

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Jan SZEWCZYK

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

W trakcie realizacji prac wiertniczych w otworze Terebin IG 5 wykonywano sukcesywnie badania z zakresu geofizyki wiertniczej w ramach odcinków badań strefowych. Dokonany wybór badanych odcinków głębokościowych był związany zarówno z konstrukcją otworu, jak i charakterem profilu litologiczno-stratygraficznego, a także potrzebą zachowania przyjętej zasady nieprzekraczania trzystumetrowej długości badanych odcinków. Badania te przeprowadzono w okresie między 11 września 1975 a marcem 1977 r., w 11 odcinkach badań strefowych. Badania zostały wykonane przez I Zespół Geofizyki Wiertniczej Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych z bazy w Lublinie. Dodatkowo specjalistyczne badania upadu warstw przy zastosowaniu eksperymentalnego upadomierza czteroramiennego zbudowanego przez zespół inż. Rokosza zostały przeprowadzone przez Geofizykę Kraków. Po zakończeniu wiercenia otworu wykonano w nim profilowanie temperatury, jednak – z powodów technicznych – w warunkach odbiegających od termicznie ustabilizowanych.

Badania prowadzono przy użyciu aparatury analogowej produkcji radzieckiej typu AKSL-7, wyposażonej dodatkowo we wschodnioniemiecką aparaturę akustyczną typu USBA/T-21, a także sondy LSE-1 produkcji polskiej do prowadzenia pomiaru gęstości skał głównie w celu wydzielania warstw węgla kamiennego. Zastosowane w badaniach radiometrycznych (PG, PN oraz PGG) sondy radiometryczne były testowo standaryzowane prototypowymi jednopunktowymi standaryzatorami. Próby opracowania metod standaryzacji tych sond podjęte w stosunku do sond stosowanych w otworze Terebin IG 5 okazały się nieefektywne (Szewczyk, 1998a).

Zastosowane dostępne metody badań, a także istniejące w tym czasie możliwości sprzętowe pozwalały na rozpoznanie profilu wiercenia jedynie w ograniczonym stopniu. Odnosi się to szczególnie do badań radiometrycznych, które miały podstawowe znaczenie zarówno przy rozpoznaniu profilu litologicznego, jak i przy próbach określenia właściwości petrofizycznych skał tworzących profil. Profilowania te wykonano sondami niekalibrowanymi zarówno w metodzie profilowania naturalnego promieniowania gamma (PG), jak i profilowania gamma z wychwyty radiacyjnego

neutronów termicznych (PNG), indukowanych przez izotopowe źródło neutronów prędkich. Obie te metody badawcze realizowano przy pomocy dwukanałowej sondy SP-62 produkcji radzieckiej, pozwalającej na równoczesną realizację pomiaru w metodzie PG oraz PNG. Detektory naturalnego promieniowania gamma (6 liczników typu G-M) o łącznej długości 72 cm umieszczono w odległości ok. 265 cm powyżej detektora kwantów gamma z wychwyty radiacyjnego neutronów. Poniżej źródła neutronów umieszczono pojemnik z termometrami maksymalnymi (zazwyczaj 3 termometry). W sondzie tej stosowano jako źródło neutronów prędkich źródło typu Po-Be o okresie półrozpadu $T = 134$ dni i aktywności w zakresie 3–6 Ci. Stosowany jednopunktowy standaryzator nie pozwalał na właściwe przeniesienie wyników kalibracji wykonywanych w warunkach laboratoryjnych na wyniki pomiarów rejestrowanych w warunkach polowych (Szewczyk, 1978, 1998a). Profilowania neutronowe typu PNG wykonano sondami SP-62 przy nominalnej długości sondy, rozumianej jako odległość: źródło neutronów – 2/3 długości detektora, wynoszącej 60 cm.

W większości odcinków pomiarowych przeprowadzono profilowania neutronowe typu neutron–neutron nadtermiczny (PNNt) oraz neutron–neutron termiczny (PNNt). Do profilowań zastosowano sondy produkcji rosyjskiej (radzieckiej) typu DRST-2 dostosowane do warunków prowadzenia takich badań w Polsce (sposób umieszczania źródła neutronów oraz odległości źródło–detektor). Długość sond wynosiła odpowiednio: 40 cm w metodzie PNNt oraz 50 cm w metodzie PNNt.

Wszystkie zastosowane sondy pomiarowe były niecentralizowane (położenie sondy w trakcie części pomiarów mogło być, chociaż raczej sporadycznie, niestabilizowane).

Profilowania oporności, w formie pojedynczych pomiarów bądź zestawu sondowań, wykonano klasycznymi sondami gradientowymi spągowymi, każdorazowo przygotowywanymi (odmierzanymi) bezpośrednio przed pomiarami na terenie otworu wiertniczego. Dokładność procedury przygotowania sond opornościowych mogła mieć wpływ na dokładność uzyskiwanych wartości oporności. Niezależnie od opisanych klasycznych typów profilowań oporno-

ściowych prowadzono profilowania tzw. polem sterowanym. Było to profilowanie typu P_{ost} (LL3) sondą o dużym zasięgu oraz mikroprofilowanie polem sterowanym o małym zasięgu, typu mP_{ost} (ML) sondą KMBK-3.

Łączny czas wykonywania badań, w zależności od głębokości badanego odcinka profilu (a także od liczby i charakteru awarii technicznych, które jednak były powszechnym zjawiskiem), wynosił od kilkunastu do kilkudziesięciu godzin, a niekiedy kilku dni.

Wyniki źródłowych danych pomiarowych zarejestrowano w formie analogowej w podstawowej skali głębokościowej 1:500, a w odcinkach profilu uznawanych za perspektywiczne dla wystąpień bituminów – w skali 1:200. Badania w takiej skali wykonano poza utworami karbonu również dla utworów dewonu oraz kambru. W obrębie karbońskiej części profilu przeprowadzono profilowania detalizujące w skali 1:50, ukierunkowane szczególnie na wydzielenia warstw węgla kamiennego. Badania te wykonywano zazwyczaj czterema typami pomiarów: profilowaniem typu gamma–gamma (PGG), profilowaniem polem sterowanym (P_{ost}), mikroprofilowaniem polem sterowanym (mP_{ost}) oraz profilowaniem średnicy (P_{śr}). Pomiaru mające charakter pomiarów analogowych zarejestrowano na fotograficznych papierowych taśmach pomiarowych. Parametry pomiarów, szczególnie radiometrycznych, takie jak prędkość ruchu sondy czy stałe czasowe układów integracyjnych, każdorazowo dostosowywano do skali głębokościowej wykonywanych badań.

Ze względu na zmienny w czasie charakter miar głębokości stosowanych kabli geofizycznych (ze względu na ich rozciągliwość) w poszczególnych odcinkach badawczych mogą występować wzajemne przesunięcia głębokościowe wyników rejestracji poszczególnych typów profilowań. Element ten powinien być brany pod uwagę przy analizach danych geofizycznych oraz geologicznych.

Pomiary radiometryczne rejestrowano przy pomocy analogowych integratorów impulsów, która to technika, ówczesznie powszechnie stosowana, a obecnie całkowicie nieznana, zdecydowanie różni się od współczesnych cyfrowych metod rejestracji danych pomiarowych.¹ Stosowany sposób rejestracji profilowań radiometrycznych wpływał zarówno na kształt, jak i wielkość rejestrowanych anomalii, co wpływało zarówno na wyznaczanie głębokości granic poszczególnych warstw, ich miąższość, jak i wysokość anomalii. Wszystkie te czynniki miały wpływ na określanie litologii oraz właściwości petrofizycznych warstw – szczególnie tych o niewielkiej miąższości (<1 m).

¹ Kształt anomalii rejestrowanej zależy m.in. od prędkości v przemieszczającej się w otworze wiertniczym sondy pomiarowej oraz od stałej czasowej τ integratora impulsów. Rejestrowana jest w ten sposób tzw. anomalia dynamiczna zniekształcona w stosunku do anomalii statycznej, a tym bardziej fizycznej, np. koncentracji izotopów promieniotwórczych, lub porowatości czy gęstości, w stopniu zależnym głównie od wartości iloczynu tych dwóch wcześniej wymienionych parametrów, tj. v oraz τ . Był to główny, ale nie jedyny, powód wykonywania pomiarów w różnych skalach głębokościowych dostosowanych do różnej miąższości warstw występujących w profilu (np. cienkie warstwy węgla).

Odcinki głębokościowe poszczególnych badań strefowych miały co najmniej 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. Ponadto w odniesieniu do większości metod badawczych w odcinkach profilu o największym zróżnicowaniu parametrów petrofizycznych, w odcinkach nie krótszych niż 50 m, prowadzono badania kontrolne. Głównym celem tych badań było określenie stopnia stabilności pracy stosowanych układów pomiarowych.

Pomiary akustyczne wykonano dwukrotnie. Objęły one całe odcinki profilu przewierconego odpowiednio średnicą nominalną 216 oraz 151 mm.

Zdecydowaną większość wyników badań zeskanowano oraz zdigitalizowano w połowie lat 90. XX w. Większość wyników wykonanych badań podstawowych unormowano i utworzono krzywe połączone (*composite logs*) w zakresie przewidzianym programem prac związanych z wprowadzeniem omawianych danych do Centralnej Bazy Danych Geologicznych. Szczegółowe zestawienie profilowań geofizycznych istniejących w formie cyfrowej przedstawiono w tabeli 46.

Na figurze 47 przedstawiono zgeneralizowany schemat wykonanych typów badań, a ich szczegółowe zestawienie zamieszczono w tabeli 46. W tabeli tej podano zakres głębokościowy badań wraz z zastosowaną skalą głębokościową, łącznie z pomiarami kontrolnymi, a także datę wykonania poszczególnych badań.

W odcinkach odsłoniętych pod rurami okładzinowymi, niezależnie od interwału głębokościowego poszczególnych badań strefowych, prowadzono pomiary ujednolicające w całym odcinku niezarurowanym. W otworze Terebin IG 5 wykonywano je w odcinkach obejmujących interwały 3–4, 6–8 oraz 10 m (fig. 47). W ramach tych badań wykonywano standardowo pomiar oporności sondą gradientową M2.5A0.25M, profilowanie średnicy (P_{śr}) oraz profilowanie potencjałów samoistnych (PS). Podstawowym celem tych badań było śledzenie czasowych zmian właściwości przyotworowej strefy filtracji w obrębie warstw zbiornikowych.

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 (Log ASCII Standard) o jednolitym głębokościowym kroku pomiarowym równym 25 cm bądź 10 cm. Niezależnie od tak opracowanych danych istnieją dane źródłowe o kroku interpolacji o dokładności większej od podanych wartości (szczególnie dla pomiarów wykonanych w skalach głębokościowych 1:200 czy 1:50).

Opisane badania są jednymi z najlepszych, a być może najlepszymi, jakie uzyskano w przeszłości z zastosowaniem aparatury analogowej w głębokich otworach badawczych na obszarze Polski. Wyniki tych badań, poza ich aspektem dokumentacyjnym w odniesieniu do otworu Terebin IG 5, stanowią i będą stanowić w przyszłości ważne źródło informacji metodycznych w odniesieniu do badań wykonanych aparaturą analogową (taki typ badań

Tabela 46

Typy badań geofizycznych wykonanych w otworze wiertniczym Terebin IG 5

Types of geophysical surveys carried out in the Terebin IG 5 borehole

Odcinek badań strefowych	Data wykonywania badań	Głębokość otworu [m]	Symbol pomiaru (badania) – polski (angielski)	Nazwa zbioru z danymi	Interwał badań [m]	Odcinek badań strefowych	Data wykonywania badań	Głębokość otworu [m]	Symbol pomiaru (badania) – polski (angielski)	Nazwa zbioru z danymi	Interwał badań [m]
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	11.09.75	351 432 mm	PG (GR) PS (SP) RL (EL07) RS (EN09) PS (SP) Psr (CALI)	1PG 1PS 1RL 1RS 1SP 1SR	0,09–349,08 5,06–350,25 10,19–349,57 10,19–350,64 10,10–349,55 0,15–349,91	3 cd.			mPOst (ML) Post (LL3) PO (ELO2) PO (EL03) PO (EL09) PO (EL14) PO (EL26) PO (ELO9) PO (EN10) Psr (CALI) PGG (GGDN) POst (LL3) mPOst (ML) PSr (CALI) PK	3MT 3RT 3R0 3R1 3R2 3R4 3R8 3RL 3RS 3SR 3H1 3LL 3ML 3XR 3PK	764,05–1247,94 766,00–1247,91 765,10–1247,92 765,17–1248,00 765,12–1248,08 765,02–1247,95 765,20–1247,92 350,20–1248,06 765,11–1248,24 325,07–1240,08 550,02–949,99 550,02–949,99 550,01–949,99 550,02–949,99 840–1240
2	14.10.75	820,0 308 mm	PG (GR) PNG (GNT) PGG (GGDN) PG (GR) (k) PNG (GNT) (k) mPOst (ML) PS (SP) PO (EL02) PO (EL03) PO (EL09) PO (EL14) PO (EL26) PO (ELO9) PO (EN10) POst (LL3) PO (EN10) PS (SP) Psr (Cal) PK (Dir)	2PG 2PN 2GG 2GK 2NK 2MT 2PS 2R0 2R1 2R2 2R4 2R8 2RL 2RS 2RT 2S2 2SP 2SR 2PK	321,34–815,07 10,40–814,98 450,04–814,88 520,00–585,00 495,00–605,00 351,70–814,95 352,06–813,93 350,00–838,00 351,43–839,57 341,37–802,04 351,43–814,88 334,12–802,33 10,27–349,60 352,01–814,83 351,43–814,88 350,00–836,00 352,10–813,80 327,45–814,92 10–820	4	6.12.75	1546 308 mm	PG (GR) PNG (GNT) PG (GR) (k) PNG (GNT) PNG (GNT) (k) PGG (GGDN) PNNnt (N_EPI) PNNt (N_TH) PNNnt (k) PNNt (k) mPOst (ML) PS_1 (SP) PS_2 (SP) PS_1 (SP) PS_2 (SP) Post (LL3) PO (ELO2)	4PG 4PN 4NK 4NN 4NT 4GG 4GK 4KH 4KN 4KT 4MT 4P1 4P2 4SP 4PS 4RT 4R0	1264,92–1545,95 1125,02–1550,06 1490,17–1542,29 1220,18–1545,67 1220,16–1545,81 1190,09–1550,06 1489,11–1545,71 1211,27–1267,84 1245,60–1304,95 1245,83–1303,90 1190,05–1545,97 351,71–1200,01 351,81–1199,71 1129,98–1541,96 1150,01–1589,99 1190,09–1544,88 1190,03–1544,84
3	6–7.11.75	1295,5 308 mm	PG (GR) PG (GR) (k) PNG (GNT) PNG (GNT) (k) PGG (GGDN) PS (SP) PS (SP)	3PG 3GK 3PN 3NK 3GG 3PS 3SP	764,93–1249,84 1005,29–1065,88 765,13–1248,50 1018,72–1069,94 765,07–1247,78 351,99–1242,30 351,89–1242,69						

Tabela 46 cd.

