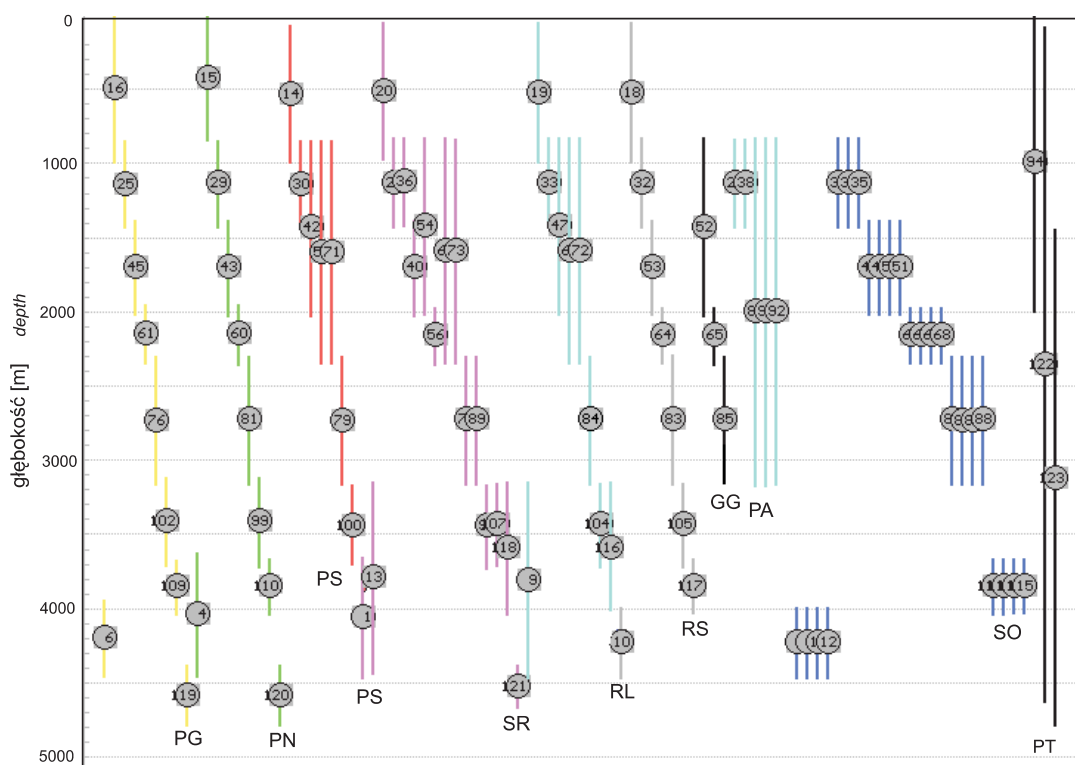


Jan SZEWCZYK

ZAKRES WYKONANYCH BADAŃ

przewodzą z zastosowaniem standardowej aparatury analogowej produkcji radzieckiej, a wykonawcą badań była I Grupa Pomiarowa Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych z bazy w Poznaniu oraz Geofizyki Toruń (badania dla odcinka końcowego). Na [figurze 16](#) przedstawiono w formie graficznej



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, GG – profilowanie gęstości typu gamma-gamma, SO – sondowanie oporności, PA – profilowanie akustyczne, PT – profilowanie temperatury; przy opisie profilowania podano jego numer identyfikacyjny w systemie GEOFLAG

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

Tabela 9

**Wykaz pomiarów geofizycznych wykonanych
w otworze wiertniczym Piotrków Trybunalski IG 1**

Types of well logs performed in
the Piotrków Trybunalski IG 1 borehole

Rodzaj badań (skrót)	Interwał głębokościowy badań [m]	Data wykonania badań
PO, PS, Psr PK, PG	77–1000 0–1000	8–9.04.1976
PO, PS, Psr, PK, PG Post, mPOst, PA PNG	950–1435 5–1435	11–13.05.1976
PO PS, Psr PK PG, PNG PA	852–2029 850–2029 1385–2029 1385–2029 1385–2029	9–11.06.1976
PO, PS, Psr PK PG, PNG PA Post, mPOst	848–2350 1975–2355 1950–2353 3230–3910 848–2350	8–10.07.1976
PO, PS, Psr PK PG, PNG Post, mPOst	848–3170 2300–3170 2300–3170 2300–3160	29.09–1.10.1976
PA (delta, T1)	848–3170	1–2.10.1976
PTn	20–2000	15.10.1976
PUW	850–3170	5–6.10.1976
PAc	70–3170	17.10.1976
PO, PS, Psr, PGG PK PG, PNG Post, mPOst	3171–3725 3100–3720 3171–3725 3171–3725	11–13.01.1977
PO, PS, Psr, PGG PK PG, PNG	3170–4042 3650–4040 3670–4042	28.02–01.03.1977
PO, PS, Psr PG, PNG, PK, Post, mPOst	3990–4468 3990–4460 3650–4462 4000–4460 3650–4464	7–9.05.1977
Pac ?PTn	17–4796 4507–4796	13–14.07.1978 15.07.1978
PG, PNG PK	4385–4796 (przez rury) 4250–4790	20–21.07.1978
PTu	100–4600	16.02.1982

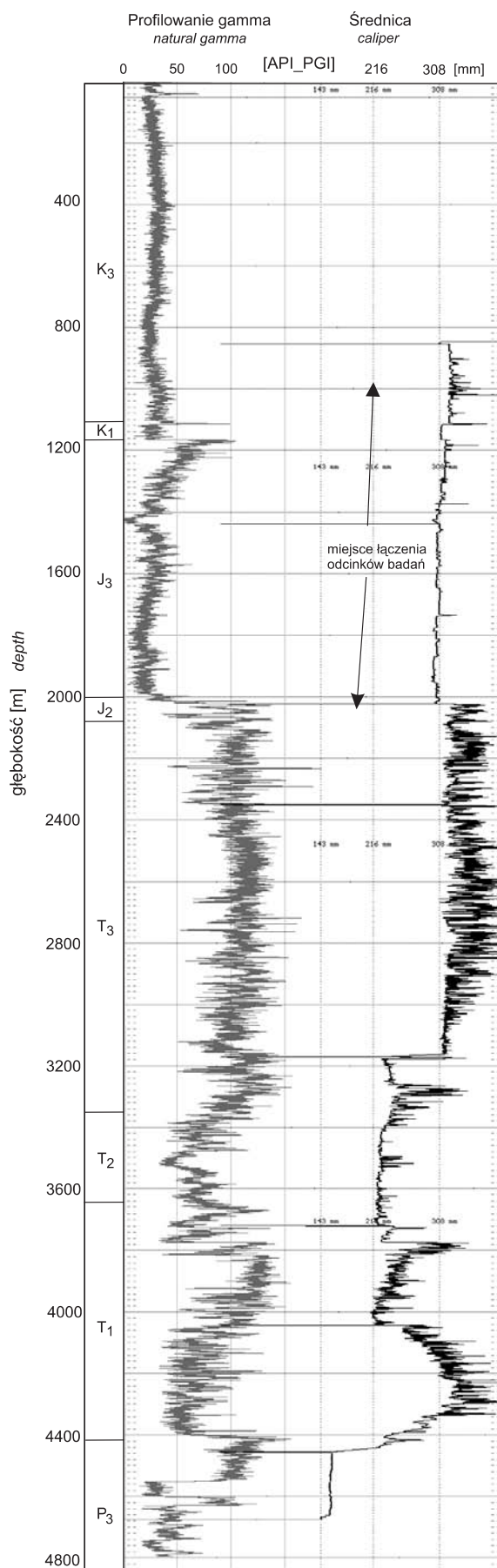


Fig. 17. Unormowane wartości profilowania naturalnego promieniowania gamma

Na wykresie profilowania średnicy otworu wskazano miejsca połączeń poszczególnych odcinków pomiarowych; przedstawiono również odcinki rdzeniowe z informacją na temat uzysków rdzenia

Normalized values of natural gamma logs

Depths of connecting points for well log runs are shown on caliper log; depth intervals of coring are given

←

odcinki badań strefowych, wyszczególnione rodzaje przeprowadzonych badań, a także numery katalogowe poszczególnych badań przyjęte w systemie GEOFLOG dla otworu wiertniczego Piotrków Trybunalski IG 1. Poważne komplikacje wiertnicze, które wystąpiły przy realizacji otworu, spowodowały wykonanie w najgłębszej części profili, tj. w interwale 4385,0–4796,0 m ograniczonego kompleksu badań.

