Geofizykę Toruń na zlecenie PGNiG S.A. w 1997 r., w trakcie przygotowywania regionalnych profili sejsmicznych przecinających bruzdę śródpolską (fig. 5; por. Dadlez, 2001; Krzywiec i in., 2006).

Profil obrazuje utwory cechsztynu i mezozoiku, jednak ze względu na stosowane w latach 70. XX w. parametry pomiarowe nie zobrazował on stropu mezozoiku i leżących wyżej utworów kenozoicznych.

Otwór wiertniczy Poddebice PIG 2 odwiercono w obrębie synkliny ulokowanej pomiędzy wysadem solnym Kłodawy i poduszką solną Wartkowic. Przewiercono utwory górnego triasu i młodsze. Utwory starsze od górnego triasu wyinterpretowano kierując się regionalną budową geologiczną tego rejonu i z tego względu interpretacja ta powinna być traktowana jedynie jako przybliżona. Znaczną miąższość utworów triasu górnego w obrębie tej synkliny można wiązać ze zwiększoną aktywnością tektoniczną w tej części basenu bruzdy śródpolskiej, której efektem była między innymi ekstruzja soli cechsztyńskich na dno zbiornika triasowego (por. Krzywiec, 2004). Bezpośrednim powodem obserwowanego wzrostu miąższości utworów triasu górnego była aktywność uskoku normalnego, rozwiniętego na północno-wschodnim skłonie poduszki solnej Wartkowic. Analogiczne wzrosty miąższości, choć na znacznie mniejszą skalę, są obserwowane również dla utworów jury i kredy.