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
4 cd.			PO (EL03)	4R1	1190,09–1544,87	6 cd.			PNNt (N-Th)	6KH	1544,00–1610,00
			PO (EL09)	4R2	1190,01–1545,00				PNNt (k)	6KT	1596,00–1660,00
			PO (EL14)	4R4	1190,13–1544,85				mPOst (ML)	6MT	1619,54–2060,59
			PO (EL26)	4R8	1190,03–1544,95				PS (SP)	6PS	1547,31–2059,99
			PO (ELO9)	4RL	1130,00–1541,91				PO (EL02)	6R0	1622,04–2057,83
			PO (EN10)	4RS	1190,18–1543,17				PO (ELO3)_	6R1	1622,01–2057,91
			Psr (CALI)	4SR	1190,09–1539,85				PO (ELO9)	6R2	1622,37–2057,92
			PO (EL09)	4XL	324,87–1199,83				PO (EL14)	6R4	1620,01–2057,86
			Psr (CALI)	4XR	324,94–1199,89				PO (EL09)	6RL	1545,33–2056,38
5	18.01.76	1677 216 mm	PG (GR)	5PG	1500,13–1675,21				PO (EN10)	6RS	1624,92–2055,50
			PNG (GNT)	5PN	1501,17–1676,36				POst (LL3)	6RT	1620,01–2059,99
			PG (GR) (k)	5G1	1545,98–1675,97				PS (SP)	6SP	1547,10–2056,18
			PNG (GNT) (k)	5GK	1609,13–1666,09				Psr (CALI)	6XR	1532,75–2029,94
			PNNnt (N_EPI)	5NN	1500,02–1676,19	7	22.04.76	2587 216 mm	PG (GR)	7PG	1971,05–2580,85
			PNNt (N_TH)	5NT	1499,94–1676,04				PNG (GNT)	7PN	1973,29–2584,19
			PNNnt (k)	5KN	1612,00–1662,00				PS (SP)	7PS	1548,07–2584,70
			PNNt (k)	5KT	1594,00–1650,00				PO (EL09)	7RL	1551,10–2585,18
			mPOst (ML)	5MT	1546,00–1676,00				PO (EN10)	7RS	1989,79–2584,90
			PG (GR)	5NG	1545,76–1676,02				POst (LL3)	7RT	2000,10–2229,92
			PNG (GNT)	5NK	1609,51–1665,29				PS (SP)	7SP	1547,54–2583,12
			POst (LL3)	5RT	1545,03–1674,88				Psr (CALI)	7SR	1522,67–2581,19
			PS (SP)	5PS	1550,06–1670,00				mPOst (ML)	7MT	2008,00–2200,10
			PO (EL02)	5R0	1530,54–1676,01				PK	7PK	2000–2550
			PO (EL03)	5R1	1530,73–1675,96	8	8.06.76	3038,6 216 mm	CEM_AMP	8CA	75,05–1546,94
			PO (EL09)	5R2	1530,45–1675,88				CEM_TIME	8CT	78,09–1544,87
			PO (ELO14)	5R4	1536,33–1676,00				PG (GR)	8PG	2529,81–3034,78
			PO (EL26)	5R8	1551,09–1676,00				PNG (GNT)	8PN	2529,84–3034,80
			PO (EL09)	5RL	1550,15–1676,61				PNG (k)	8NK	2964,43–3020,42
			PO (EN10)	5RS	1546,05–1676,14				PGG (GGDN)	8GG	2000,03–2965,00
			PS (SP)	5SP	1546,65–1671,07				PG (k)	8GK	2935,58–3023,33
			Psr (CALI)	5SR	1524,96–1671,94				PNNnt (k)	8KN	2950,06–3022,57
6	11.03.76	2061,3 216 mm	PG (GR)	6PG	1596,60–2058,29				PNNt (k)	8KT	2950,05–3020,77
			PNG (GNT)	6PN	1599,57–2059,96				PNNnt (N_EPI)	8NN	2900,01–3035,05
			PGG (GGDN)	6GG	1547,95–2060,94				PNNt (N_TH)	8NT	2900,03–3034,97
			PNG (k)r	6NK	1605,72–1659,84				PO (EL02)	8R0	2899,99–3034,98
			PNNnt (N_Epi)	6NT	1599,22–2060,65				PO (ELO3)	8R1	2900,02–3034,84
			PG (k)	6GK	1602,16–1652,50				PO (ELO9)	8R2	2899,95–3034,87

Tabela 46 cd.

1	2	3	4	5	6
8 cd.			PO (EL14)	8R4	2900,02–3034,89
			PO (EL26)	8R8	2900,01–3035,00
			PO (ELO9)	8RL	2529,96–3033,70
			PO (EN10)	8RS	2529,88–3035,09
			POst (LL3)	8RT	2900,02–3034,89
			PS (SP)	8SP	2530,05–3034,95
			Psr (CALI)	8SR	2530,14–3034,89
			PA (SONIC)	8PA	1540,01–3034,97
			T1 (T1)	8T1	1597,85–3035,10
			T2 (T2)	8T2	1598,07–3034,86
			PO (ELO9)	8XL	1527,94–2560,35
			Psr (CALI)	8XR	1514,68–2566,48
			UPAD		15404–3034
			PK	8PK	2500–3030
9	28.10.76	3396 m 151 mm	PG (GR)	9PG	2988,14–3389,30
			PNG (GNT)	9PN	2987,66–3390,19
			PGG (GGTN)	9GG	3026,44–3389,85
			PG (k)	9GK	3041,42–3104,18
			PNG (k)	9NK	3041,65–3109,18
			CEM_AMP	9CA	1298,44–3038,67
			CEM_TIME	9CT	1299,41–3040,12
			PS (SP)	9PS	3032,30–3389,99
			PS (SP)	9SP	3031,98–3389,95
			PO (ELO2)	9R0	3030,05–3389,97
			PO (ELO3)	9R1	3031,53–3389,94
			PO (EL09)	9R2	3031,91–3389,79
9 cd.			PO (EL18)	9R5	3036,72–3389,81
			PO (EL09)	9RL	3025,10–3389,93
			PO (EN10)	9RS	3025,20–3389,78
			POst (LL3)	9RT	3030,02–3389,99
			Psr (CALI)	9SR	3009,67–3383,72
			PK	9PK	3040–3380
10	21.02.77	3850,5 151 mm	PG (GR)	APG	3278,34–3824,46
			PNG (GNT)	APN	3279,43–3827,25
			PGG (GGTN)	AGG	3246,95–3839,87
			PG (k)	AGK	3299,26–3359,62
			PNG (k)	ANK	3298,43–3360,39
			PS (SP)	AP1	3033,58–3839,50
			PS (SP)	APS	3032,30–3836,98
			PO (EL02)	AR0	3322,70–3846,93
			PO (ELO3)	AR1	3320,67–3842,32
			PO (ELO9)	AR2	3320,00–3840,00
			PO (EL18)	AR5	3322,30–3837,32
			PO (EL09)	ARL	3025,15–3848,75
			PO (EN10)	ARS	3313,26–3846,20
			POst (LL3)	ART	3310,13–3843,07
			Psr (CALI)	ASR	3010,23–3836,21
11	7.03.77	3850,5	PA (SONIC)	APA	3021,07–3839,87
			T1 (T1)	AT1	3020,32–3839,81
			T2 (T2)	AT2	3020,01–3839,70
			PK	APK	3300,00–3840
11	7.03.77	3850,5	PTu (TEMP)	BTU	26,98–3044,95

wykonano w zdecydowanej większości otworów wiertniczych na obszarze Polski).

Zastosowane metody opracowywania danych geofizycznych i ich normowania przedstawiono w opracowaniach archiwalnych (Szewczyk, 2000; Szewczyk i in., 2001).

Odcinki głębokościowe poszczególnych badań strefowych miały co najmniej 50-metrowe zakładki (powtórzenia) głębokościowe w stosunku do badań wcześniej wykonanych w odcinku leżącym wyżej, a część badań wykonywano każdorazowo w całej niezarurowanej części profilu. Ponadto dla większości metod badawczych w odcinkach profilu o największym zróżnicowaniu parametrów petrofizycznych

wykonano, w odcinkach nie mniejszych niż 50 m, badania kontrolne. Głównym celem tych badań było określenie stopnia stabilności pracy stosowanych układów pomiarowych.

Na [figurze 48](#) przedstawiono zgeneralizowany profil stratygraficzno-litologiczny wraz z wynikami unormowanych i połączonych wartości profilowania naturalnego promieniowania gamma, a także profilowania średnicy otworu, ze wskazaniem głębokości połączenia poszczególnych odcinków badań. Pokazano równocześnie rdzeniowane fragmenty profilu, wraz z informacją o efektywności rdzeniowania, tj. o uzyskach rdzenia.

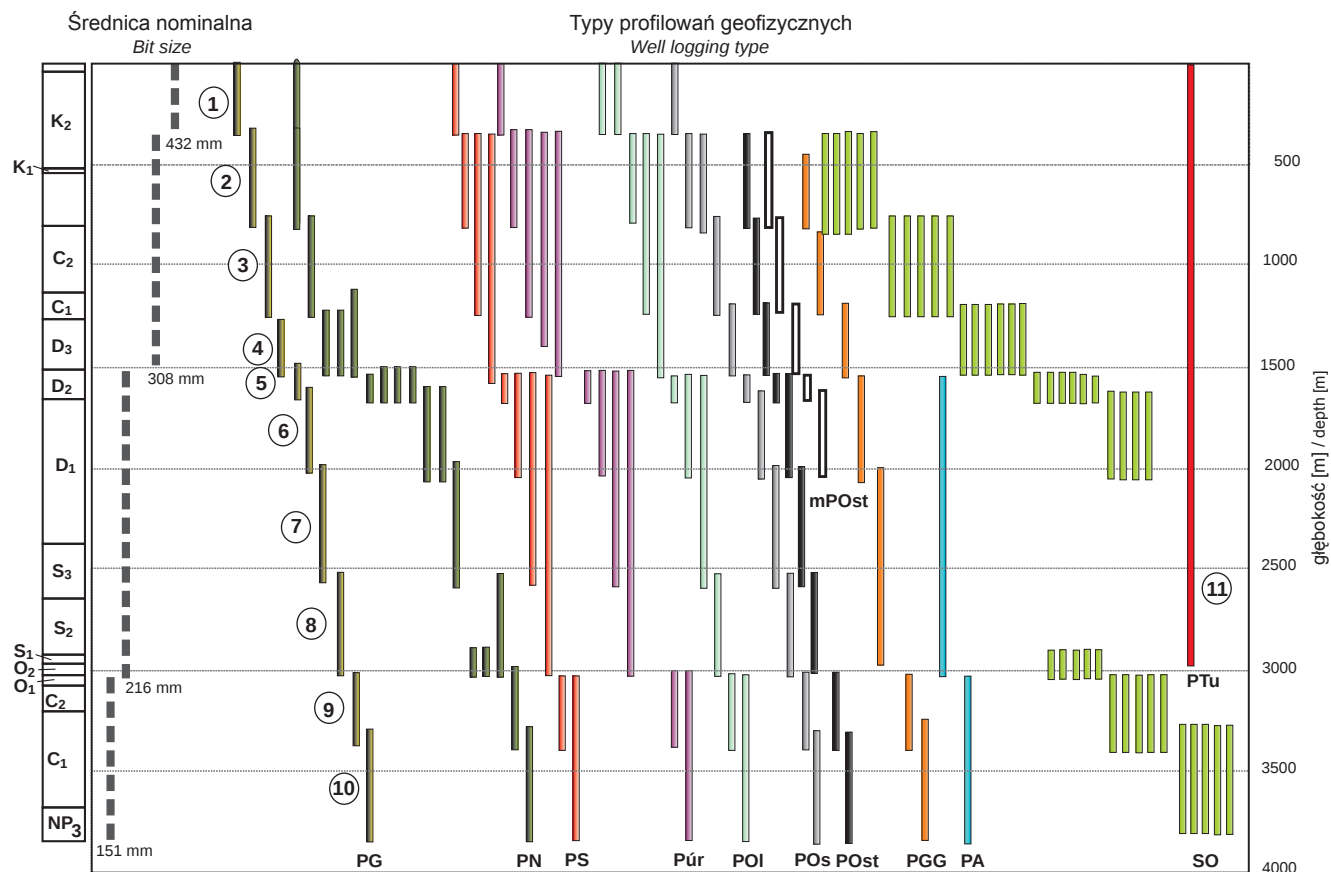


Fig. 47. Schematyczne, uproszczone zestawienie głębokościowe typów badań geofizycznych wykonanych w otworze wiertniczym Terebin IG 5

Podano głębokości odcinków o różnych średnicach nominalnych oraz nazwy poszczególnych typów profilowań

Schematic simplified summary depth presentation of types well logging methods performed in Terebin IG 5 borehole

Given the depth of sections of different nominal diameters and the names of the various type logs

METODY PRAC INTERPRETACYJNYCH

Podjęte na początku lat 90. XX wieku w Państwowym Instytucie Geologicznym systematyczne prace metodyczne oraz interpretacyjne, a także utworzenie systemu baz danych geofizyczno-geologicznych wraz z autorskim systemem interpretacyjnym GEOFLOG, stworzyło warunki do prowadzenia systematycznych prac interpretacyjnych w odniesieniu do najważniejszych otworów badawczych z obszaru Polski (Szewczyk, 1994, 1998b, 2000). Prace takie, wykorzystujące jednolite metody interpretacyjne, wykonano w latach 1995–2008 w odniesieniu do ponad 300 głębokich otworów badawczych. Wyniki tych prac wykorzystywano dotychczas w opracowaniach dotyczących pola cieplnego dla obszaru Polski, sekwestracji CO₂, rozpoznania warunków hydrogeologicznych, możliwości stosowania technologii HDR, a także w zagadnieniach hydrogeologicznych oraz geotermalnych. Również otwór Terebin IG 5 objęto opisanymi powyżej pracami badawczymi.

Znaczny zakres rdzeniowania zrealizowany w otworze Terebin IG 5 oraz bardzo obszerny program badań laboratoryjnych parametrów petrofizycznych stworzyły szczególnie dobre warunki do ilościowych interpretacji parametrów petrofizycznych, w tym wykonania *post factum* kalibracji danych radiometrycznych.

Wyniki badań geofizycznych wykorzystano zarówno w trakcie ustalania profilu litologiczno-stratygraficznego, jak i przy wyborze warstw wodonośnych bądź ich fragmentów, istotnych do rozpoznania parametrów hydrogeologicznych oraz hydrodynamicznych wód podziemnych. W trakcie realizacji wiercenia oraz bezpośrednio po jego zakończeniu zostały przeprowadzone przez wykonawców badań prace interpretacyjne, stanowiące podstawę m.in. do wyboru interwałów profilu wiercenia do badań hydrogeologicznych. Obszerne sprawozdanie z tych prac zamieszczono w opracowaniu dokumentacyjnym Wojtowicza (1977).