Wykaz typów pomiarów geofizyczny wykonanych w otworze Piotrków Trybunalski IG 1 przedstawiono w tabeli 9.

Wyniki źródłowych danych pomiarowych zarejestrowano w formie analogowej w podstawowej skali głębokościowej 1:500, a jedynie pomiar mPost w skali 1:200. Wyniki pomiarów zdigitalizowano oraz unormowano w zakresie przewidzianym programem prac związanych z wprowadzeniem

omawianych danych do Centralnej Bazy Danych Geologicznych (numer katalogowy otworu wiertniczego Piotrków Trybunalski IG 1 w bazie CBDG 13500).

W ramach prac interpretacyjnych związanych z wprowadzaniem danych geofizycznych do CBDG pomiary radiometryczne, tj. profilowanie naturalnego promieniowania gamma (PG) oraz profilowania neutronowe (PNG lub PNN), unormowano oraz połączono w obrębie całego otworu wiertniczego. Na figurze 17 przedstawiono wykresy głębokościowe unormowanych i połączonych wartości naturalnego promieniowania gamma, a także profilowania średnicy otworu, ze wskazaniem głębokości połączenia poszczególnych odcinków badań. Zastosowaną metodykę normowania profilowań gamma opisano w pracy Szewczyka (2000).

CEL PRZEPROWADZENIA BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Podstawowym celem badawczym postawionym do rozwiązania w otworze Piotrków Trybunalski IG 1 było:

- określenie, w połączeniu z danymi wiertniczymi (rdzeniami oraz próbkami okruchowymi), litologii skał występujących w profilu;
- ustalenie zmienności głębokościowej parametrów fizycznych skał, niezbędnych do wydzielenia skał wskazujących właściwości zbiornikowe;
- wydzielenie warstw przepuszczalnych, ze wskazaniem warstw kluczowych do ustalenia możliwości występowania bituminów oraz uzyskania informacji istotnych do rozpoznania hydrogeologicznego;
- ustalenie modeli zmienności głębokościowej parametrów fizycznych wykorzystywanych w analizach wyników powierzchniowych geofizycznych metod badawczych (głównie grawimetrii oraz sejsmiki);
- określenie stanu technicznego otworu w zakresie niezbędnym do jego właściwej realizacji oraz warunków i możliwości wykonywania badań hydrogeologicznych zarówno w trakcie prowadzenia wiercenia (bada-

nia próbnikami złożeń), jak i po jego zakończeniu (badania przez perforacje rur okładzinowych).

Wyniki źródłowych danych pomiarowych zarejestrowanych w formie analogowej zdigitalizowano oraz unormowano w zakresie przewidzianym programem prac związanych z wprowadzeniem omawianych danych do Centralnej Bazy Danych Geologicznych systemu interpretacyjnego GEOFLOG (Szewczyk, 1994). 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).

W trakcie badań geofizycznych przeprowadzono wstępne interpretacje danych geofizycznych, które miały na celu dokonanie wyboru odcinków profilu pod kątem możliwości występowania w ich obrębie warstw zbiornikowych zawierających bituminy. Podsumowanie wyników tych interpretacji omówiono w dokumentacjach wyników badań odcinkowych oraz podsumowano w dokumentacji końcowej otworu Piotrków Trybunalski IG 1, opracowanej przez wykonawców badań geofizycznych (Sobolewski, 1980).

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Wyniki laboratoryjnych badań parametrów petrofizycznych

Jednym z celów badawczych w otworze Piotrków Trybunalski IG 1 było uzyskanie informacji na temat głębokościowej zmienności parametrów petrofizycznych skał wystę-

pujących w profilu. Ważnym źródłem informacji na ten temat były wyniki laboratoryjnych badań parametrów petrofizycznych próbek pobranych z rdzeni wiertniczych. Badania obejmowały:

- gęstość objętościową;
- gęstość właściwą;

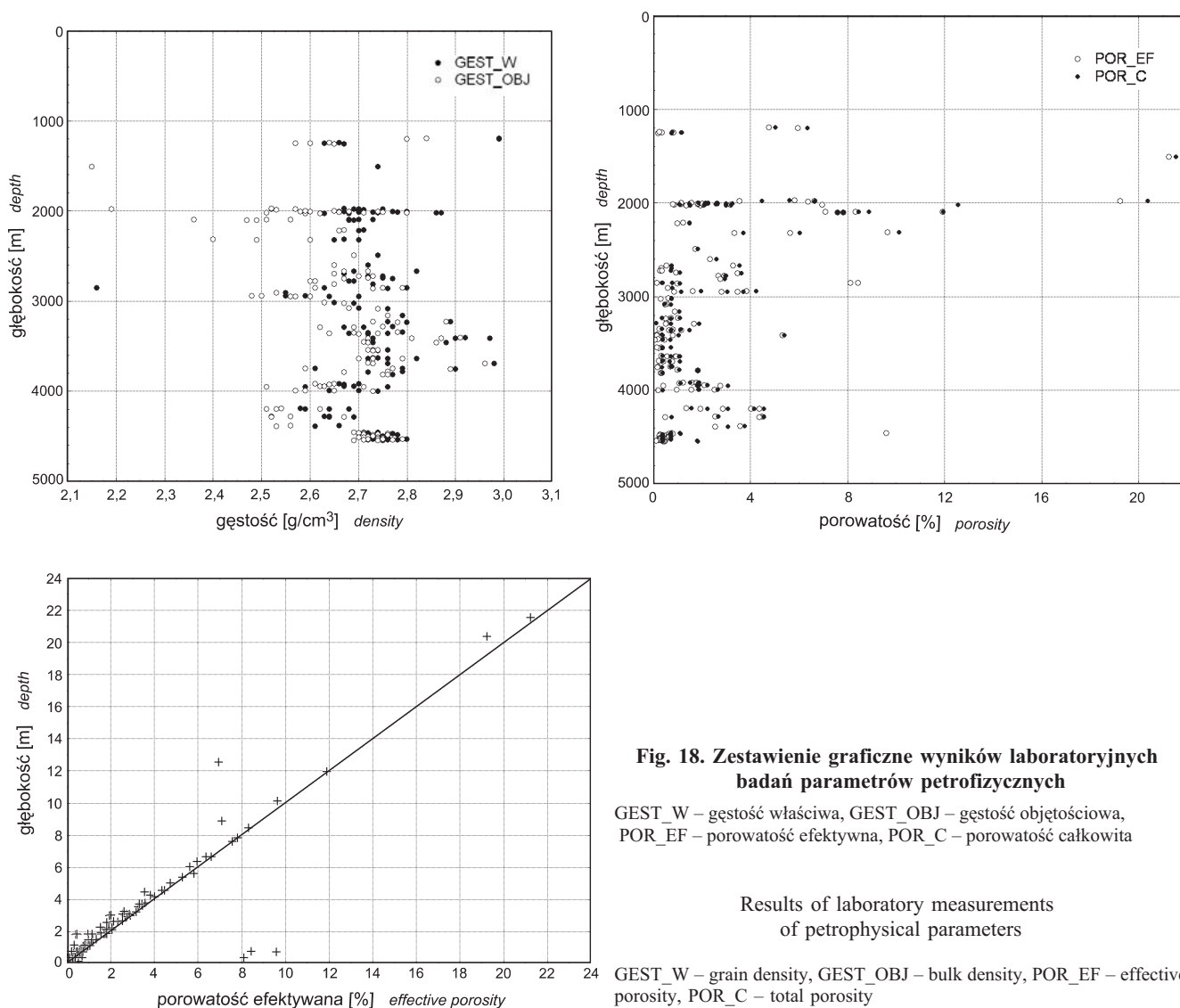


Fig. 18. Zestawienie graficzne wyników laboratoryjnych badań parametrów petrofizycznych

GEST_W – gęstość właściwa, GEST_OBJ – gęstość objętościowa, POR_EF – porowatość efektywna, POR_C – porowatość całkowita

Results of laboratory measurements
of petrophysical parameters

GEST_W – grain density, GEST_OBJ – bulk density, POR_EF – effective porosity, POR_C – total porosity

- porowatość całkowitą;
- porowatość efektywną;
- przepuszczalność w kierunku poziomym oraz pionowym;
- zawartość kalcytu oraz dolomitu (badania wykonywano zarówno dla rdzeni wiertniczych, jak i dla próbek okruchowych).