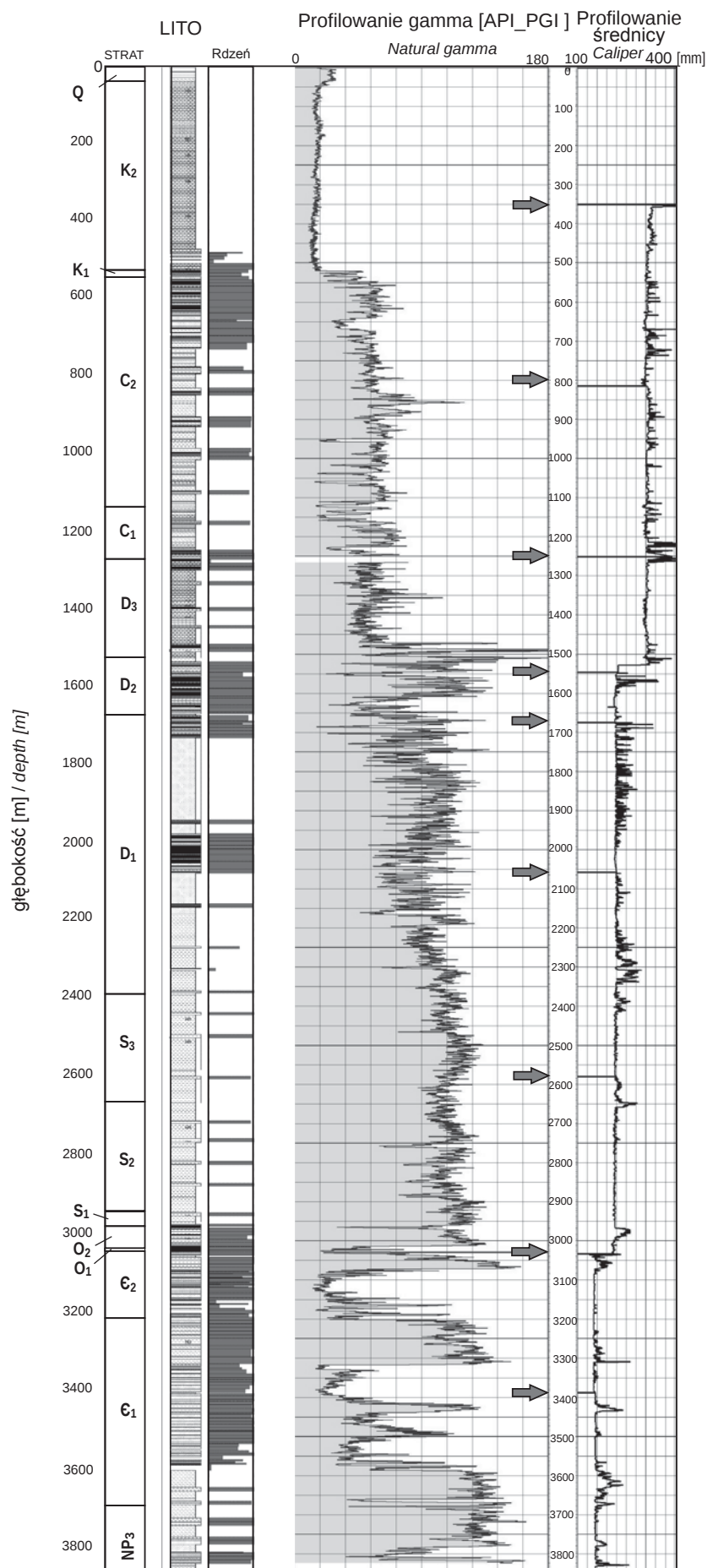


Fig. 48. Unormowane wartości profilowania naturalnego promieniowania gamma. Na wykresie profilowania średnicy otworu wskazano miejsca połączeń poszczególnych odcinków pomiarowych. Przedstawiono również profil stratygraficzny, litologiczny z wyszczególnieniem odcinków rdzeniownia oraz z informacją na temat uzysków rdzenia

Composed normalized values of natural gamma radiation logs. The graph indicates the caliper log with depth of joined various log runs. It also presents the profile of stratigraphic, lithological sections with cores intervals with information on the yields of the core

W ramach prac interpretacyjnych wykonanych przez PIG m.in.:

- opracowano cyfrowy opis profilu wiertniczego (LITO);
- opracowano warstwowy (GEO) oraz objętościowy (VOL) geofizyczny profil litologiczny;
- wyznaczono wielkość przesunięć głębokościowych między głębokościami określonymi na podstawie długości przewodu wiertniczego a głębokościami określonymi na podstawie pomiarów geofizycznych;
- dokonano kalibracji *post factum* profilowań radiometrycznych z wykorzystaniem jako elementu kontrolnego wyników badań laboratoryjnych, obliczono porowatość całkowitą oraz efektywną, gęstość objętościową w stanie powietrzno-suchym i nasyconym, a także prędkość fal akustycznych;
- obliczono przewodność cieplną skał oraz gęstość strumienia ciepłego, wraz ze zmiennością głębokościowej temperatury dla warunków ustabilizowanych.

CYFROWY OPIS PROFILU LITOLOGICZNEGO

Punktem wyjściowym do prac interpretacyjnych było opracowanie cyfrowego opisu profilu wiertniczego oparte go zarówno na informacjach dotyczących rdzenia wiertniczego, jak i próbek okruchowych (Gientka, Szewczyk, 1996). Uzyskiwany w ten sposób cyfrowy opis litologii (LITO) dowiązywano i uogólniano na warstwowy profil geofizyczny (GEO) opracowywany na podstawie analiz profilowań geofizycznych. W procesie interpretacji uwzględniano zarówno wzajemne przesunięcia głębokościowe obu typów informacji, jak i niepełny uzysk rdzenia.

Dane geofizyczne wykorzystano w trakcie prac dokumentacyjnych do opracowania profilu litologicznego otworu. Jednym z istotnych zadań wykonanych badań geofizycznych było wydzielenie w profilu warstw węgla kamiennego. Z tego powodu w otworze prowadzono, wspomniane wcześniej, badania w skałach głębokościowych 1:200 oraz 1:50. Na ich podstawie zidentyfikowano w obrębie utworów karbonu 38 warstw węgla o miąższości od kilkunastu metrów do nieco

ponad jednego metra. Zastosowany kompleks metod geofizycznych (PGG, mPOst oraz Pśr) dawał możliwość jednoznacznego, dokładnego wydzielenia warstw węgla. Wyszczególnienie wydzielonych warstw węgla podano w wymienionym wcześniej opracowaniu Wojtowicza (1977).

Ważnym elementem procesu rozpoznania profilu wiercenia było określenie wielkości przesunięć głębokościowych między wiertniczą a geofizyczną miarą głębokościową, ocenianą odpowiednio na podstawie długości przewodu wiertniczego oraz długości kabla geofizycznego. Na [figurze 49](#) przedstawiono wielkość tych przesunięć dla granic warstw litologicznych zidentyfikowanych i przyporządkowanych sobie wzajemnie w profilach LITO oraz GEO. W interpretacjach danych rdzeniowych, w przypadku niepełnego jego uzysku, przyjęto zasadę dowiązywania głębokościowego do stropu odcinka rdzeniowanego.

Proces obliczeń parametrów petrofizycznych poprzeczano podziałem profilu na metodyczne odcinki interpreta-

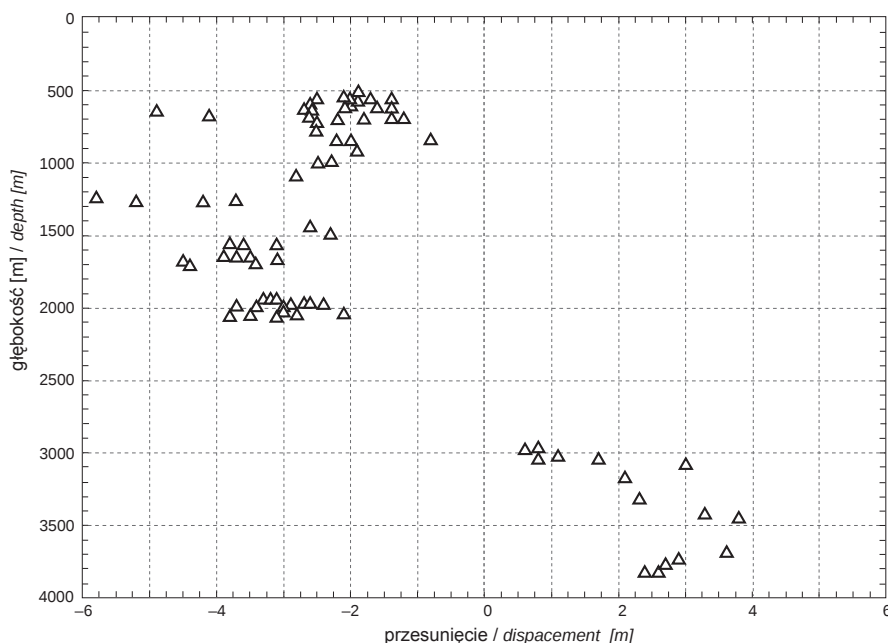


Fig. 49. Różnice między głębokością wiertniczą oraz geofizyczną dla profilu otworu wiertniczego Terebin IG 5

Differences between drill depth vs logs depth for profile of Terebin IG 5 borehole

cyjne, w których obrębie możliwe było przyjęcie określonych stałych parametrów interpretacyjnych, takich jak:

- minimalny oraz maksymalny poziom zailenia;
- zakres zmian porowatości neutronowej;
- porowatość neutronowa frakcji ilastej;
- gęstość szkieletu prędkości skały oraz składnika ilastego;

– prędkość w fazie stałej skały.

Dla każdego z wybranych odcinków przyjęto parametry metodyczne pozwalające na uzyskanie możliwie najlepszej zgodności z wynikami badań laboratoryjnych. Parametrem kontrolnym była tu m.in. statystyczna zgodność uzyskiwanych wyników z wynikami badań laboratoryjnych.

DANE LABORATORYJNE

Ważną rolę w procesie interpretacji danych geofizycznych, obok jakościowych opisów litologii, odegrały dane laboratoryjne. W otworze Terebin IG 5 danych takich było wyjątkowo dużo. Badania laboratoryjne zostały przeprowadzone w różnym czasie niezależnie przez trzy instytucje. Wykonano:

- rutynowe badania laboratoryjne parametrów petrofizycznych prowadzone na terenie otworu w trakcie jego głębinienia przez Geoserwis;
- badania gęstości objętościowej przeprowadzone prawdopodobnie w latach 1985–1987 przez Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych (ponad 6200 oznaczeń!);
- badania przewodności cieplnej próbek rdzeniowych przeprowadzone w 1995 r. przez Politechnikę Gliwicką.

Na pierwszą grupę badań, najcenniejszą dla prac interpretacyjnych, składały się badania porowatości całkowitej oraz efektywnej, gęstości objętościowej w stanie powietrzno-suchym oraz gęstości właściwej, a także przepuszczalności poprzecznej i podłużnej, oraz zawartości kalcytu

oraz dolomitu. Te ostatnie parametry badano zarówno dla próbek rdzeniowych, jak i próbek okruchowych. Łącznie zbadano 879 próbek, w tym 329 próbek rdzeniowych z pełnym zakresem badań. Badania Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych miały związek z rozpoznaniem gęstościowym pod kątem modelowań grawimetrycznych. Dla około 530 próbek oznaczono porowatość efektywną; miało to pomóc w uwzględnieniu wpływu gęstości wody w przestrzeni porowej skał (!). Istotnym mankamentem omawianych badań był brak dokładnego dowiązania głębokościowego badanych próbek (podawana jest jedynie głębokość stropu i spągu rdzenia).

Trzecia grupa badań wykonywanych przez Politechnikę Gliwicką dotyczyła przewodności cieplnej próbek rdzeniowych. Badania wykonano dla 151 próbek.²

Przy uwzględnieniu zakresu badań laboratoryjnych, Terebin IG 5 jest jednym z najpełniej zbadanych pod względem parametrów petrofizycznych otworów w Polsce.

PROFILE WŁAŚCIWOŚCI PETROFIZYCZNYCH

Ważnym elementem interpretacyjnym była wykonywana *post fatum* kalibracja stosowanych w badaniach sond radiometrycznych (Szewczyk, 1998, 2000). Otrzymane w ten sposób informacje pozwalają na obliczenie objętościowego profilu litologicznego (VOL) badanych otworów wiertniczych, z uwzględnieniem zarówno istniejących opisów litologicznych, jak i wyników badań parametrów petrofizycznych uzyskiwanych na podstawie badań laboratoryjnych. W zastosowanej procedurze interpretacyjnej przyjęto 3-składnikowy model objętościowy skały (przestrzeń poro-

wa + zailenie + szkielet skały). Poprawność przyjmowanych parametrów metodycznych, jak i wybieranych głębokościowych odcinków metodycznych (o stałych parametrach interpretacyjnych) oceniano metodą iteracyjną, na podstawie statystycznej zgodności uzyskiwanych wyników z wynikami badań laboratoryjnych (porowatości i gęstości) oraz zgodności obliczonej prędkości fal akustycznych z jej obserwowanymi wartościami zarejestrowanymi w pomiarach akustycznych wykonanych w otworze.

POROWATOŚĆ CAŁKOWITA

Na [figurze 50](#) przedstawiono wyniki obliczeń porowatości całkowitej dla profilu otworu Terebin IG 5, a na [figurze 51](#) – analizę tych danych w relacji do wyników laboratoryjnych określań tego parametru. Mankamentem wyników badań laboratoryjnych jest ich niska reprezentatyw-

ność – nawet w odniesieniu do odcinków rdzeniowych ([fig. 51](#)). Z kolei na wyniki geofizyczne może wpływać głównie zmienna średnica wiercenia (dla sond, którymi wykonywano badania brak jednak możliwości uwzględnienia wpływu tego czynnika).³

² Ze względu na drastycznie odmienne pod względem przewodności cieplnej właściwości wody czy minerałów od przewodności powietrza wypełniającego przestrzeń porową – niepełne wypełnienie tej przestrzeni wodą prowadzi do wyraźnego zaniżenia wartości tego parametru dla całej badanej próbki.

³ Dla sond, którymi wykonywano w latach 1968–1994 większość badań w otworach wiertniczych na obszarze Polski, obecny stan wiedzy nie pozwala na uwzględnienie wpływu tego czynnika.

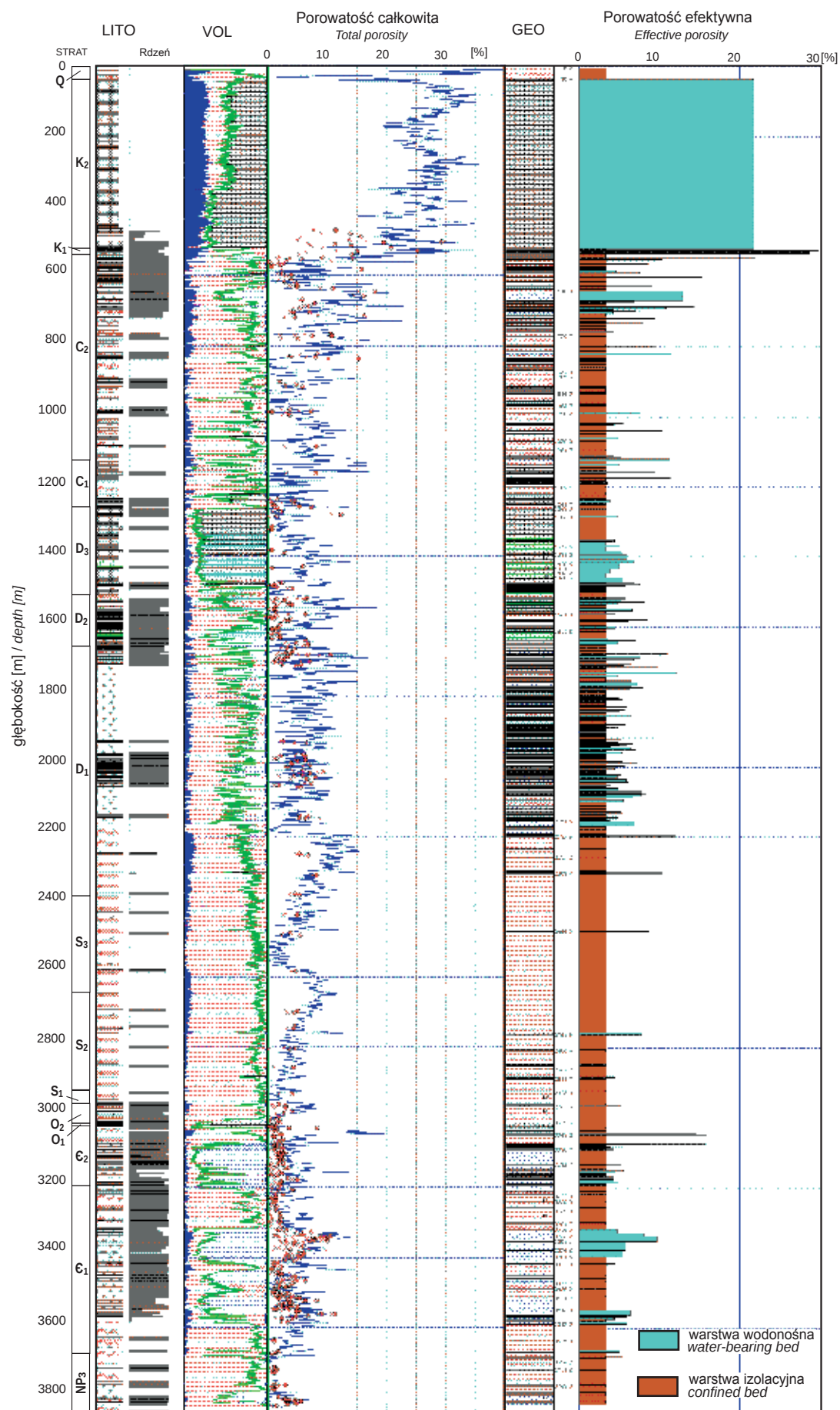


Fig. 50. Zestawienie litologicznego profilu wiertniczego (LITO), geofizycznego (GEO) oraz objętościowego (VOL) z obliczonymi wartościami porowatości całkowitej oraz efektywnej. Dla porównania przedstawiono również wyniki laboratoryjnych określeń obydwu parametru uzyskanych na podstawie badań Geoserwisu

Summary of lithological drill profile (LITO), geophysical (GEO) and volume (VOL) lithological profiles with the calculated values of the total and effective porosity. Results of laboratory data after Geoserwis lab are also show for comparison

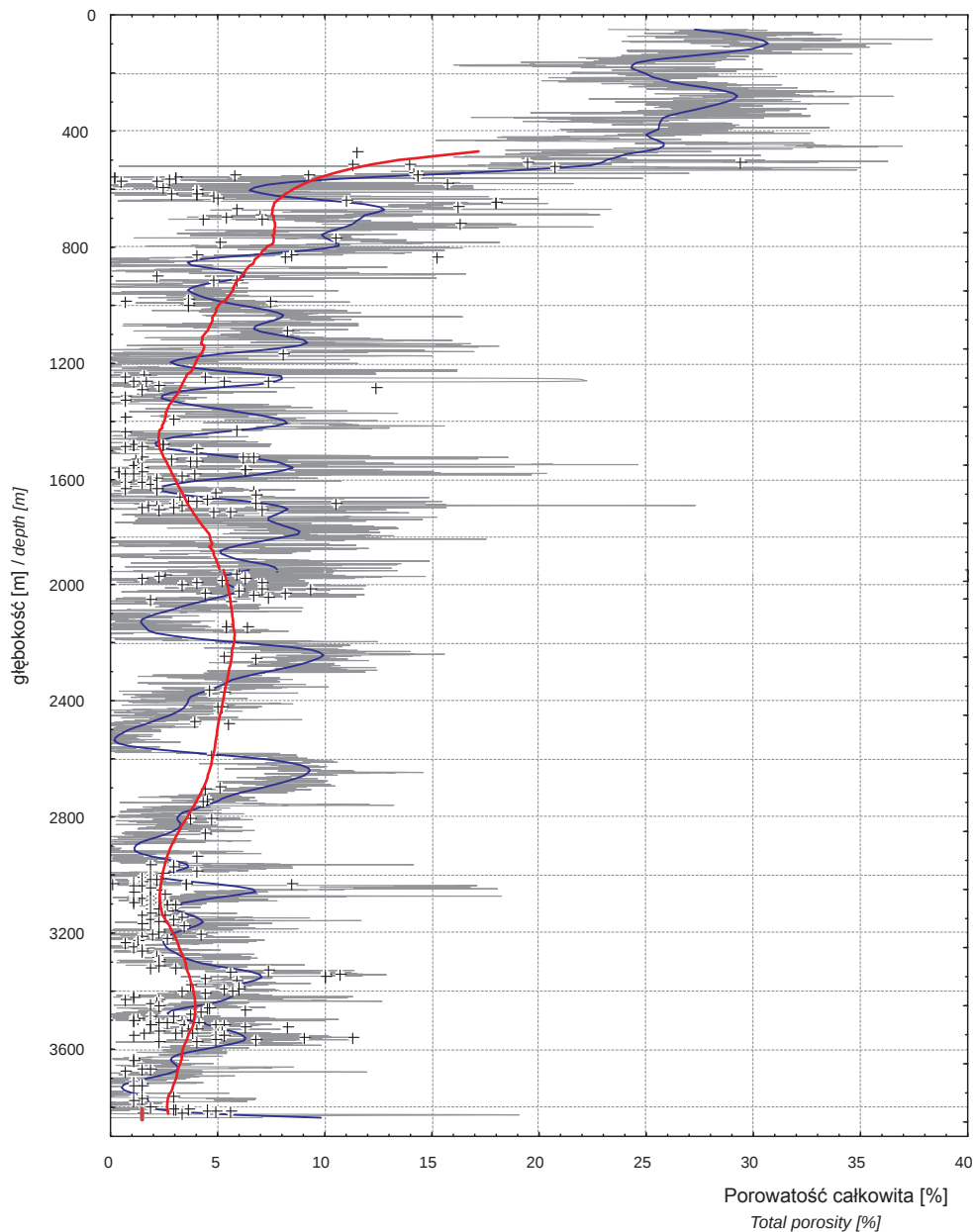


Fig. 51. Porównanie wyników geofizycznych (LOGS) oraz laboratoryjnych (LAB) określenia porowatości całkowitej, uśrednionych w obydwu przypadkach metodą wygładzania odwrotnie wykładniczego

Dane geofizyczne są prezentowane jako ciągła krzywa, dane laboratoryjna punktowe (krzyżyki), wartości uśrednione – odpowiednio – jako krzywa niebieska oraz czerwona

Comparison of the results of geophysical (LOGS) and laboratory determination of total porosity (LAB), averaged in both cases inversely exponential smoothing method

Geophysical data presented as a continuous curve, laboratory data point (crosses), values averaged – blue and red curve, respectively

GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA

Gęstość objętościową w stanie powietrzno-suchym (G_o) obliczano na podstawie określonego objętościowego udziału składników stałych skały oraz porowatości całkowitej na podstawie zależności:

$$G_o = G_w (1 - \Phi - Sh) + G_{sh} \cdot Sh$$

Dla modelu 3-składnikowego skały w stanie nasyconym (G_oN):

$$G_oN = G_w (1 - \Phi - Sh) + G_{sh} \cdot Sh + G_m \cdot \Phi$$

gdzie:

G_w – gęstość właściwa szkieletu (w całości),

G_{sh} – gęstość składnika ilastego,

G_m – gęstość medium nasycającego przestrzeń porową.

Sh – objętościowa zawartość składników ilastych skały (minerały ilaste + frakcja ilasta = zailenie).

Na [figurze 52](#) przedstawiono wartości gęstości objętościowej obliczonej z wynikami laboratoryjnych oznaczeń tego parametru dla obydwu grup wyników badań laboratoryjnych dla stanu powietrzno-suchego, wykonanych przez Geoservis oraz PBG. Dla porównania uzyskane wyniki interpretacji zestawiono z wynikami badań parametrów fizycznych uzyskanych na podstawie badań laboratoryjnych.

Widać wyraźnie lepszą zgodność danych geofizycznych z wynikami pierwszej grupy danych pomiarowych. Jednym z możliwych powodów wyższych wartości gęstości dla wyników PBG może być niepełne wysuszenie badanych próbek. Zagadnienie to, jak i wiele innych związanych z uzyskanymi danymi, wymaga dalszych szczegółowych badań. Analiza taka daleko wykracza poza ramy niniejszego opracowania. Zaprezentowane wyniki uwiarykowują wyraźnie negatywny wpływ zarówno fragmentarycznego, jak i niepełnego uzysku rdzenia na uzyskiwane wyniki badań. Niewątpliwą zaletą metody geofizycznej jest zdecydowanie większa reprezentatywność danych obejmujących cały badany profil wiercenia, wadą – znaczny błąd kalibracji tych danych, a także niepewność pomiarów.

Istnienie dla otworu wiertniczego Terebin IG 5 bardzo obszerne, unikatowe zasoby danych laboratoryjnych oraz równoczesnego szerokiego zakresu wykonanych badań geofizycznych stwarza rzadką okazję do poznania relacji między tymi zbiorami danych, w tym przypadku w odniesieniu do utworów karbonu, dewonu oraz kambru. Dane te powinny stać się obiektem szczegółowych analiz pod kątem odpowiedniego prognozowania właściwości poszczególnych formacji istotnych przy sekwestracji CO_2 , pozyskiwaniu energii geotermalnej, czy ocenie warunków występowania surowców mineralnych.

PROFIL PRĘDKOŚCIOWY

Uzyskany w wyniku procesu interpretacyjnego objętościowy model skał występujących w profilu stworzył warunki do obliczeń wartości prędkości fal akustycznych, a także, co zostanie przedstawione w dalszej części pracy, przewodności cieplnej skał. Zastosowane w systemie interpretacyjnych GEOFLOG metody obliczeń prędkości opisano we wcześniejszej pracy autora (Szewczyk, 1998). Wyniki bezpośrednich rejestracji prędkości fal akustycznych (DT) uzyskane w trakcie badań wykonanych w otworze Terebin IG 5 objęły jedynie odcinek profilu poniżej głęb. 1540 m, a i tu wykonane badania, ze względu na niską jakość stosowanego wówczas (1975–1997) sprzętu pomiarowego, nie pozwalały na uzyskanie dostatecznie wiarygodnych wyników (błędy

wynikające przede wszystkim z istnienia przeskoków faz).

Ważnym elementem oceny poprawności uzyskiwanych wyników, możliwym do stosowania w większości otworów, są wyniki prędkości pseudo-akustycznej (DT_{VSP}) uzyskiwane na podstawie sejsmicznych pomiarów prędkości wykonywanych w otworze. Na [figurze 53](#) przedstawiono zestawienie wszystkich trzech metod badawczych.

Stopień zgodności obliczonych wartości DTS z jego odpowiednikami pomiarowymi DT oraz DT_{VSP} jest równocześnie niezależnym, ważnym wskaźnikiem poprawności wyników interpretacji modelu objętościowego skał występujących w profilu wiercenia. W tym przypadku dla otworu Terebin IG 5 jest to zgodność, którą można uznać za bardzo dobrą.

CHARAKTERYSTYKA TERMICZNA PROFILU OTWORU

Określenie objętościowego modelu litologiczno-porowatościowego skał profilu otworu wiertniczego stworzyło warunki do obliczeń przewodności cieplnej (Szewczyk, 2001; Szewczyk, Gientka, 2009). Dla otworu Terebin IG 5 wykonano również badania laboratoryjne tego parametru dla 135 próbek pobranych z rdzeni wiertniczych. Badania

przewodności cieplnej próbek rdzeniowych przeprowadzono w 1995 r. dla próbek znajdujących się prawdopodobnie w warunkach zbliżonych do znacznego ich wysuszenia (badania wykonywane po blisko 20 latach od wydobywania rdzenia). Konsekwencją tego było lokalnie bardzo duże,

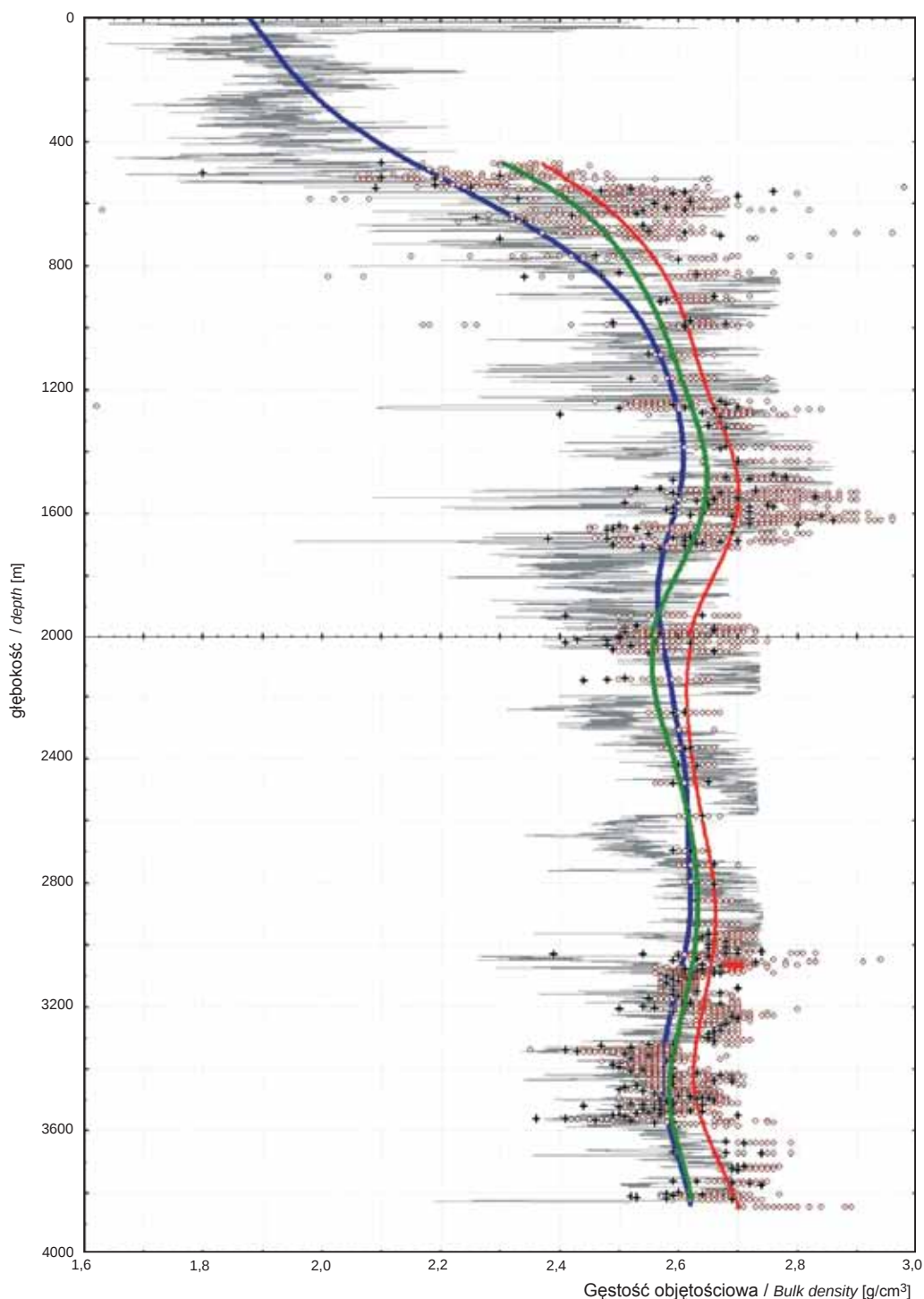


Fig. 52. Porównanie wyników badań geofizycznych (LOGS) oraz laboratoryjnych (Goeserwis i PBG) gęstości objętościowej w stanie powietrzno-suchym uśrednionych metodą wygładzania odwrotnie wykładniczego