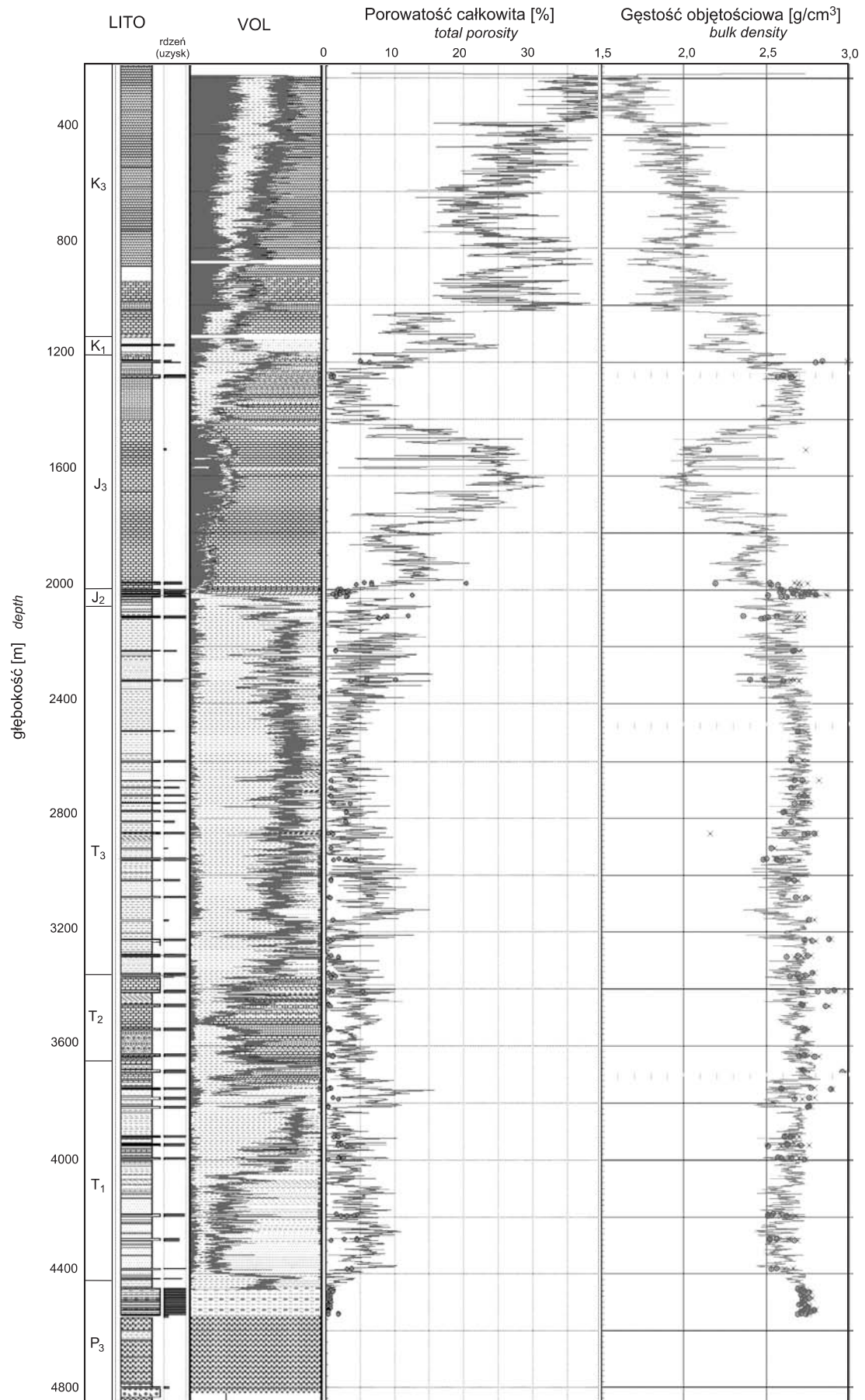
Ogółem zbadano te parametry dla 1066 próbek. Wyniki badań parametrów petrofizycznych wykorzystano zarówno w trakcie interpretacji profilu litologicznego, jak i kalibracji danych geofizycznych (głównie radiometrycznych). Na [fig. 18](#) przedstawiono zasadnicze informacje dotyczące wyników tych badań. Są to zestawienia głębokościowe odpowiednio gęstości objętościowej oraz właściwej, porowatości całkowitej

Fig. 19. Zestawienie głębokościowe wyników obliczeń porowatości całkowitej oraz gęstości objętościowej

Dla porównania pokazano równocześnie wyniki badań laboratoryjnych analogicznych parametrów petrofizycznych; pokazano równocześnie profil stratygraficzny, profil wiertniczy (LITO) z odcinkami rdzeniowanymi, odcinki rdzeniowane, a także obliczony geofizyczny profil porowatościowo-objętościowy (VOL)

Results of calculation of total porosity and bulk density

For comparison, the results of calculation of laboratory petrophysical data are given. Depth of core intervals of the lithological section (LITO) and calculated bulk litho-porosity geophysical profile (VOL) are shown



witej oraz efektywnej, przepuszczalności, a także relacje między tymi parametrami. Utwory występujące na mniejszej głębokości mają zdecydowanie inne i bardziej zróżnicowane właściwości petrofizyczne w stosunku do utworów występujących na większych głębokościach.

Wyniki interpretacji danych geofizycznych

Wyniki badań geofizycznych wykorzystano zarówno w trakcie ustalania profilu litologiczno-stratygraficznego, jak i przy wyborze odcinków (interwałów głębokościowych) do badań hydrogeologicznych. Wyniki prac interpretacyjnych prezentowane w tym tomie wykonano przy zastosowaniu programów interpretacyjnych systemu GEOFLOG. Prace te objęły:

- opracowanie cyfrowej wersji profilu wiertniczego (LITO);
- opracowanie warstwowego (GEO) oraz objętościowego (VOL) geofizycznego profilu litologicznego;
- określenie wielkości przesunięć głębokościowych między głębokościami określonymi na podstawie długości przewodu wiertniczego, a głębokościami określonymi na podstawie pomiarów geofizycznych;
- kalibrację profiliowań radiometrycznych na podstawie danych petrofizycznych;

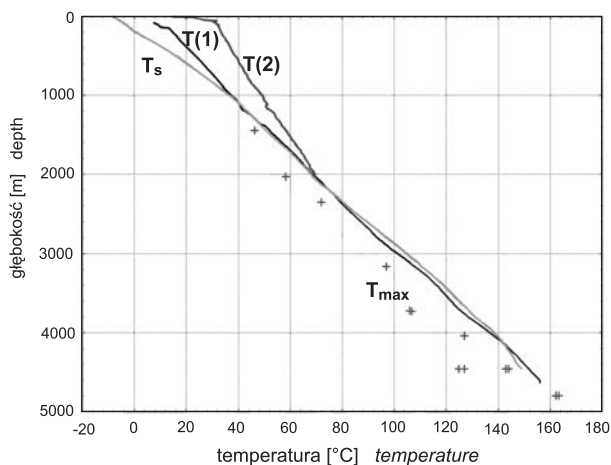
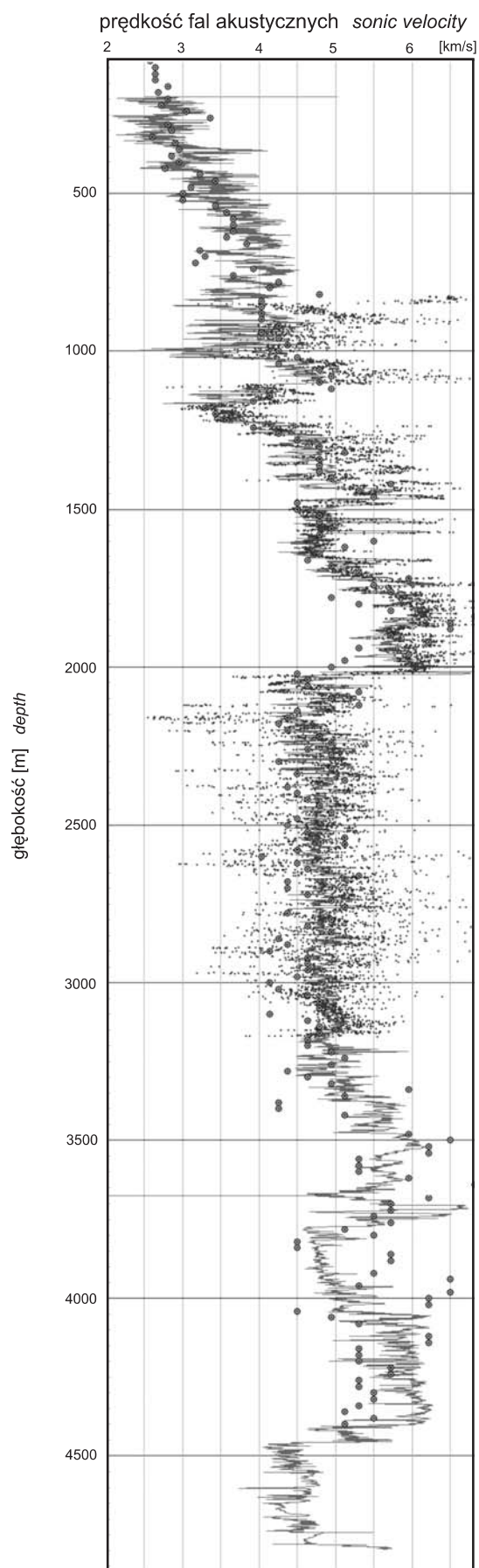


Fig. 20. Temperatura obserwowana (T) wraz z wartościami temperatury maksymalnej (T_{max})

Dla porównania przedstawiono wartość paleotemperatury (T_s) obliczonej na podstawie interpretacji danych geofizycznych (Szewczyk, 2002)

Observed (T) and bottom hole temperature (T_{max})

For comparison, calculated palaeotemperature log (T_s), based on results of interpretation of geophysical logs (Szewczyk, 2002), is given



- obliczenie porowatości całkowitej, gęstości objętościowej oraz prędkości fal akustycznych;
- obliczenie przewodności cieplnej skał wraz z określeniem wielkości strumienia ciepłego.

Na [figurze 19](#) przedstawiono w syntetycznej, zgeneralizowanej formie podstawowe wyniki ilościowej interpretacji profilu litologicznego oraz parametrów petrofizycznych, tj. porowatości całkowitej oraz gęstości objętościowej. Wiertniczy profil litologiczny (LITO) zawiera opisy rdzeni wiertniczych oraz próbek okruchowych w formie umożliwiającej jego numeryczne przetwarzanie i stosowanie w procedurach interpretacyjnych systemu GEOFLOG. Zasady stosowanego w tym celu numerycznego opisu litologii przedstawiono w pracy Gientkovej i Szewczyka (1996). W zastosowanej procedurze interpretacyjnej przyjęto trójskładnikowy model objętościowy skały (przestrzeń porowa + zailenie + szkielet skały). Obliczony geofizyczny objętościowy profil litologiczny (VOL) stanowi uogólnienie za pośrednictwem danych geofizycznych, danych z rdzeni oraz próbek okruchowych na badany odcinek profilu. W procesie interpretacji uwzględniane są zarówno wzajemne przesunięcia głębokościowe obu typów informacji, jak i niepełny uzysk rdzenia. W interpretacjach danych rdzeniowych, w przypadku niepełnego uzysku rdzenia, przyjęto zasadę dowiązywania głębokościowego do stropu odcinka rdzeniowanego.

Na [figurze 19](#) przedstawiono w formie profilowej wyniki obliczeń porowatości całkowitej oraz gęstości objętościowej w stanie powietrzno-suchym. Dla porównania, uzyskane wyniki interpretacji porównywano z wynikami badań parametrów fizycznych uzyskanymi na podstawie badań laboratoryjnych. Prezentowane wyniki mogą być wykorzystane w analizach związanych z pozyskiwaniem energii geotermalnej, hydrogeologii, czy też w modelowniach wyników powierzchniowych badań geofizycznych, takich jak badania sejsmiczne czy grawimetryczne.

Warunki geotermiczne

W otworze wiertniczym Piotrków Trybunalski IG 1 przeprowadzono zarówno pomiary termiczne w warunkach niestabilizowanych termicznie (w reżimie ciągłym i punktowym T_{max}), jak i pomiar termiczny w warunkach ustabilizowanych. Czas stabilizacji otworu wyniósł dla ostatniego z wymienionych pomiarów ok. 2 miesiące. Na [figurze 20](#) pokazano wyniki wymienianych badań. Występuje rozbieżność wyników uzyskanych dla dwóch niezależnych serii pomiarowych, przeprowadzonych przy użyciu termometrów maksymalnych różnego typu. Uwagę zwraca bardzo duża wartość gradientu temperatury, przekraczająca $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Na podstawie interpretacji wyników badań geofizycznych obliczono profil przewodności skał występujących w profilu. Z wykorzystaniem tych danych obliczono wartość strumienia ciepłego. Dla otworu Piotrków Trybunalski IG 1 wynosi ona $77,6 \text{ mW}/\text{m}^2$. Wartość ta odpowiada wartościom strumienia typowym dla strefy przejściowej między platformą paleozoiczną a kratonem wschodnioeuropejskim.

Prędkości fal akustycznych oraz sejsmicznych

Wyniki bezpośrednich rejestracji prędkości fal akustycznych (DT) realizowanych w trakcie badań w otworze Piotrków Trybunalski IG 1, podobnie jak w przypadku większości otworów wiertniczych wykonywanych przed rokiem 1993, ze względu na złą jakość sprzętu pomiarowego nie dawały możliwości uzyskania dostatecznie wiarygodnego rozpoznania tej ważnej, szczególnie dla badań sejsmicznych, cechy badanych skał. Badania te wykonano jedynie w interwale głęb. 847,0–3170,0 m. Prace interpretacyjne związane m.in. z określeniem profilu litologiczno-porowatościowego skał pozwalają na obliczenie wartości prędkości fal akustycznych (Szewczyk, 1998, 2001). Zmienność prędkości akustycznej może być określana w sposób pośredni na drodze obliczeniowej, poprzez określenie wartości syntetycznego profilowania akustycznego (DTS). W przeprowadzonej procedurze interpretacyjnej zastosowano model Hana i in. (1986), uwzględniający wpływ ciśnienia litostatycznego. Na [figurze 21](#) ukazano zestawienie głębokościowe wyników obliczonych wartości

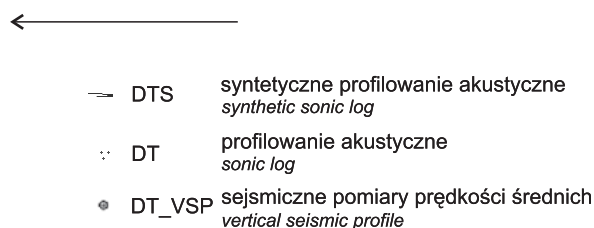
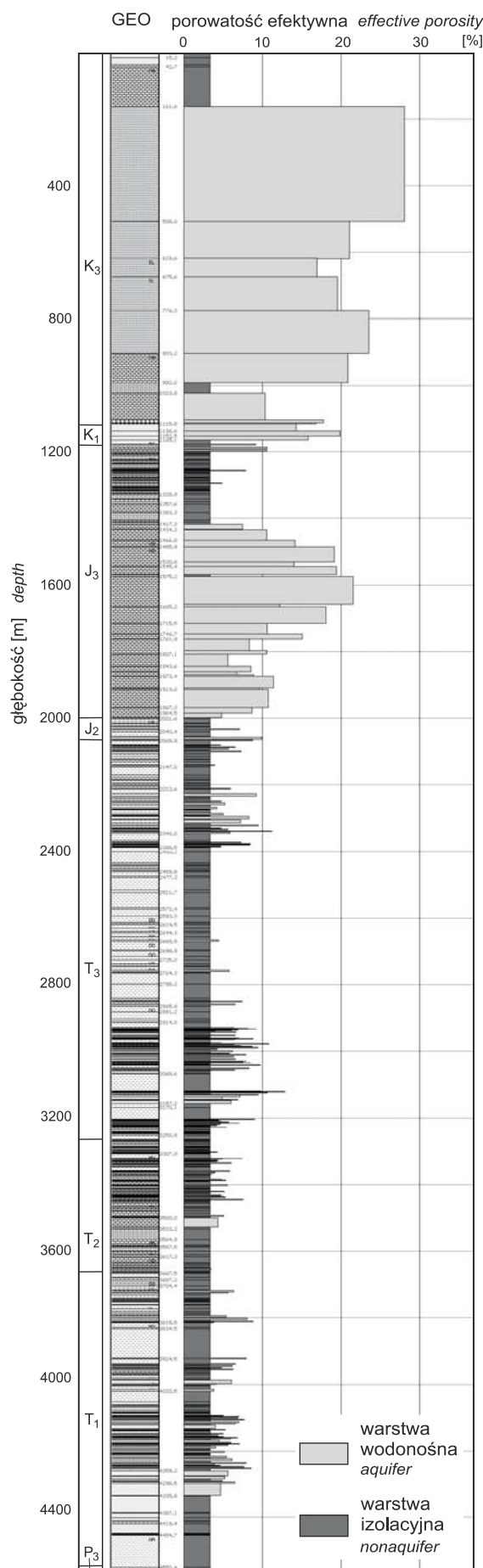


Fig. 21. Wyniki obliczeń syntetycznego profilowania akustycznego

Dla porównania przedstawiono wyniki wykonanego profilowania akustycznego oraz profilowania pseudoakustycznego, obliczonego na podstawie sejsmicznych pomiarów prędkości średnich

Calculated synthetic sonic log

A comparison with results of sonic log and pseudo-sonic log is shown, based on calculation of vertical seismic profile data



prędkości akustycznych (DTS) z wynikami bezpośrednich pomiarów akustycznych (DT), tzw. sejsmicznymi prędkościami pseudoakustycznymi (DT_VSP), określonymi na podstawie pionowych profilowań prędkości fal sejsmicznych. Obserwowana jest wyraźnie większa zgodność obliczonych wartości DTS z wynikami DT_VSP, w stosunku do bezpośrednich pomiarów prędkości fal akustycznych (DT). Obliczone wartości prędkości pozwalają m.in. na wyeliminowanie błędów związanych z istnieniem przeskoków faz.