Dane geofizyczne prezentowane jako ciągła krzywa, dane laboratoryjna punktowe (krzyżyki oraz kółka) wartości uśrednione – odpowiednio – krzywa niebieska, zielona oraz czerwona

Comparison of the results of geophysical (LOGS) and laboratory (GEOSERWIS & PBG) determination of dry bulk density, averaged in all cases inversely exponential smoothing method

Geophysical data presented as a continuous curve, laboratory data point (crosses and circles), averages – curve blue, green and red, respectively

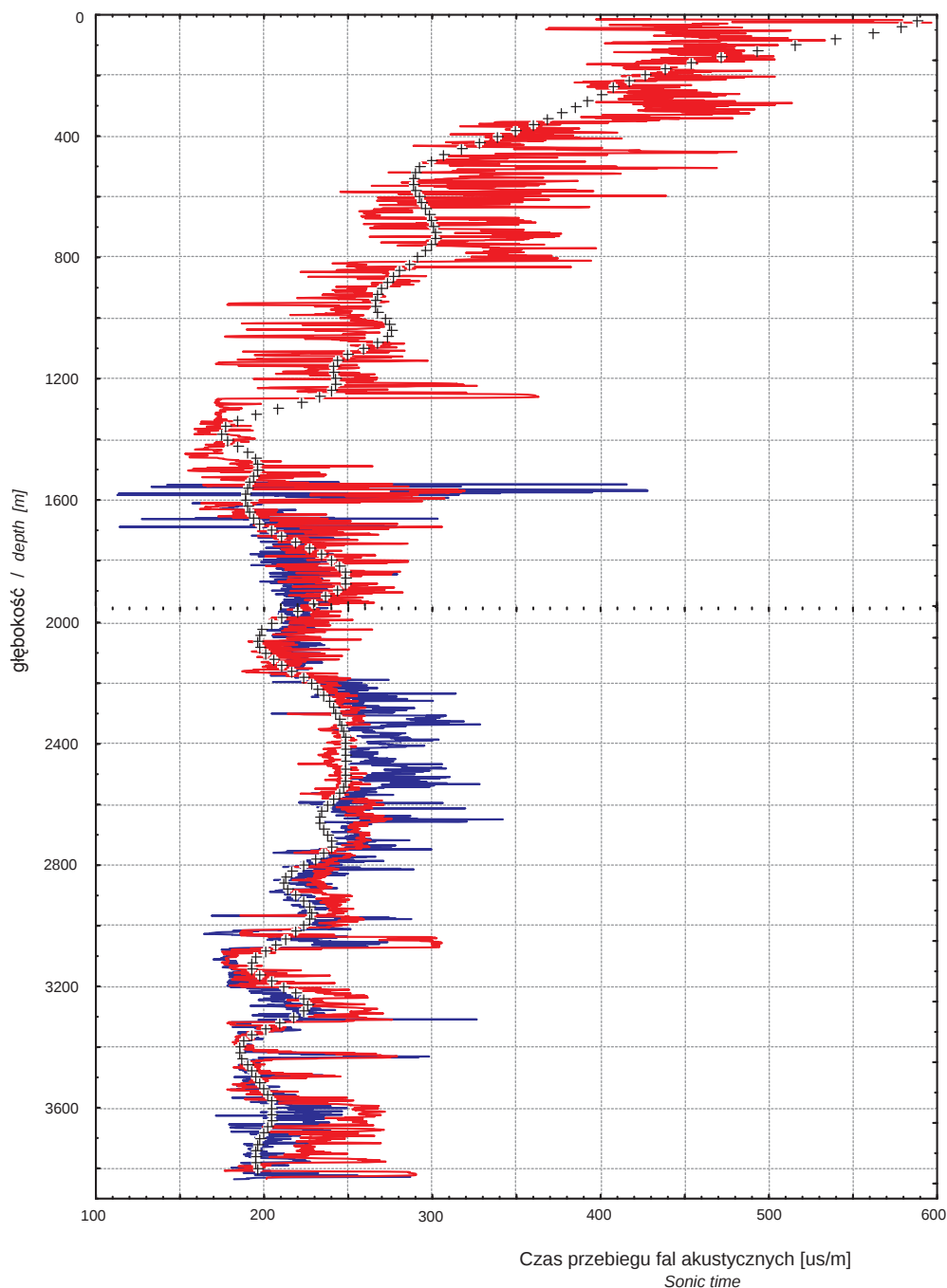


Fig. 53. Zestawienie pomiarów czasu przebiegu fal akustycznych ocenionych na podstawie: bezpośrednich pomiarów akustycznych (DT – krzywa niebieska), pomiarów sejsmicznych (DT_VSP – czarne krzyżyki) oraz interpretacji danych geofizycznych (DTS – krzywa czerwona)

Graph of sonic travel time evaluated on the basis of direct measurements of sonic logs (DT-blue curve), calculated from the seismic data (DT_VSP – black crosses) and calculated on the basis of the interpretation of geophysical data (DTS – red curve)

zdaniem autora, odbieganie oznaczeń wartości przewodności cieplnej w obrębie utworów ilastych syluru (fig. 54).²

Na figurze 54 przedstawiono zestawienie przewodności cieplnej obliczonej na podstawie modelu objętościowego skał występujących w profilu (Szewczyk, 2001) oraz przewodności cieplnej określonej laboratoryjnie.

² Ze względu na drastycznie odmienne pod względem przewodności cieplnej właściwości wody czy minerałów od przewodności powietrza wypełniającego przestrzeń porową, niepełne wypełnienie tej przestrzeni wodą prowadzi do wyraźnego zaniżenia wartości tego parametru dla całej badanej próbki.

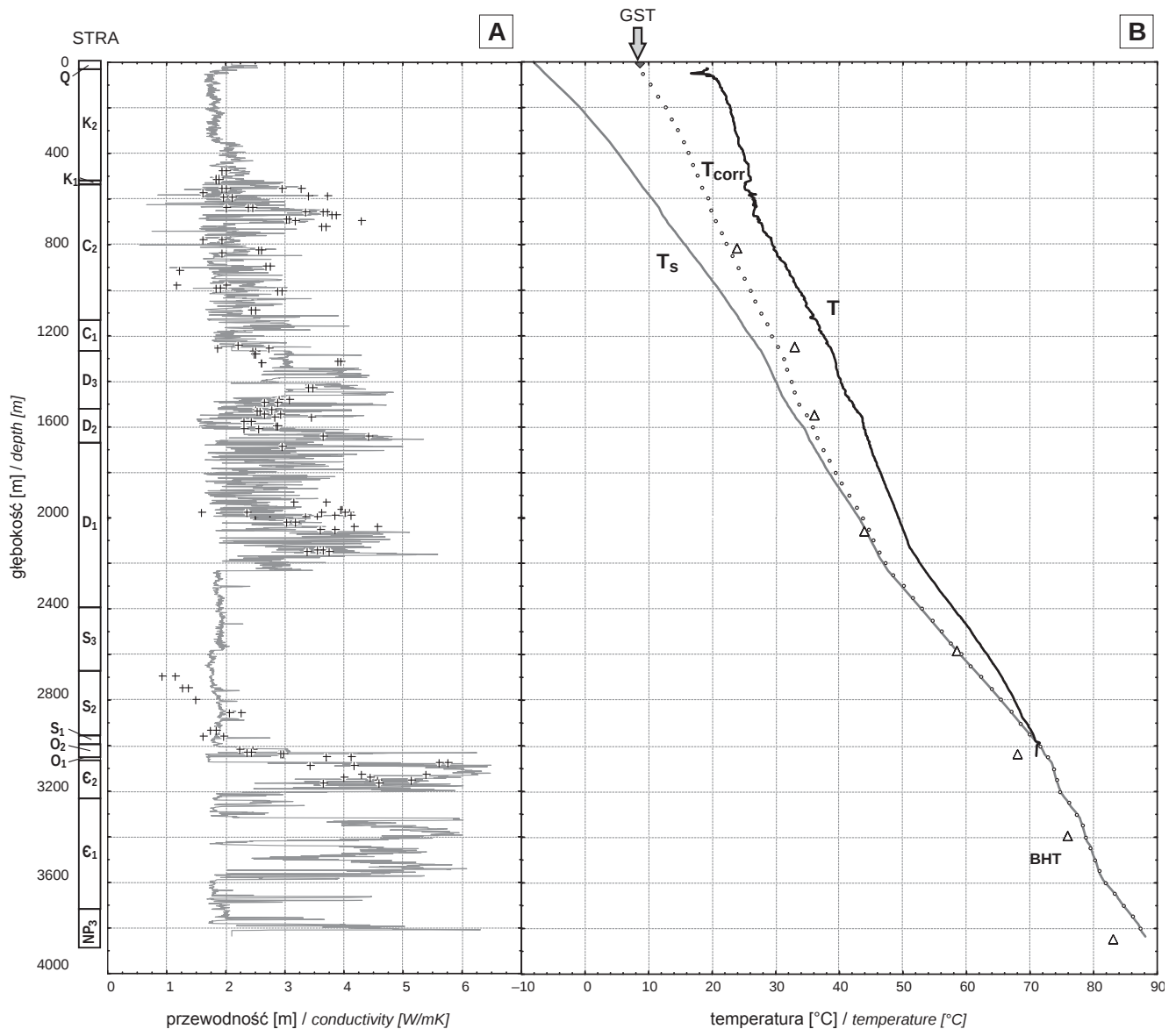


Fig. 54. Charakterystyka termiczna otworu wiertniczego Terebin IG 5

A – przewodność ciepła skał tworzących profil, obliczona na podstawie danych geofizycznych; krzyżyki – wyniki badań laboratoryjnych tego parametru. **B** – wyniki badań termicznych, T – zarejestrowana wartość temperatury dla warunków zbliżonych do ustalonych, T_s – temperatura syntetyczna obliczona na podstawie przewodności termicznej skał, T_{corr} – obliczona temperatura niezaburzona dla warunków ustabilizowanych, BHT – strefowa-temperatura maksymalna

Thermal characteristics of Terebin IG 5 borehole

A – thermal conductivity of rock-forming profile, calculated on the basis of geophysical data; crosses marked laboratory results of this parameter. **B** – geothermal data, T – recorded temperature for conditions similar to the set, T_s – temperature synthetic calculated on the basis of thermal conductivity of rocks, T_{corr} – stable temperature, BHT – the maximum temperature zone

W otworze Terebin IG 5 wykonano badania termiczne w warunkach, jak zakładano, zbliżonych do ustalonych (po około 14 dobach stójki). Uzyskane wyniki profilowania przedstawiono na [figurze 54](#). Ze względu na utratę drożności otworu pomiar temperatury wykonano do głęb. 3045 m (przy całkowitej końcowej głębokości otworu wynoszącej 3850,5 m). W otworze przeprowadzono w odcinkach po-

szczególnych badań strefowych pomiaru temperatury maksymalnej (BHT) w nieustalonych warunkach termicznych. Wyniki tych badań przedstawiono w [tabeli 47](#).

Dla rejonu otworu wiertniczego wieloletnia średnia wartość temperatury strefy przypowierzchniowej (GST) wynosi $T = 9,32^{\circ}\text{C}$. Widoczna jest znaczna, sięgająca ponad 11°C , różnica między wartością temperatury ekstrapolowanej do

Tabela 47

Wartości temperatury maksymalnej (BHT) w otworze wiertniczym Terebin IG 5

Bottom Hole Temperature (BHT) in Terebin IG 5 borehole

Głębokość [m]	349	815	1250	1546	2058	2581	3035	3389	3825
Temperatura [°C]	14.1	24	33	36	44	58.5	68	765	83

powierzchni terenu na podstawie zarejestrowanej wartości profilowania termicznego a wymienionej wartości GST. Podobnie zarejestrowane wartości BHT są zdecydowanie niższe od wartości temperatury tego profilowania. Szczegółowa analiza reżimu termicznego dla badanego otworu, oparta na obliczonych wartościach przewodności cieplnej i paleotemperatury, wykazuje zdecydowanie nieprawidłowy charakter zarejestrowanego profilowania termicznego (poza wpływem zaburzenia termicznego, wpływ mogła mieć również prawdopodobna błędna kalibracja przyrządu pomiarowego).

Pomiar ten nie powinien być stosowany w analizach pola termicznego dla otworu wiertniczego Terebin IG 5.

Na podstawie wyliczonych wartości przewodności cieplnej profilu oraz wartości BHT obliczono wielkość gęstości strumienia ciepłego oraz wartości paleotemperatury dla zlodowacenia wisły. Wartość strumienia wynosząca 58,5 mW/m² jest typowa dla badanego obszaru (Szewczyk, Gientka, 2009). Po przyjęciu amplitudy średniej temperatu-

ry w okresie ostatniego zlodowacenia, a okresem interglacjału holocenijskiego, określonej przez autora na 18°C, obliczono rozkład głębokościowy współczesnej temperatury niezaburzonej dla profilu otworu Terebin IG 5. Wszystkie omawiane typy temperatury przedstawiono na [figurze 54](#).

Na [figurze 54](#) pokazano także zestawienie m.in. 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 a wynikami bezpośredniego pomiaru temperatury T są efektem zarówno niepełnej stabilizacji termicznej otworu, jak i nieliniowości układu pomiarowego. Na [figurze 52](#) 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.