Warstwy wodonośne

Badania geofizyczne przeprowadzone w otworze wiertniczym Piotrków Trybunalski IG 1 umożliwiły także wydzielenie warstw wodonośnych. Na figurze 22 zaznaczono warstwy wodonośne w profilu omawianego otworu wiertniczego, wydzielone na podstawie interpretacji danych geofizyki wiertniczej. Podano średnią wartość porowatości efektywnej dla tych warstw.



Fig. 22. Warstwy wodonośne w profilu otworu wiertniczego Piotrków Trybunalski IG 1 wydzielone na podstawie interpretacji danych geofizycznych

Podana została średnia wartość porowatości efektywnej dla tych warstw

Aquifers in the Piotrków Trybunalski IG 1 borehole based on geophysical well logging data interpretation

Average effective porosity of aquifer is shown

Lidia DZIEWIŃSKA, Waldemar JÓŹWIAK

PROFILOWANIE PRĘDKOŚCI ŚREDNICH

W otworze wiertniczym Piotrków Trybunalski IG 1 profilowanie prędkości średnich przeprowadziło Przedsiębiorstwo Geofizyki Górnictwa Naftowego Kraków w marcu 1981 r.

Pomiarami objęto odcinki do głęb. 4420,0 m, przy głębokości końcowej otworu 4849,0 m. Stosowano aparaturę SS 24-61M, sondę pięcio- i dwugeofonową oraz dwudziestometrowy interwał pomiarowy. Energię wzbudzano przy pomocy dynamitu (średni ładunek 0,5–1,0 kg) w dwóch otworach strzałowych.

Parametry punktów strzałowych (PS) wynosiły odpowiednio:

PS 1 $d = 110$ m $A = 310$ $N = -5,0$ $hpo = 29,0$

PS 2 $d = 90$ m $A = 80$ $N = 0,0$ $hpo = 29,0$

gdzie:

d – odległość punktu strzałowego (wzbudzania) od głębokiego otworu (w m),

A – azymut mierzony w punkcie głębokiego otworu w kierunku punktu strzałowego (wzbudzania),

N – wysokość względna punktu strzałowego w stosunku do otworu wiertniczego,

hpo – średnia głębokość wzbudzania.

Jakość materiału podstawowego została oceniona w 70% jako dobra i w 30% jako dostateczna. Dotyczy to całego przedziału głębokościowego i danych z dwóch punktów strzałowych.

Do obliczenia krzywej prędkości średnich przyjęto jako poziom odniesienia poziom pomiaru, czyli 182,0 m n.p.m., przy wysokości otworu wynoszącej 211,0 m.

Głębokość zredukowana do poziomu odniesienia została obliczona ze wzoru:

$$hr = h - hpo \pm N \pm \Delta h$$

gdzie:

hr – głębokość zredukowana punktu pomiarowego,

Δh – głębokość zanurzenia geofonu głębinowego,

h – różnica głębokości między hpo i poziomem odniesienia [m].

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

$$tp = tobs + \Delta th$$

gdzie:

tp – czas poprawiony,

$tobs$ – czas obserwowany,

Δth – poprawka wynikająca z głębokości strzelania, poziomu odniesienia, miąższości strefy małych prędkości, prędkości w tej strefie i prędkości pod nią.

Dla obliczenia poprawki Δth pomiędzy średnią głębokością wzbudzania a poziomem odniesienia przyjęto prędkość 1790 m/s.

Czas zredukowany dla poszczególnych punktów strzałowych $tr1$ i $tr2$ liczono na podstawie wzoru:

$$tr = \frac{hr}{\sqrt{hr^2 + d^2}} \times tp.$$

W celu wyeliminowania anizotropii ośrodka obliczono średni czas redukowany (tr) jako średnią arytmetyczną pomiarów czasu zredukowanego z poszczególnych punktów strzałowych.

Wartości hr i tr posłużyły do obliczenia prędkości średnich (V_{sr}) zgodnie ze wzorem:

$$V_{sr} = \frac{hr}{tr}.$$

Wszystkie wartości hr , $tr1$, $tr2$, tr i V_{sr} , zestawiono w tabeli 10. Obliczenia wykonano przy pomocy odpowiedniego programu komputerowego.

Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do konstrukcji krzywych prędkości średnich (fig. 23A) i hodografu pionowego

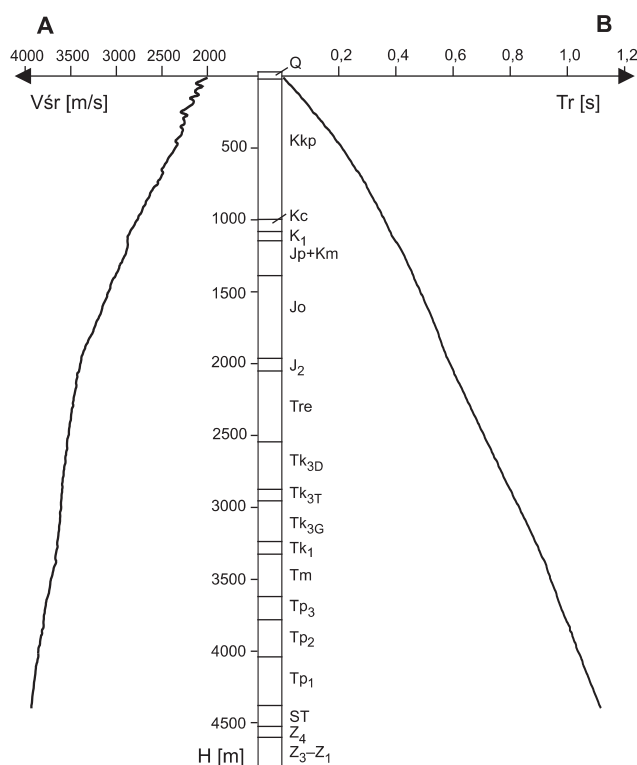


Fig. 23. Wykres prędkości średnich (A) i hodograf pionowy (B) (poz. odn. 182,0 m n.p.m.)

Tr – średni czas zredukowany, V_{sr} – prędkość średnia, H – głębokość; oznaczenia stratygraficzne wg słownika kodowego systemu SADOG (Geonafta)

Average seismic velocity (A) and travel-time curve (B)
(reference level 182.0 m a.s.l.)