WARSTWY WODONOŚNE – MINERALIZACJA WÓD PODZIEMNYCH

Jednym z ważnych celów badawczych wykonanych otworów wiertniczych, zgodnie z przyjętymi założeniami, było wydzielenie warstw wodonośnych, ze szczególnym uwzględnieniem warstw mogących potencjalnie zawierać bituminy. Na [figurze 50](#) przedstawiono obliczone średnie wartości porowatości efektywnej dla profilu otworu Terebin IG 5 z wydzielonymi poziomami wodonośnymi oraz izolacyjnymi (nieprzepuszczalnymi), a także lokalizacją głębokościową fragmentów profilu poddanych badaniom hydrogeologicznym. Ważnym wskaźnikiem obecności stref przepuszczalnych w profilu były wyniki czasowych zmian oporności oraz wielkości potencjałów samoistnych (PS) omówionych we wcześniejszej części opracowa-

nia. Ze względu na obszerny charakter tej problematyki pominięto omówienie tych zagadnień w niniejszym opracowaniu.

Na [figurze 55](#) przedstawiono głębokościowe zestawienie mineralizacji wód podziemnych z badanych poziomów wodonośnych, porównane z wartościami mineralizacji obserwowanymi na obszarze Niżu Polskiego. Linia ciągłą pokazano wartość średnią mineralizacji, obliczoną metodą najmniejszych kwadratów.

Wody podziemne dla badanego obszaru z wszystkich zbadanych poziomów wodonośnych wykazują zdecydowanie niższą mineralizację w stosunku do wartości średnich obserwowanych na obszarze Niżu Polskiego.

PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

W otworze wiertniczym Terebin IG 5 wykonano bardzo obszerny, dobrze zaplanowany i zrealizowany program badań geofizyki wiertniczej. Badania przeprowadzono z bardzo dużą starannością, zdecydowanie przewyższającą pod tym względem badania wykonywane metodą pomiarów analogowych na obszarze Polski. Równie starannie przeprowadzono proces digitalizacji analogowych wyników uzys-

kanych w wyniku badań. Równoczesne wykonanie znacznej liczby badań laboratoryjnych z licznych rdzeni wiertniczych stworzyło szansę na uzyskanie zarówno obecnie, jak i w przyszłości unikatowej wiedzy w zakresie metodyki interpretacji danych geofizycznych, rejestrowanych w przeszłości metodą analogową w otworach archiwalnych. Znaczenie wyników badań uzyskanych dla otworu Terebin IG 5,

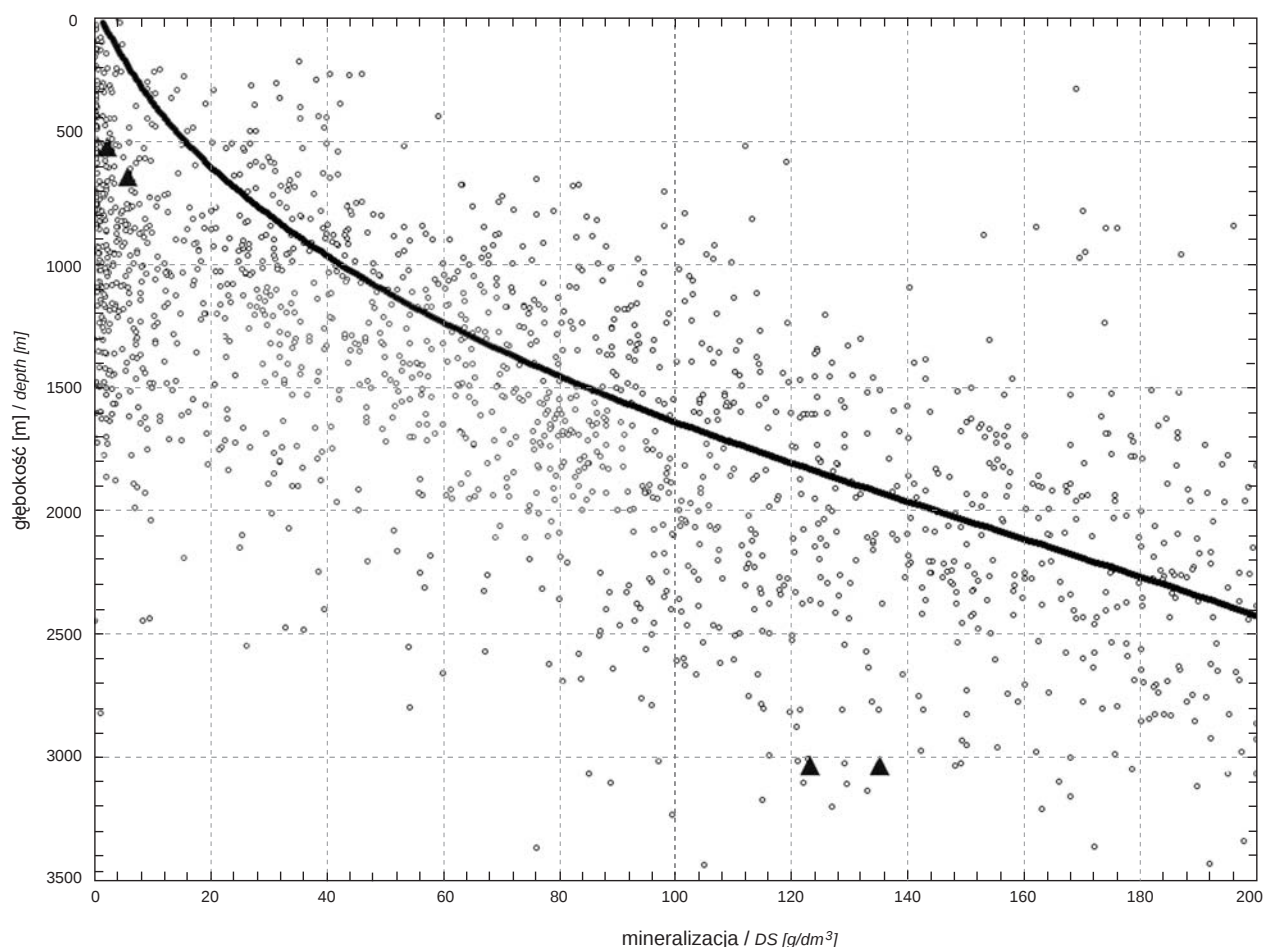


Fig. 55. Mineralizacja wód uzyskana w trakcie badań hydrogeologicznych w otworze wiertniczym Terebin IG 5, na tle zmienności mineralizacji wód na obszarze Niżu Polskiego. Pokazana została wartość średnia mineralizacji tych wód obliczona metodą najmniejszych kwadratów

Mineralization of water obtained in the course of hydrogeological investigations in the Terebin IG 5 borehole, the background variability of ground water mineralization in the Polish Lowlands. Shown is the average mineralization of these waters calculated using least squares method

zarówno geofizycznych, jak i geologicznych, ma istotne znaczenie dla procesu właściwego wykorzystania danych archiwalnych z innych otworów wiertniczych wykonanych nie tylko dla obszaru Niżu Polskiego.

Wykonane badania geofizyczne umożliwiły zarówno rozpoznanie profilu litologicznego, jak i uzyskanie informacji o cechach petrofizycznych utworów występujących w profilu otworu Terebin IG 5. Przedstawione w opracowaniu wyniki należy traktować jako ich wstępny wariant. W wyniku dalszych badań zapewne mogą one być w istotny sposób udoskonalone.

Ze względu na szeroki zakres wykonanych badań geofizycznych oraz liczne badania parametrów petrofizycznych otwór Terebin IG 5 jest prawdopodobnie jednym z najlepiej zbadanych pod tym względem otworów wiertniczych, nie tylko na obszarze lubelskim. Zdecydowaną większość wykonanych dotychczas na obszarze Polski otworów wiertniczych przebadano przy pomocy analogowej aparatury

geofizycznej, z zastosowaniem niekalibrowanych sond pomiarowych. Można z dużym prawdopodobieństwem przypuszczać, że przyrost liczby nowych otworów na obszarze Polski będzie raczej niewielki i odnoszący się jedynie do określonych obszarów. Przyrost nowych informacji na temat budowy geologicznej będzie w głównej mierze opierał się na właściwej interpretacji już istniejących danych archiwalnych.

Dane te powinny być wykorzystane w analizach związanych z pozyskiwaniem energii geotermalnej, w hydrogeologii, w analizach sekwestracji CO₂, czy też w modelowaniach wyników powierzchniowych badań geofizycznych, takich jak badania sejsmiczne czy grawimetryczne. Uzyskane dane stanowią i będą stanowić w przyszłości bardzo cenny materiał faktograficzny do analiz metodycznych związanych z badaniami utworów pokrywy osadowej na Niżu Polskim.

Lidia DZIEWIŃSKA, Waldemar JÓŹWIAK

WYNIKI POMIARÓW PRĘDKOŚCI ŚREDNICH I PIONOWEGO PROFILOWANIA SEJSMICZNEGO

WSTĘP

W otworze wiertniczym Terebin IG 5 pomiar prędkości średnich i pionowe profilowanie sejsmiczne (PPS), wykonane w 1977 r. przez Grupę Sejsmometrii Wiertniczej Przedsiębiorstwa Geofizyki Górnictwa Naftowego Kraków, obejmuje cały przewiercony interwał otworu, tj. 3850,5 m.

Pomiary wykonano przy użyciu aparatury produkcji amerykańskiej T-1 nr 2 oraz 6-geofonowej sondy typu GSG-4. Interwał poszczególnych pomiarów wynosił 15 m. Energię wzbudzano z dwóch punktów strzałowych (PS) o następujących parametrach:

PS1	$d = 100$ m	$N = -2,5$ m	$A = 44^\circ 30'$
PS2	$d = 650$ m	$N = -3$ m	$A = 44^\circ 30'$

gdzie:

d – odległość PS od głębokiego otworu,

A – azymut kierunku głęboki otwór–punkt strzałowy,

N – wysokość względna otworu strzałowego w stosunku do wylotu głębokiego otworu.

Powyższe usytuowanie PS zostało podyktowane warunkami metodycznymi i terenowymi. W każdym z otworów strzałowych wykonano mikrosejsmokatę. Prace strzałowe realizowano przy użyciu dynamitu 3GH2 oraz zapalników typu KZnPT.

Wielkość ładunków wybuchowych oraz głębokość strzelania w poszczególnych otworach strzałowych ustalono na podstawie profilowania dynamiki przedstawia się następująco:

PS1	0,5–2,5 kg	16–30 m
PS2	2–5 kg	21–30 m

Głębokość do poziomu odniesienia wspólnego dla dwóch PS wynosi 16 m.

W celu kontroli głębokości strzelania na poszczególnych punktach strzałowych zastosowano geofony korekcyjne – K_1 , w odległości nie większej od 5 m. Dla kontroli momentu wybuchu ustawiono w pobliżu głębokiego otworu geofon korekcyjny K_2 .

Obliczenia wykonano na podstawie rejestracji czasu przyjęcia fali w pierwszych impulsach.

Pierwsze impulsy fali sejsmicznej dochodzące do sondy rejestrowano dwukrotnie na sześciu kanałach jednocześnie (tab. 48).

Do zapuszczenia sondy użyto 7-żyłowego kabla karotazowego typu 7-H-4. Materiały podstawowe w postaci sejsmogramów oceniono jako dobre. Wartość oceny zawiera pewność korelacji, jakość impulsu oraz maksymalny błąd w określeniu występowania fali. Zaliczono tylko sejsmogramy, na których błąd odczytu czasu Δt nie przekroczył 0,003 s. Łącznie do obliczeń prędkości wykorzystano 243 punktów z PS1 oraz 219 punktów z PS2.

Tabela 48

Parametry rejestracji impulsów fal sejsmicznych

Recording parameters of seismic wave impulses

Numer kanału		Filtracja	Wzmocnienie
zapis oscylograficzny	zapis magnetyczny		
1	1	rejestracja geofonu korekcyjnego K ₂	
3	3	rejestracja geofonu korekcyjnego K ₁	
6–11	13–18	15–100 Hz	–18 dB
12–17	19–24	15–100 Hz	–18 dB

PIONOWE PROFILOWANIE SEJSMICZNE (PPS)

Materiał podstawowy do opracowania pionowego profilowania sejsmicznego (PPS) stanowią polowe taśmy magnetyczne. Ich jakość oceniono z uwzględnieniem takich czynników, jak: poprawnie dynamiczny zapis dalszych wstąpień, intensywność zakłóceń oraz dokładność zarejestrowania momentu wybuchu. Orientacyjnie jakość zapisu magnetycznego jest określana na podstawie sejsmogramów w trakcie prac polowych.

Po przeanalizowaniu sejsmogramów i uporządkowaniu poprawnych rejestracji odpowiadające im taśmy magnetyczne wykorzystano w procesie konwersji analogowo-cyfrowej. Pełnej oceny dokonano po wykonaniu tej

konwersji. Na podstawie wydruków wyników materiały podstawowe uznano tylko za dostateczne. Ocenę jakości zaniżono z powodu zakłóceń w postaci dość intensywnej fali po płucze i niezbyt ostro zarysowanej fali padającej w pierwszych wstąpieniach. Całość rejestracji z dwóch PS (512 punktów) poddano dalszemu przetwarzaniu cyfrowemu. Taśma z zarejestrowanymi wynikami konwersji oraz wyrównaniem dynamiki zapisu stanowiła materiał wyjściowy do dalszego przetwarzania, który polegał na wprowadzeniu poprawek statycznych, profilowaniu rejestracji filtrem wycięciowym 50Hz, filtrem o charakterystyce 12-18-40-60 oraz znormalizowaniu zapisu. Tak przetworzone

rejestracje wyprowadzone przez ploter na błonę fotograficzną stanowią podstawowe załączniki dokumentacji PPS w postaci sejsmogramów zbiorczych. W celu ułatwienia korelacji fal wykonano sekcje uzupełniające, tj. sumowanie kierunkowe fal padających i odbitych. Sumowania dokonywano po wprowadzeniu poprawek dynamicznych uwzględniających prędkości kompleksowe.

Sejsmogram powierzchniowy dołączony do wykonanych w jednakowych skalach sekcji sejsmicznych, profil stratygraficzno-litologiczny otworu, współczynniki odbicia oraz krzywa pomiaru karotażowego neutron–gamma pozwalają na dokonanie interpretacji wyników PPS.

Celem tej interpretacji było określenie obrazu falowego w pobliżu otworu wiertniczego Terebin IG 5, dowiązanie stratygraficzne obserwowanych fal odbitych oraz określenie zmiany właściwości odbijających granic wzdłuż profilu. Źródłem pełnego obrazu falowego jest fala prosta wywołana detonacją ładunku wybuchowego. Fala ta na całym odcinku pionowego profilowania zachowuje stały charakter, tj. dzięki stałemu ładunkowi i warunkom wzbudzenia – półtoraokresowy impuls oraz dzięki procesowi normalizacji – podobną dynamikę.

Na sejsmografach zbiorczych najłatwiej korelują się fale padające. Ich korelacja zostaje zakłócona w rejonie interferencji z falą po płucze, której zasięg nie przekracza głębokości 2100 m. Fale padające (nierejestrowane na pomiarach powierzchniowych) wnoszą pośrednią informację o falach odbitych lub wprost potwierdzają ich obecność. Wśród fal padających wyróżniają się fale przenikające w głąb z opóźnieniem w stosunku do momentu wybuchu o 0,150 i 0,540 s. Fale te są źródłem fal wielokrotnych wzmacniających lub osłabiających refleksy rzeczywiste.

Przeprowadzona interpretacja pozwoliła na wyróżnienie granic odbijających przedstawionych w tabeli 49.

Figura 56 przedstawia interpretację poziomów wyróżnionych w tabeli 49 z dowiązaniem do profilu stratygraficznego otworu głębokiego, podkreśloną liniami korelacyjnymi.

Do obliczenia krzywej prędkości średnich przyjęto jako poziom odniesienia poziom pomiaru, czyli 200 m n.p.m. przy wysokości otworu wynoszącej 209 m n.p.m.

Głębokość zredukowaną do poziomu odniesienia obliczono ze wzoru:

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

gdzie:

h_r – głębokość zredukowana punktu pomiarowego do poziomu odniesienia, [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:

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

Tabela 49

Granice odbijające fal sejsmicznych

Seismic reflection boundaries

Głębokość granicy [m]	Dowiązanie stratygraficzne	Czas wejścia fali [s]	Czas wyjścia fal na powierzchnię [s]
150	kreda górna	0,080	0,150
390	kreda górna	0,175	0,340
795	karbon	0,280	0,560
1185	karbon	0,390	0,780
1275	dewon górny	0,415	0,825
1425	dewon górny	0,440	0,880
2310	dewon dolny	0,635	1,260
2955	sylur–ordowik	0,780	1,550
3195	kambr	0,830	1,650
3465	kambr	0,885	1,760
3780	ediakar	0,945	1,880
ok. 4060	poniżej dna odwiertu		1,980
ok. 4655	poniżej dna odwiertu		2,210

gdzie:

t_p – czas poprawiony;

t_{obs} – czas obserwowany;

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

Redukcję czasu do pionu dokonano przy założeniu jednorodności ośrodka od punktu wybuchu do głębokości zanurzenia geofonu.

Czas zredukowany dla poszczególnych punktów wzbudzenia liczono na podstawie wzoru:

$$t_r = \frac{h}{\sqrt{h^2 + d^2}} \times p$$

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:

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

W tabeli 50 zestawiono wartości zbiorcze głębokości (h), średniego czasu zredukowanego (t_r) oraz prędkości średnich (V_{sr}).

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

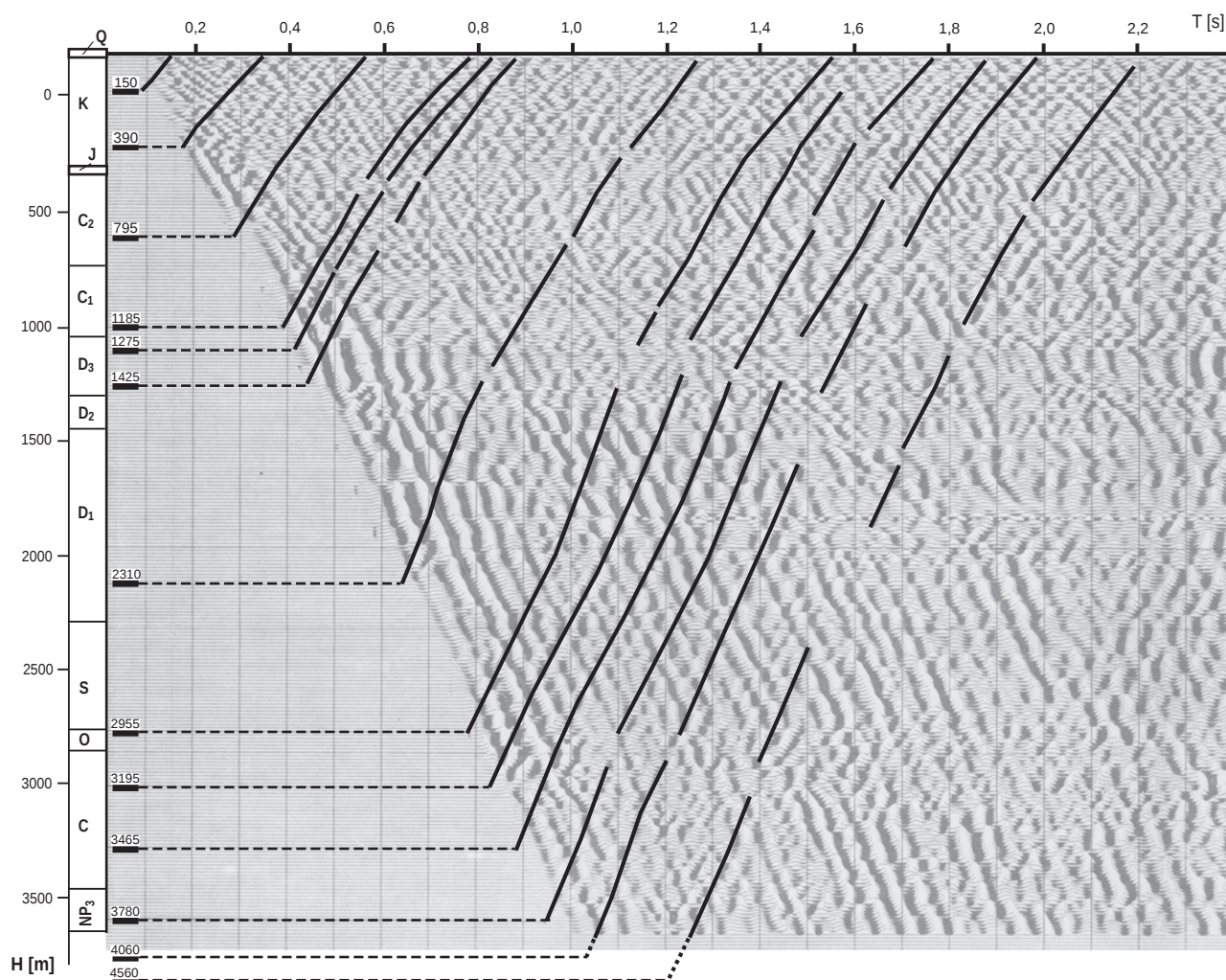


Fig. 56. Pionowe profilowanie sejsmiczne (PPS) (poz. odn. 200 m n.p.m.)

Vertical Seismic Profiling (VSP) (reference level 200 m a.s.l.)

wego (fig. 57B). Do wykreślenia krzywej prędkości średnich 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 przez wyrównanie pomiarów czasu zredukowanych 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 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 zmniejszone zostają przypadkowe skoki wartości spowodowane ich zaokrągleniem do 1 ms lub błędami pomiarowymi. Kolejne powtarzanie wymienionych wyżej operacji powoduje zaokrąglenie załamów (hodografu) spowodowanych zmianami prędkości w kolejnych warstwach. W ten sposób powstały dodatkowe zbiory obejmujące przetworzone pomiary czasu po ich zredukowaniu do poziomu odniesienia, wyinterpretowaniu warto-

Tabela 50

Zestawienie wartości głębokości (h), średniego czasu zredukowanego (t_r) i prędkości średnich (V_{sr})Depth (h), reduced time (t_r) and average velocity (V_{sr}) values

h [m]	t_r [s]	V_{sr} [m/s]
1	2	3
32	0,022000	1455
47	0,031000	1516
62	0,039000	1590
77	0,047000	1638
92	0,054000	1704
107	0,062000	1726
122	0,069000	1768
137	0,076000	1803
152	0,082000	1854
167	0,089000	1876
182	0,097000	1876
197	0,104000	1894
212	0,109000	1945
227	0,117000	1940
242	0,123000	1967
257	0,129000	1992
272	0,136000	2000
287	0,141000	2035
302	0,148000	2041
317	0,155000	2045
332	0,161000	2062
347	0,165000	2103
362	0,171000	2117
377	0,176000	2142
392	0,184000	2130
407	0,191000	2131
422	0,195000	2164
437	0,190500	2294
452	0,194500	2324
467	0,199500	2341
482	0,203500	2369
497	0,208000	2389
512	0,211500	2421
527	0,214500	2457
542	0,219500	2469

h [m]	t_r [s]	V_{sr} [m/s]
1	2	3
557	0,225000	2476
572	0,229500	2492
587	0,233500	2514
602	0,237000	2540
617	0,242000	2550
632	0,245500	2574
647	0,252000	2567
662	0,256000	2586
677	0,259000	2614
692	0,264000	2621
707	0,268000	2638
722	0,273500	2640
737	0,278500	2646
752	0,282500	2662
767	0,288000	2663
782	0,293000	2669
797	0,297000	2684
812	0,300500	2702
827	0,301000	2748
842	0,306000	2752
857	0,309000	2773
872	0,316500	2755
887	0,320500	2768
902	0,326000	2767
917	0,330000	2779
932	0,334500	2786
947	0,339000	2794
962	0,341000	2821
977	0,341000	2865
992	0,345500	2871
1007	0,352000	2861
1022	0,356000	2871
1037	0,361000	2873
1052	0,367000	2866
1067	0,371500	2872

Tabela 50 cd.

1	2	3
1082	0,376500	2874
1097	0,381000	2879
1112	0,383000	2903
1127	0,385000	2927
1142	0,388500	2940
1157	0,391000	2959
1172	0,394500	2971
1187	0,397000	2990
1202	0,402000	2990
1217	0,407500	2987
1232	0,412000	2990
1247	0,415000	3005
1262	0,418000	3019
1277	0,422500	3022
1292	0,426500	3029
1307	0,429500	3043
1322	0,433000	3053
1337	0,429000	3117
1352	0,435000	3108
1367	0,436500	3132
1382	0,439000	3148
1397	0,441500	3164
1412	0,444000	3180
1427	0,444000	3214
1442	0,450000	3204
1457	0,455000	3202
1472	0,460000	3200
1487	0,462000	3219
1502	0,463500	3241
1517	0,468000	3241
1532	0,469000	3267
1547	0,466000	3320
1562	0,473500	3299
1577	0,479000	3292
1592	0,482000	3303
1607	0,483500	3324
1622	0,486500	3334
1637	0,490000	3341
1652	0,490000	3371

1	2	3
1667	0,495000	3368
1682	0,497500	3381
1697	0,499000	3401
1712	0,503500	3400
1727	0,506000	3413
1742	0,508500	3426
1757	0,514000	3418
1772	0,517500	3424
1787	0,518500	3446
1802	0,526000	3426
1817	0,528000	3441
1832	0,532000	3444
1847	0,533500	3462
1862	0,538000	3461
1877	0,544500	3447
1892	0,548500	3449
1907	0,552500	3452
1922	0,555000	3463
1937	0,558000	3471
1952	0,563000	3467
1967	0,565500	3478
1982	0,567000	3496
1997	0,571000	3497
2012	0,567000	3549
1682	0,497500	3381
1697	0,499000	3401
1712	0,503500	3400
1727	0,506000	3413
1742	0,508500	3426
1757	0,514000	3418
1772	0,517500	3424
1787	0,518500	3446
1802	0,526000	3426
1817	0,528000	3441
1832	0,532000	3444
1847	0,533500	3462
1862	0,538000	3461
1877	0,544500	3447
1892	0,548500	3449

Tabela 50 cd.

1	2	3
1907	0,552500	3452
1922	0,555000	3463
1937	0,558000	3471
1952	0,563000	3467
1967	0,565500	3478
1982	0,567000	3496
1997	0,571000	3497
2012	0,567000	3549
2027	0,576500	3516
2042	0,579000	3527
2057	0,581500	3537
2072	0,584500	3545
2087	0,588500	3546
2102	0,590500	3560
2117	0,593500	3567
2132	0,597500	3568
2147	0,597000	3596
2162	0,601500	3594
2177	0,610000	3569
2192	0,611000	3588
2207	0,613500	3597
2222	0,615500	3610
2237	0,620000	3608
2252	0,625000	3603
2267	0,628000	3610
2282	0,631500	3614
2297	0,635000	3617
2312	0,640000	3613
2327	0,648000	3591
2342	0,645000	3631
2357	0,650500	3623
2372	0,654500	3624
2387	0,658500	3625
2402	0,660000	3639
2417	0,664500	3637
2432	0,669000	3635
2447	0,673500	3633
2462	0,677000	3637
2477	0,680500	3640

1	2	3
2492	0,682500	3651
2507	0,687500	3647
2522	0,689000	3660
2537	0,694000	3656
2552	0,700000	3646
2567	0,703500	3649
2582	0,707500	3649
2597	0,710000	3658
2612	0,713000	3663
2627	0,716500	3666
2642	0,719500	3672
2657	0,723500	3672
2672	0,725000	3686
2687	0,729500	3683
2702	0,726500	3719
2717	0,738000	3682
2732	0,742500	3679
2747	0,745000	3687
2762	0,748500	3690
2777	0,752500	3690
2792	0,756500	3691
2807	0,762500	3681
2822	0,763000	3699
2837	0,764000	3713
2852	0,767500	3716
2867	0,768500	3731
2882	0,778000	3704
2897	0,776000	3733
2912	0,781000	3729
2927	0,783500	3736
2942	0,790000	3724
2957	0,794000	3724
2972	0,795000	3738
2987	0,799000	3738
3002	0,802000	3743
3017	0,804500	3750
3032	0,809000	3748
3047	0,811000	3757
3062	0,815000	3757

Tabela 50 cd.

1	2	3
3077	0,818000	3762
3092	0,820000	3771
3107	0,820000	3789
3122	0,825500	3782
3137	0,830000	3780
3152	0,831000	3793
3167	0,832000	3806
3182	0,831000	3829
3197	0,838000	3815
3212	0,843000	3810
3227	0,848000	3805
3242	0,850000	3814
3257	0,852000	3823
3272	0,853000	3836
3287	0,861000	3818
3302	0,866500	3811
3317	0,870000	3813
3332	0,873000	3817
3347	0,874000	3830
3362	0,876000	3838
3377	0,879000	3842
3392	0,881500	3848
3407	0,884000	3854
3422	0,886500	3860

1	2	3
3437	0,890500	3860
3452	0,893000	3866
3467	0,896000	3869
3482	0,897500	3880
3497	0,902000	3877
3512	0,904500	3883
3527	0,908000	3884
3542	0,910000	3892
3557	0,914500	3890
3572	0,915500	3902
3587	0,920000	3899
3602	0,922000	3907
3617	0,925500	3908
3632	0,932000	3897
3647	0,932500	3911
3677	0,938500	3918
3692	0,941500	3921
3707	0,943000	3931
3722	0,947000	3930
3737	0,950000	3934
3752	0,953500	3935
3767	0,954500	3947
3797	0,961500	3949
3812	0,965000	3950

ści, 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 czasu między 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 prędkości wygładzonej (V_w), prędkości interwałowej (V_i) oraz prędkości kompleksowej (V_k) obliczonych z pomiarów czasu wygładzonego zawiera [tabela 51](#). Krzywe prędkości wygładzonych, interwałowych i kompleksowych przedstawiono na [figurze 58](#). Wykresy powyższe wzbogacono profilem stratygraficznym wierceń, co umożliwia bezpośrednie powiązanie zmian prędkości z kompleksami stratygraficzno-litologicznymi przekroju geologicznego w otworze oraz z refleksami sejsmicznymi.