Tr – average reduced time, V_{sr} – average velocity, H – depth; stratigraphical symbols according to the SADOG coding system of Geonafta

Tabela 10

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

H [m]	Tr 1 [s]	Tr 2 [s]	Tr [s]	V_{sr} [m/s]
1	2	3	4	5
11,0	0,0050	0,0060	0,005500	2000
31,0	0,0150	0,0150	0,015000	2067
51,0	0,0240	0,0240	0,024000	2125
71,0	0,0340	0,0350	0,034500	2058
91,0	0,0410	0,0450	0,043000	2116
111,0	0,0500	0,0540	0,052000	2135
131,0	0,0610	0,0640	0,062500	2096
151,0	0,0670	0,0710	0,069000	2188
171,0	0,0780	0,0810	0,079500	2151
191,0	0,0890	0,0880	0,088500	2158
211,0	0,0950	0,0970	0,096000	2198
231,0	0,1010	0,1050	0,103000	2243
251,0	0,1070	0,1120	0,109500	2292
271,0	0,1200	0,1240	0,122000	2221
291,0	0,1250	0,1320	0,128500	2265
311,0	0,1360	0,1400	0,138000	2254
331,0	0,1450	0,1490	0,147000	2252
351,0	0,1510	0,1550	0,153000	2294
371,0	0,1610	0,1660	0,163500	2269
391,0	0,1700	0,1730	0,171500	2280
411,0	0,1780	0,1810	0,179500	2290
431,0	0,1840	0,1870	0,185500	2323
451,0	0,1890	0,1950	0,192000	2349
471,0	0,2030	0,2020	0,202500	2326
491,0	0,2080	0,2110	0,209500	2344
511,0	0,2140	0,2180	0,216000	2366
531,0	0,2210	0,2250	0,223000	2381
551,0	0,2260	0,2320	0,229000	2406
571,0	0,2350	0,2350	0,235000	2430
591,0	0,2420	0,2420	0,242000	2442
611,0	0,2480	0,2480	0,248000	2464

H [m]	Tr 1 [s]	Tr 2 [s]	Tr [s]	V_{sr} [m/s]
1	2	3	4	5
631,0	0,2540	0,2550	0,254500	2479
651,0	0,2570	0,2630	0,260000	2504
671,0	0,2700	0,2700	0,270000	2485
691,0	0,2760	0,2760	0,276000	2504
711,0	0,2830	0,2820	0,282500	2517
731,0	0,2880	0,2870	0,287500	2543
751,0	0,2950	0,2950	0,295000	2546
771,0	0,3000	0,2970	0,298500	2583
791,0	0,3040	0,3040	0,304000	2602
811,0	0,3110	0,3070	0,309000	2625
831,0	0,3160	0,3150	0,315500	2634
851,0	0,3220	0,3200	0,321000	2651
871,0	0,3270	0,3250	0,326000	2672
891,0	0,3340	0,3310	0,332500	2680
911,0	0,3380	0,3360	0,337000	2703
931,0	0,3440	0,3420	0,343000	2714
951,0	0,3490	0,3480	0,348500	2729
971,0	0,3520	0,3530	0,352500	2755
991,0	0,3580	0,3600	0,359000	2760
1011,0	0,3630	0,3640	0,363500	2781
1031,0	0,3680	0,3690	0,368500	2798
1051,0	0,3720	0,3740	0,373000	2818
1071,0	0,3770	0,3770	0,377000	2841
1091,0	0,3820	0,3830	0,382500	2852
1111,0	0,3860	0,3870	0,386500	2875
1131,0	0,3930	0,3940	0,393500	2874
1151,0	0,3990	0,4010	0,400000	2878
1171,0	0,4080	0,4080	0,408000	2870
1191,0	0,4130	0,4150	0,414000	2877
1211,0	0,4200	0,4190	0,419500	2887
1231,0	0,4250	0,4260	0,425500	2893

Tabela 10 cd.

1	2	3	4	5
1251,0	0,4300	0,4300	0,430000	2909
1271,0	0,4350	0,4340	0,434500	2925
1291,0	0,4400	0,4390	0,439500	2937
1311,0	0,4440	0,4420	0,443000	2959
1331,0	0,4490	0,4480	0,448500	2968
1351,0	0,4550	0,4520	0,453500	2979
1371,0	0,4590	0,4550	0,457000	3000
1391,0	0,4640	0,4600	0,462000	3011
1411,0	0,4670	0,4630	0,465000	3034
1431,0	0,4710	0,4680	0,469500	3048
1451,0	0,4750	0,4730	0,474000	3061
1471,0	0,4800	0,4800	0,480000	3065
1491,0	0,4860	0,4830	0,484500	3077
1511,0	0,4890	0,4870	0,488000	3096
1531,0	0,4950	0,4930	0,494000	3099
1551,0	0,4990	0,4970	0,498000	3114
1571,0	0,5030	0,5010	0,502000	3129
1591,0	0,5070	0,5050	0,506000	3144
1611,0	0,5110	0,5110	0,511000	3153
1631,0	0,5170	0,5150	0,516000	3161
1651,0	0,5210	0,5200	0,520500	3172
1671,0	0,5260	0,5230	0,524500	3186
1691,0	0,5310	0,5260	0,528500	3200
1711,0	0,5330	0,5300	0,531500	3219
1731,0	0,5380	0,5350	0,536500	3226
1751,0	0,5410	0,5390	0,540000	3243
1771,0	0,5460	0,5440	0,545000	3250
1791,0	0,5510	0,5470	0,549000	3262
1811,0	0,5520	0,5510	0,551500	3284
1831,0	0,5550	0,5540	0,554500	3302
1851,0	0,5600	0,5580	0,559000	3311
1871,0	0,5610	0,5620	0,561500	3332
1891,0	0,5670	0,5650	0,566000	3341
1911,0	0,5690	0,5700	0,569500	3356
1931,0	0,5730	0,5750	0,574000	3364

1	2	3	4	5
1951,0	0,5770	0,5770	0,577000	3381
1971,0	0,5830	0,5820	0,582500	3384
1991,0	0,5890	0,5860	0,587500	3389
2011,0	0,5920	0,5920	0,592000	3397
2031,0	0,5980	0,5960	0,597000	3402
2051,0	0,6020	0,6020	0,602000	3407
2071,0	0,6040	0,6050	0,604500	3426
2091,0	0,6100	0,6110	0,610500	3425
2111,0	0,6140	0,6150	0,614500	3435
2131,0	0,6190	0,6200	0,619500	3440
2151,0	0,6250	0,6270	0,626000	3436
2171,0	0,6300	0,6310	0,630500	3443
2191,0	0,6350	0,6350	0,635000	3450
2211,0	0,6400	0,6400	0,640000	3455
2231,0	0,6440	0,6440	0,644000	3464
2251,0	0,6490	0,6500	0,649500	3466
2271,0	0,6540	0,6530	0,653500	3475
2291,0	0,6610	0,6590	0,660000	3471
2311,0	0,6630	0,6630	0,663000	3486
2331,0	0,6680	0,6690	0,668500	3487
2351,0	0,6730	0,6730	0,673000	3493
2371,0	0,6790	0,6780	0,678500	3494
2391,0	0,6840	0,6830	0,683500	3498
2411,0	0,6880	0,6870	0,687500	3507
2431,0	0,6930	0,6920	0,692500	3510
2451,0	0,6970	0,6970	0,697000	3516
2471,0	0,7030	0,7020	0,702500	3517
2491,0	0,7090	0,7070	0,708000	3518
2511,0	0,7120	0,7110	0,711500	3529
2531,0	0,7160	0,7150	0,715500	3537
2551,0	0,7210	0,7210	0,721000	3538
2571,0	0,7280	0,7250	0,726500	3539
2591,0	0,7340	0,7310	0,732500	3537
2611,0	0,7370	0,7350	0,736000	3548
2631,0	0,7410	0,7410	0,741000	3551

Tabela 10 cd.

1	2	3	4	5
2651,0	0,7450	0,7450	0,745000	3558
2671,0	0,7530	0,7500	0,751500	3554
2691,0	0,7570	0,7560	0,756500	3557
2711,0	0,7600	0,7590	0,759500	3569
2731,0	0,7650	0,7650	0,765000	3570
2751,0	0,7700	0,7690	0,769500	3575
2771,0	0,7750	0,7750	0,775000	3575
2791,0	0,7790	0,7780	0,778500	3585
2811,0	0,7830	0,7850	0,784000	3585
2831,0	0,7890	0,7880	0,788500	3590
2851,0	0,7960	0,7930	0,794500	3588
2871,0	0,7990	0,8000	0,799500	3591
2891,0	0,8040	0,8060	0,805000	3591
2911,0	0,8090	0,8090	0,809000	3598
2931,0	0,8150	0,8130	0,814000	3601
2951,0	0,8200	0,8190	0,819500	3601
2971,0	0,8240	0,8240	0,824000	3606
2991,0	0,8300	0,8310	0,830500	3601
3011,0	0,8350	0,8360	0,835500	3604
3031,0	0,8390	0,8380	0,838500	3615
3051,0	0,8460	0,8430	0,844500	3613
3071,0	0,8490	0,8500	0,849500	3615
3091,0	0,8540	0,8560	0,855000	3615
3111,0	0,8590	0,8590	0,859000	3622
3131,0	0,8640	0,8630	0,863500	3626
3151,0	0,8700	0,8680	0,869000	3626
3171,0	0,8730	0,8740	0,873500	3630
3191,0	0,8780	0,8780	0,878000	3634
3211,0	0,8830	0,8820	0,882500	3639
3231,0	0,8880	0,8850	0,886500	3645
3251,0	0,8940	0,8890	0,891500	3647
3271,0	0,8980	0,8980	0,898000	3643
3291,0	0,9000	0,9020	0,901000	3653
3311,0	0,9050	0,9050	0,905000	3659
3331,0	0,9090	0,9090	0,909000	3664

1	2	3	4	5
3351,0	0,9140	0,9140	0,914000	3666
3371,0	0,9230	0,9190	0,921000	3660
3391,0	0,9270	0,9230	0,925000	3666
3411,0	0,9290	0,9250	0,927000	3680
3431,0	0,9330	0,9270	0,930000	3689
3451,0	0,9350	0,9320	0,933500	3697
3471,0	0,9390	0,9370	0,938000	3700
3491,0	0,9410	0,9390	0,940000	3714
3511,0	0,9460	0,9420	0,944000	3719
3531,0	0,9500	0,9470	0,948500	3723
3551,0	0,9530	0,9520	0,952500	3728
3571,0	0,9600	0,9530	0,956500	3733
3591,0	0,9640	0,9580	0,961000	3737
3611,0	0,9660	0,9610	0,963500	3748
3631,0	0,9680	0,9640	0,966000	3759
3651,0	0,9700	0,9690	0,969500	3766
3671,0	0,9750	0,9730	0,974000	3769
3691,0	0,9780	0,9770	0,977500	3776
3711,0	0,9810	0,9810	0,981000	3783
3731,0	0,9870	0,9850	0,986000	3784
3751,0	0,9900	0,9880	0,989000	3793
3771,0	0,9960	0,9920	0,994000	3794
3791,0	1,0000	0,9960	0,998000	3799
3811,0	1,0070	1,0010	1,004000	3796
3831,0	1,0110	1,0070	1,009000	3797
3851,0	1,0120	1,0070	1,009500	3815
3871,0	1,0180	1,0130	1,015500	3812
3891,0	1,0200	1,0150	1,017500	3824
3911,0	1,0240	1,0190	1,021500	3829
3931,0	1,0280	1,0230	1,025500	3833
3951,0	1,0320	1,0280	1,030000	3836
3971,0	1,0330	1,0300	1,031500	3850
3991,0	1,0370	1,0350	1,036000	3852
4011,0	1,0410	1,0400	1,040500	3855
4031,0	1,0480	1,0450	1,046500	3852

Tabela 10 cd.

1	2	3	4	5
4051,0	1,0500	1,0490	1,049500	3860
4071,0	1,0530	1,0530	1,053000	3866
4091,0	1,0550	1,0560	1,055500	3876
4111,0	1,0590	1,0610	1,060000	3878
4131,0	1,0630	1,0640	1,063500	3884
4151,0	1,0670	1,0690	1,068000	3887
4171,0	1,0730	1,0720	1,072500	3889
4191,0	1,0760	1,0760	1,076000	3895
4211,0	1,0790	1,0800	1,079500	3901

1	2	3	4	5
4231,0	1,0850	1,0830	1,084000	3903
4251,0	1,0890	1,0880	1,088500	3905
4271,0	1,0930	1,0910	1,092000	3911
4291,0	1,0970	1,0950	1,096000	3915
4311,0	1,1030	1,0980	1,100500	3917
4331,0	1,1070	1,1020	1,104500	3921
4351,0	1,1110	1,1070	1,109000	3923
4371,0	1,1140	1,1110	1,112500	3929
4391,0	1,1180	1,1170	1,117500	3929

Tr 1 – czas zredukowany z punktu pomiarowego 1, *Tr* 2 – czas zredukowany z punktu pomiarowego 2

Tr 1 – reduced time from measuring point 1, *Tr* 2 – reduced time from measuring point 2

(fig. 23B). Do wykreślenia krzywej prędkości średnich wykorzystano wartości uśrednione z dwóch punktów strzałowych.

W celu wyznaczenia poszczególnych kompleksów prędkościowych, a szczególnie ich średnich wartości, zastosowano wygładzanie 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.

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

Krzywe prędkości obliczono wyrównując wyniki pomiarów czasu zredukowanego do pionu przy pomocy splotu z odpowiednim filtrem. Przetwarzanie to polegało na przeliczaniu wartości czasu i prędkości do poziomu odniesienia pomiaru i interpolacji tych wartości dla znormalizowanych przedziałów głębokości, co 20 m. Następnie pomiary czasu 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 zmniejszają się przypadkowe skoki wartości czasu spowodowane zaokrągleniem ich wartości do 1 ms lub błędami pomiarowymi. Kolejne powtarzanie wymienionych operacji powoduje zaokrąglenie zała-

mań (hodografu), spowodowanych zmianami prędkości w kolejnych warstwach. W ten sposób powstały dodatkowe zbiory obejmujące przetworzone wyniki pomiaru czasu (po ich zredukowaniu do poziomu odniesienia, wyinterpretowaniu wartości co 20 m i wygładzeniu) oraz odpowiadające im prędkości średnie.

Powyższe informacje zawarto w banku danych prędkościowych, utworzonym w latach 90. XX w. w Zakładzie Geofizyki Państwowego Instytutu Geologicznego na potrzeby interpretacji prac sejsmicznych.

Różnice wartości pomiaru 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 czasów wygładzonych 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 prędkości obliczonych z czasów wygładzonych odpowiadają uśrednionym wartościom kompleksów warstw o prędkościach zmniejszonych lub zwiększonych w porównaniu z sąsiednimi.

Zestawienie uśrednionych wartości V_w (prędkości wygładzone), V_i (prędkości interwałowe) oraz V_k (prędkości kompleksowe), obliczonych z czasów wygładzonych przedstawiono w tabeli 11, a krzywe prędkości wygładzonych, interwałowych i kompleksowych – na figurze 24.

Powyższe wykresy wzbogacono profilem stratygraficznym otworu wiertniczego. Umożliwia to bezpośrednie powiązanie zmian prędkości z kompleksami stratygraficzno-litologicznymi przekroju geologicznego w otworze oraz z refleksami sejsmicznymi.

Tabela 11

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

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	2142	2165	2129
40	2142	2165	2129
60	2142	2165	2145
80	2142	2165	2167
100	2142	2165	2195
120	2277	2165	2227
140	2277	2165	2261
160	2277	2471	2296
180	2277	2471	2328
200	2277	2471	2352
220	2374	2471	2367
240	2374	2471	2374
260	2374	2471	2376
280	2374	2471	2379
300	2374	2471	2386
320	2447	2471	2401
340	2447	2471	2426
360	2447	2471	2459
380	2447	2471	2499
400	2447	2471	2544
420	2674	2471	2593
440	2674	2471	2645
460	2674	2471	2701
480	2674	2471	2763
500	2674	2471	2827
520	2957	3052	2892
540	2957	3052	2948
560	2957	3052	2991
580	2957	3052	3017
600	2957	3052	3028

H [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
1	2	3	4
620	3074	3052	3035
640	3074	3052	3046
660	3074	3052	3074
680	3074	3052	3124
700	3074	3052	3196
720	3411	3052	3285
740	3411	3637	3380
760	3411	3637	3468
780	3411	3637	3538
800	3411	3637	3586
820	3643	3637	3615
840	3643	3637	3633
860	3643	3637	3651
880	3643	3637	3673
900	3643	3637	3705
920	3823	3637	3747
940	3823	3637	3797
960	3823	3637	3851
980	3823	3866	3902
1000	3823	3866	3939
1020	3854	3866	3949
1040	3854	3866	3920
1060	3854	3866	3849
1080	3854	3866	3745
1100	3854	3866	3630
1120	3480	3521	3526
1140	3480	3521	3455
1160	3480	3521	3431
1180	3480	3521	3459
1200	3480	3521	3537
1220	3868	3521	3655

Tabela 11 cd.