Przedstawiona krzywa prędkości średnich ([fig. 57A](#)) wykazuje stopniowy wzrost od 1455 do 3950 m/s, charakteryzujący warstwy utworów od kredy do ediakaru. Górna część wykresu do głęb. ok. 1300 m, odpowiadającej występowaniu warstw dewonu górnego, ma przebieg gwałtowniejszy i urozmaicony częstymi wahaniami wartości, z których najwyraźniejsze koreluje się z występowaniem skał turonu. Poniżej głęb. 1300 m prędkość średnia wzrasta już dużo łagodniej.

Wykresy prędkości interwałowych i kompleksowych (fig. 58) w przedziale głębokości obejmującym utwory kredy górnej, reprezentowane przez piętra od mastrychtu po cenoman, wykazują systematyczny wzrost wartości, wydzielając w sposób „schodkowy” poszczególne piętra. Największy kontrast prędkości 550 m/s notuje się w utworach turonu, na głęb. ok. 450 m, odpowiadającej kontaktowi leżących wyżej serii margli i wapieni marglistych z leżącymi niżej wapieniami. Pomiary wykonane na podstawie PPS pozwalają na wyróżnienie w utworach kredy dwóch granic na głęb. 150 i 390 m.

Poniżej głęb. 450 m, do około 820 m, obserwuje się odciłek prędkości kompleksowych o wartościach 3350–3400 m/s i towarzyszących im niewielkich zmianach prędkości interwałowych, co świadczy o dość monotonnym wykształceniu reprezentujących ten przedział terrygenicznym osadów górnego piętra karbonu – baszkirow. Pomiary PPS potwierdzają istnienie tej granicy na czasie wyjścia fali na powierzchnię 0,56 s, co odpowiada głęb. 795 m. Wyższe wartości prędkości kompleksowych 3700–3750 m/s następnego fragmentu wykresu, odpowiadającego głębokościowo położeniu kolejnych pięter karbonu – serpuhowa i wizenu, wiążą się z udziałem skał węglanowych w tych utworach. Przejściu osadów wizenu w wapień dewońskie towarzyszą zmiany na krzywych prędkości interwałowych i kom-

pleksowych, wydzielające warstwy o prędkościach kompleksowych 4150 m/s w dolnej części utworów wizenu i 4550 m/s w górnej części utworów dewonu górnego. Również wyniki pomiarów PPS potwierdzają istnienie tych granic na głębokościach odpowiednio: 1185 m (karbon) i 1275 m (dewon górny). Kulminacyjna wartość prędkości kompleksowej w utworach dewonu górnego, 5550 m/s, odpowiada granicy na głęb. 1425 m wyinterpretowanej w wyniku pomiarów PPS. Poniżej tej głębokości obniżenie prędkości kompleksowych do wartości odpowiednio 5150 i 5050 m/s dotyczy dolnych utworów dewonu górnego, dewonu środkowego i górnych warstw dewonu dolnego. Dewon dolny jest reprezentowany przez cztery wartości prędkości kompleksowej: 5050; 4250; 4950 i 4150 m/s, co obrazuje zróżnicowanie powtarzającego się wykształcenia litologicznego tych oddziałów (piaskowce, mułowce, iłowce). Duży kontrast prędkości 800 m/s, wydzielający najniższe ogniwo dewonu dolnego, charakteryzuje również granica uzyskana na podstawie pomiarów PPS o czasie wyjścia fali na powierzchnię 1,260 s, odpowiadającym głęb. 2310 m.

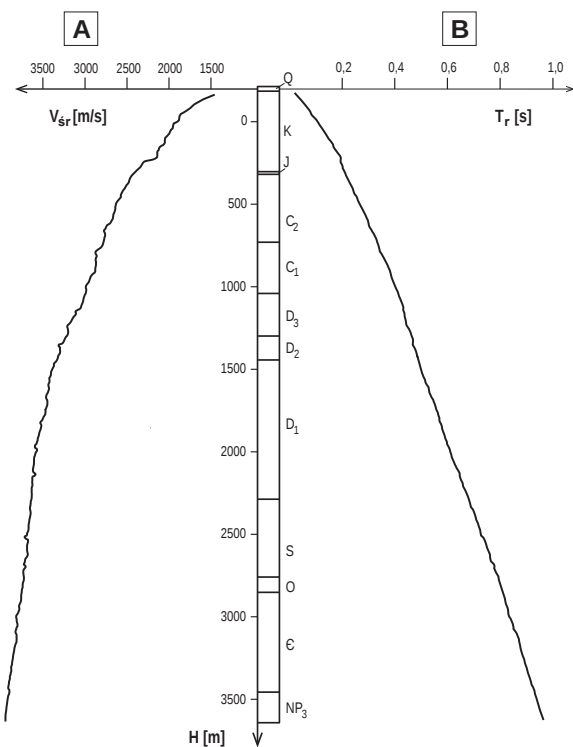


Fig. 57. Wykres prędkości średnich (A) i hodograf pionowy (B) (poz. odn. 200,0 m n.p.m.)

Average seismic velocity (A) and travel-time curve (B) (reference level 200.0 m a.s.l.)

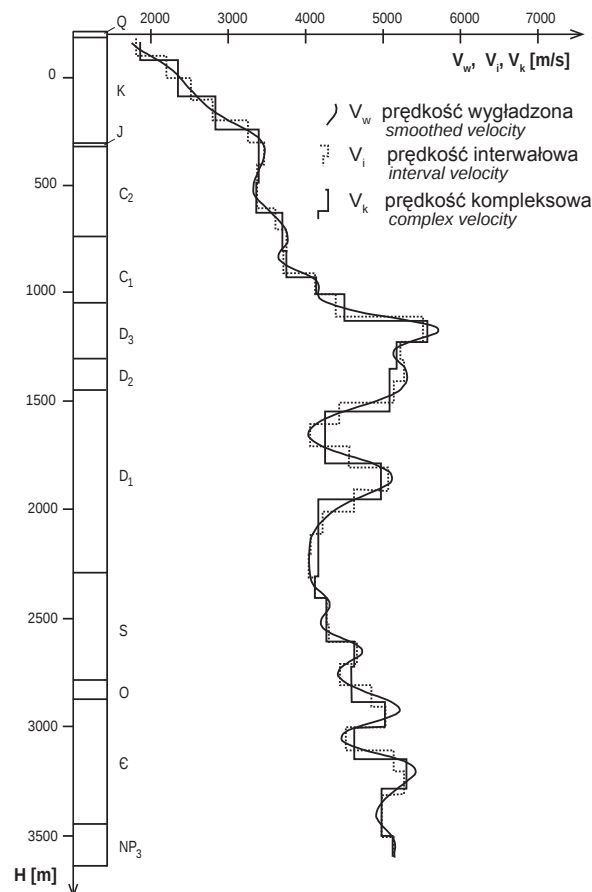


Fig. 58. Wykresy prędkości wygładzonych (V_w), interwałowych (V_i) i kompleksowych (V_k) (poz. odn. 200,0 m n.p.m.)

Smoothed velocity (V_w), interval velocity (V_i) and complex velocity (V_k) (reference level 200.0 m a.s.l.)

Tabela 51

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

Depth (h), averaged interval velocity (V_i), complex velocity (V_k) and smoothed velocity (V_w) values calculated from smoothed time

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
1	2	3	4
20	1796	1859	
40	1796	1859	1754
60	1796	1859	1815
80	1796	1859	1894
100	1796	1859	1982
120	2188	1859	2073
140	2188	2346	2160
160	2188	2346	2239
180	2188	2346	2309
200	2188	2346	2370
220	2497	2346	2424
240	2497	2346	2474
260	2497	2346	2524
280	2497	2346	2573
300	2497	2834	2626
320	2787	2834	2683
340	2787	2834	2746
360	2787	2834	2819
380	2787	2834	2904
400	2787	2834	2999
420	3241	2834	3103
440	3241	2834	3208
460	3241	3395	3304
480	3241	3395	3381
500	3241	3395	3432
520	3448	3395	3458
540	3448	3395	3461
560	3448	3395	3450
580	3448	3395	3433
600	3448	3395	3414
620	3360	3395	3393
620	3360	3395	3393
640	3360	3395	3371
660	3360	3395	3349

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
1	2	3	4
680	3360	3395	3329
700	3360	3371	3315
680	3360	3395	3329
700	3360	3371	3315
680	3360	3395	3329
700	3360	3371	3315
720	3358	3371	3314
740	3358	3371	3329
760	3358	3371	3362
780	3358	3371	3411
800	3358	3371	3468
820	3600	3371	3525
840	3600	3686	3580
860	3600	3686	3629
880	3600	3686	3676
900	3600	3686	3718
920	3735	3686	3751
940	3735	3686	3763
960	3735	3686	3747
980	3735	3686	3707
1000	3735	3686	3660
1020	3701	3747	3629
1040	3701	3747	3638
1060	3701	3747	3696
1080	3701	3747	3800
1100	3701	3747	3928
1120	4106	3747	4048
1140	4106	4134	4126
1160	4106	4134	4152
1180	4106	4134	4142
1200	4106	4134	4129
1220	4368	4479	4150
1240	4368	4479	4235
1260	4368	4479	4401

Tabela 51 cd.

1	2	3	4
1280	4368	4479	4650
1300	4368	4479	4961
1320	5500	4479	5285
1340	5500	5565	5548
1360	5500	5565	5679
1380	5500	5565	5654
1400	5500	5565	5516
1420	5202	5565	5340
1440	5202	5164	5195
1460	5202	5164	5114
1480	5202	5164	5101
1500	5202	5164	5138
1520	5246	5164	5195
1540	5246	5164	5247
1560	5246	5067	5276
1580	5246	5067	5286
1600	5246	5067	5278
1620	5125	5067	5251
1640	5125	5067	5200
1660	5125	5067	5112
1680	5125	5067	4985
1700	5125	5067	4827
1720	4421	5067	4654
1740	4421	5067	4487
1760	4421	4238	4338
1780	4421	4238	4215
1800	4421	4238	4121
1820	4053	4238	4055
1840	4053	4238	4021
1860	4053	4238	4025
1880	4053	4238	4070
1900	4053	4238	4162
1920	4542	4238	4296
1940	4542	4238	4461
1960	4542	4238	4641
1980	4542	4238	4813
2000	4542	4962	4955
2020	5047	4962	5052
2040	5047	4962	5094

1	2	3	4
2060	5047	4962	5079
2080	5047	4962	5016
2100	5047	4962	4916
2120	4611	4962	4794
2140	4611	4962	4667
2160	4611	4156	4548
2180	4611	4156	4443
2200	4611	4156	4355
2220	4200	4156	4281
2240	4200	4156	4219
2260	4200	4156	4168
2280	4200	4156	4126
2300	4200	4156	4093
2320	4049	4156	4069
2340	4049	4156	4052
2360	4049	4156	4039
2380	4049	4156	4032
2400	4049	4156	4030
2420	4036	4156	4032
2440	4036	4156	4036
2460	4036	4156	4039
2480	4036	4156	4039
2500	4036	4156	4039
2520	4106	4106	4047
2540	4106	4106	4071
2560	4106	4106	4115
2580	4106	4106	4175
2600	4106	4106	4237
2620	4263	4263	4283
2640	4263	4263	4296
2660	4263	4263	4273
2680	4263	4263	4229
2700	4263	4263	4188
2720	4272	4272	4173
2740	4272	4272	4202
2760	4272	4272	4281
2780	4272	4272	4400
2800	4272	4272	4533
2820	4647	4619	4645

Tabela 51 cd.

1	2	3	4
2840	4647	4619	4701
2860	4647	4619	4687
2880	4647	4619	4618
2900	4647	4619	4527
2920	4430	4619	4447
2940	4430	4583	4399
2960	4430	4583	4396
2980	4430	4583	4436
3000	4430	4583	4514
3020	4829	4583	4625
3040	4829	4583	4760
3060	4829	4583	4907
3080	4829	4583	5049
3100	4829	5028	5153
3120	5011	5028	5186
3140	5011	5028	5131
3160	5011	5028	4996
3180	5011	5028	4815
3200	5011	5028	4639
3220	4501	4602	4506
3240	4501	4602	4440
3260	4501	4602	4449

1	2	3	4
3280	4501	4602	4534
3300	4501	4602	4684
3320	5116	4602	4875
3340	5116	4602	5074
3360	5116	5297	5243
3380	5116	5297	5353
3400	5116	5297	5392
3420	5265	5297	5370
3440	5265	5297	5310
3460	5265	5297	5234
3480	5265	5297	5159
3500	5265	4976	5091
3520	4962	4976	5030
3540	4962	4976	4977
3560	4962	4976	4933
3580	4962	4976	4901
3600	4962	4976	4888
3720	5115	5115	5112
3740	5115	5115	5124
3760	5115	5115	5120
3780	5115	5115	5114
3800	5115	5115	5150

Granica stratygraficzna dewon dolny–sylur nie znajduje odzwierciedlenia ani na interwałowych, ani na kompleksowych wykresach prędkości ze względu na podobne ilowcowo-mułowcowe wykształcenie litologiczne tych formacji, a prędkość kompleksowa rzędu 4100–4250 m/s charakteryzuje także utwory syluru. Zróżnicowanie prędkości interwałowych i kompleksowych występuje dopiero na głębokościach odpowiadających występowaniu skał ordowiku i skał z nimi sąsiadujących, z dominującą prędkością kompleksową o wartości 4600 m/s i podkreśleniem na krzywej prędkości interwałowych granic pakietu ordowickiego. Utwory przystropowe ordowiku znajdują też wyraźne wydzielenie w wyniku analizy wyników PPS w postaci granicy na głęb. 2955 m.

Największe zróżnicowanie prędkości zaprezentowane na obu krzywych dotyczy głębokości występowania utworów kambry i dla prędkości kompleksowych wynosi kolejno: 4600, 5050, 4600, 5300 i 5000 m/s. Obrazuje to urozmaiconą litologię tych wydzieleni. Na [figurze 56](#), przedstawiającej wyniki PPS, odbicia od zalegających na głęb. 3195

i 3465 m warstw kambryjskich odznaczają się najbardziej ciągłą korelacją na całym pionowym profilu spośród rzeczywistych fal odbitych. Horyzonty te potwierdzają realność i intensywność granic kontrastu prędkości kompleksowych, odpowiednio: 5050/4600 m/s (C_2/C_1) i 5300/5000 m/s. Następną wyinterpretowaną na podstawie PPS granicą o czasie wyjścia fali na powierzchnię 1,880 s i głęb. 3780 m wiąże się z utworami ediakaru. Pozostałe dwie granice, wyznaczone poniżej dna otworu na głęb. 4060 i 4655 m, wyinterpretowane na podstawie odcinków zgodności faz potwierdzonych falami padającymi, stanowią cenny materiał do interpretacji wyników prac sejsmicznych otrzymanych na głębokościach poniżej dna otworu geologicznego.

Pomiary wykonane na podstawie PPS potwierdzają istnienie wszystkich wyinterpretowanych granic kontrastów prędkości akustycznych.

Analiza wyników pomiarów prędkości fal sejsmicznych i PPS umożliwia właściwą interpretację głębokościową przekrojów sejsmicznych w otoczeniu głębokiego otworu geologicznego.