1	2	3	4
1240	3868	3521	3800
1260	3868	4354	3953
1280	3868	4354	4100
1300	3868	4354	4230
1320	4419	4354	4336
1340	4419	4354	4415
1360	4419	4354	4466
1380	4419	4354	4490
1400	4419	4354	4488
1420	4425	4354	4466
1440	4425	4354	4434
1460	4425	4594	4406
1480	4425	4594	4389
1500	4425	4594	4389
1520	4445	4594	4402
1540	4445	4594	4426
1560	4445	4594	4457
1580	4445	4594	4492
1600	4445	4594	4534
1620	4693	4594	4587
1640	4693	4594	4651
1660	4693	4594	4725
1680	4693	4594	4807
1700	4693	4594	4892
1720	5123	4594	4983
1740	5123	4594	5077
1760	5123	5252	5175
1780	5123	5252	5270
1800	5123	5252	5347
1820	5304	5252	5386
1840	5304	5252	5377
1860	5304	5252	5311
1880	5304	5252	5197
1900	5304	5252	5051
1920	4684	5252	4891
1940	4684	4289	4738

1	2	3	4
1960	4684	4289	4606
1980	4684	4289	4502
2000	4684	4289	4424
2020	4300	4289	4367
2040	4300	4289	4322
2060	4300	4289	4280
2080	4300	4289	4235
2100	4300	4289	4190
2120	4133	4289	4152
2140	4133	4289	4127
2160	4133	4289	4117
2180	4133	4289	4121
2200	4133	4289	4134
2220	4157	4157	4148
2240	4157	4157	4159
2260	4157	4157	4164
2280	4157	4157	4163
2300	4157	4157	4160
2320	4154	4157	4156
2340	4154	4153	4153
2360	4154	4153	4152
2380	4154	4153	4152
2400	4154	4153	4155
2420	4160	4153	4160
2440	4160	4156	4163
2460	4160	4156	4163
2480	4160	4156	4159
2500	4160	4156	4150
2520	4117	4156	4135
2540	4117	4116	4120
2560	4117	4116	4108
2580	4117	4116	4102
2600	4117	4116	4106
2620	4144	4116	4117
2640	4144	4116	4134
2660	4144	4116	4153

Tabela 11 cd.

1	2	3	4
2680	4144	4161	4172
2700	4144	4161	4185
2720	4157	4161	4188
2740	4157	4161	4178
2760	4157	4161	4155
2780	4157	4161	4121
2800	4157	4161	4082
2820	4008	4025	4044
2840	4008	4025	4012
2860	4008	4025	3990
2880	4008	4025	3976
2900	4008	4025	3969
2920	3976	4025	3966
2940	3976	4025	3968
2960	3976	4025	3975
2980	3976	4025	3987
3000	3976	4025	4005
3020	4072	4025	4029
3040	4072	4025	4056
3060	4072	4025	4086
3080	4072	4025	4118
3100	4072	4025	4152
3120	4233	4025	4187
3140	4233	4457	4221
3160	4233	4457	4252
3180	4233	4457	4279
3200	4233	4457	4301
3220	4358	4457	4322
3240	4358	4457	4343
3260	4358	4457	4366
3280	4358	4457	4397
3300	4358	4457	4441
3320	4692	4457	4507
3340	4692	4457	4605
3360	4692	4457	4740

1	2	3	4
3380	4692	4457	4907
3400	4692	4457	5090
3420	5375	5425	5260
3440	5375	5425	5387
3460	5375	5425	5453
3480	5375	5425	5463
3500	5375	5425	5441
3520	5432	5418	5415
3540	5432	5418	5407
3560	5432	5418	5425
3580	5432	5418	5460
3600	5432	5375	5489
3620	5375	5375	5491
3640	5375	5375	5450
3660	5375	5375	5363
3680	5375	5375	5243
3700	5375	5375	5112
3720	4902	4901	4990
3740	4902	4901	4895
3760	4902	4901	4842
3780	4902	4901	4839
3800	4902	4901	4884
3820	5125	4901	4971
3840	5125	4901	5082
3860	5125	5296	5193
3880	5125	5296	5281
3900	5125	5296	5328
3920	5255	5296	5328
3940	5255	5296	5290
3960	5255	5296	5234
3980	5255	5142	5181
4000	5255	5142	5144
4020	5150	5142	5131
4040	5150	5142	5140
4060	5150	5142	5159

Tabela 11 cd.

1	2	3	4
4080	5150	5134	5171
4100	5150	5134	5165
4120	5079	5134	5141
4140	5079	5134	5103
4160	5079	5134	5059
4180	5079	4892	5019
4200	5079	4892	4984
4220	4916	4892	4954

1	2	3	4
4240	4916	4892	4927
4260	4916	4892	4902
4280	4916	4892	4880
4300	4916	4892	4861
4320	4835	4892	4844
4340	4835	4892	4832
4360	4835	4892	4826
4380	4835	4892	4826

H – głębokość, depth

Na wykresach prędkości średnich zaznacza się ogólna tendencja stałego wzrostu prędkości średniej wraz z głębokością.

W wyniku analizy wykonanych pomiarów określono prędkości kompleksowe (V_k) (fig. 24), wynoszące odpowiednio dla poszczególnych warstw geologicznych:

- kreda górna 2500, 3200 i 3700 m/s
- kreda dolna 3700 m/s
- jura górna 4400 m/s
- jura środkowa 5300 m/s
- trias górny 5000 i 4200 m/s
- trias środkowy 4600 m/s
- trias dolny 5300 m/s
- perm (cechsztyn) 5000 m/s.

Zestawienie prędkości kompleksowych wskazuje na dość duże zróżnicowanie prędkości w obrębie tych samych utworów geologicznych. Analizując uzyskane wyniki pomiarowe można prognozować występowanie wyraźniejszych sejsmicznych granic odbijających w rejonie wiercenia Piotrków Trybunalski IG 1 w stropie utworów jury i w stropie triasu dolnego (górny pstry piaskowiec – Tp_3). Najlepiej rejestrującymi się granicami w tym rejonie powinny być też odbicia pochodzące od utworów wapiennych oksfordu (Jo) i od stropu wapienia muszlowego (Tm).

Ważnym rezultatem wykonanych pomiarów jest dostarczenie danych do wiarygodnej interpretacji głębokościowej przekrojów sejsmicznych.

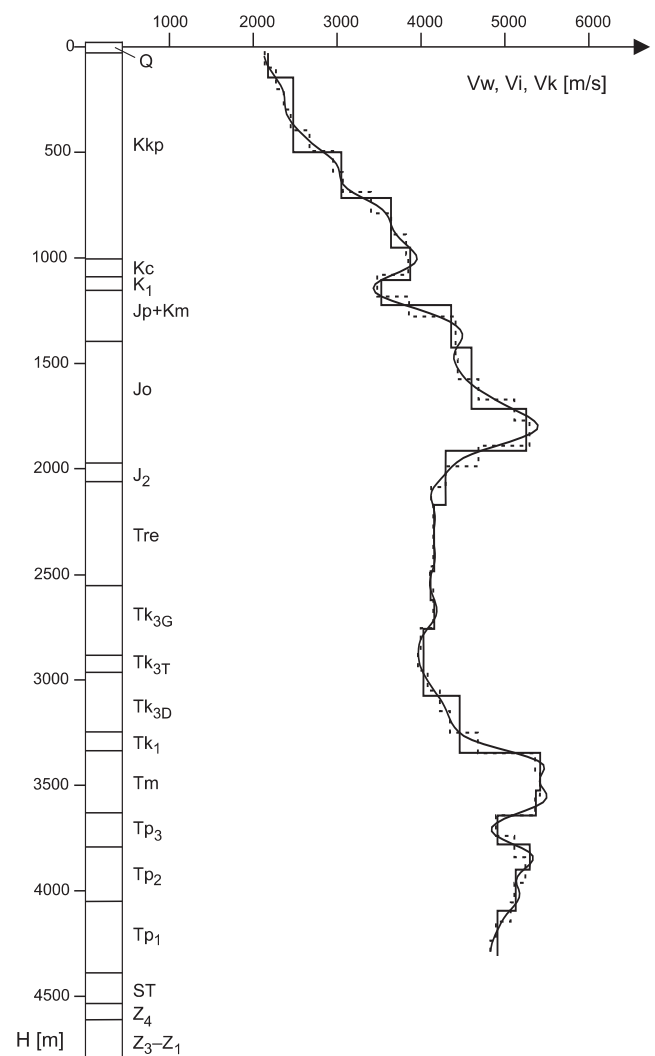


Fig. 24. Wykresy prędkości wygładzonych (V_w), interwałowych (V_i) i kompleksowych (V_k) (poz. odn. 182,0 m n.p.m.)

V_w – prędkość wygładzona, V_i – prędkość interwałowa, V_k – prędkość kompleksowa, H – głębokość; oznaczenia stratygraficzne wg słownika kodowego systemu SADOG (Geonafta)

Smoothed velocity (V_w), interval velocity (V_i) and complex velocity V_k (reference level 182.0 m a.s.l.)

V_w – smoothed velocity, V_i – interval velocity, V_k – complex velocity, H – depth; stratigraphical symbols according to the SADOG coding system of Geonafta

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