

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Jan SZEWCZYK

BADANIA GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

W trakcie wiercenia otworu Grudziądz IG 1 przeprowadzono, zgodnie z projektem, tzw. sferowe badania geofizyczne. W okresie od 5 sierpnia 1971 r. do 4 lutego 1972 r. wykonano dziesięć badań odcinkowych, prowadzonych zazwyczaj przed zarurowaniem kolejnych fragmentów profilu. Użyto standardowej aparatury analogowej produkcji radzieckiej. Głównym wykonawcą badań był IV Zespół Geofizyki Wiertniczej Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych. Badania akustyczne aparaturą ŁAK-2/3 z ciągłym zapisem obrazu falowego były prowadzone przez zakontraktowaną przez PGNG rdziecką grupę pomiarową, która, przy udziale PGNG Toruń wykonała również końcowe badanie stanu zamocowania ostatniej kolumny rur.

Pomiary radiometryczne, stanowiące w latach 70. XX wieku podstawowy typ badań geofizycznych, służących do

oceny litologii oraz właściwości zbiornikowych skał występujących w profilu – z konieczności były wykonywane sondami, które nie spełniały norm standardyzacji, ani tym bardziej kalibracji. Profilowania neutronowe typu PNG były wykonywane sondami SP-62, z zastosowaniem źródła Po-Be, o aktywności od 3 do 5 Ci, przy nominalnej długości sondy wynoszącej 60 cm, rozumianej jako odległość od źródła neutronów do 2/3 długości detektora. Dla pomiarów tych wykonano pomiary kontrolne w odcinku nie mniejszym niż 50 m, na ogół w najgłębszej części badanego odcinka profilu.

Badania rejestrowane były analogowo w skali głębokościowej 1:500. Niezależnie część pomiarów rejestrowana była w skali 1:200 (tab. 7).

Tabela 7

Rodzaje pomiarów geofizycznych wykonanych w otworze wiertniczym Grudziądz IG 1

The types of geophysical measurements made in Grudziądz IG 1 borehole

Data pomiaru	Głębokość [m]	Rodzaj pomiaru/symbol	Badany interwał [m]
1	2	3	4
05.08.1971 r.	609	PO ¹ PSgrad, PSr PK PG PNG	126–600 126–600 25–600 5–600 20–600
12.08.1971 r.	961	POg PSgrad PŚr PK PG PNG POp	126,5–957 126,5–956 126,5–952 575–960 pkt. 18 550–951 550–953 550–950

¹ objaśnienia skrótów na str. 9
For explanation see page 9

Tabela 7 cd.

1	2	3	4
02.09.1971 r. 03.09.1971 r.	1319	PG, PNG PGG BSO, PS, PŚr mPO PA(Δ T) PA tłum PK	920–1315 935–1318 955–1310 955–1301 50–963 50–963 925–1300
22–24.09.1971 r.	1669	PO POP, PS PŚe PK PG, PNG SO PO, mPOst, mPO	955,5–1666 1200–1666 1200–1666 995,5–1666 pkt. 19 1200–1665 1200–1666 $\times 6$ 1200–1670
09–11.10.1971 r.	1984,5	PO, PS, gradPS, PŚr PK, PG, PNG mPO, mPOst, POg PI	956–1970 1605–1970 1605–1970
04–05.11.1971 r.	2437,5	POp POg, PS, PŚr PK Pg, PNG	1920–2430 955–2430 1900–2430 pkt. 24 1952–2430
16.11.1971 r.	2555	PA (zacementowanie)	80–2552
18.11.1971 r.	2555	PA (zacementowanie)	950–2552
13–15.11.1971 r.	2555	PG, PNG, SO POg, PS, PŚr PK	2350–2547 955,5–2547 2350–2547 pkt. 9
10–13.12.1971 r.	2800	Popg, PS POP, PŚr PK PG, PNG SO Post mPŚr	2555,5–2790 2555,5–2796 2475–2795 2450–2796 2700–2796 (1:200) 2555,5–3022,5 (1:200) 2555,5–2796 (1:200)
17.01.1972 r.	3070	PA(Δ t) PGNG Toruń	40–2555,5
19.01.1972 r.		PA(Δ t) stan. zacement	500–3052
22.01.1972 r.		PA(Δ t)	50–2600
22.01.1972 r.		PA(tłum.)	2500–3057
17–21.01.1972 r.	3070,5	pk, PG, PNG PO $\times$ 2 Ps grad. POP PŚr SO $\times$ 7 Post, POg	2775–3070 2554–3063 2750–2800 2554–2960 2760–3063 2760–3063 2760–3063 (1:200)
04.02.1972 r.	3070,5	PT (14 dni stójki)	8–2944

Według autora, dostępne wyniki badań prowadzonych w latach 70. XX wieku nie są w pełni dostateczne do właściwego rozpoznania badanego profilu otworu wiertniczego Grudziądz IG 1. Powodem tego była aparatura pomiarowa, nie spełniająca przyjętych światowych standardów, która uniemożliwiała wykonanie pomiarów w dostatecznym zakresie i w odpowiedniej jakości.

Wyniki wybranych źródłowych danych pomiarowych zarejestrowane w formie analogowej w skali głębokościowej 1:500 zdigitalizowano (fig. 26) oraz unormowano w zakresie przewidzianym programem prac związanych z wprowadzeniem oma-

wianych danych do Centralnej Bazy Danych Geologicznych (ID otworu w CBDG 87853).

Na figurze 27 przedstawiono wyniki unormowanych i połączonych wartości naturalnego promieniowania gamma, a także profilowania średnicy otworu wiertniczego ze wskazaniem głębokości połączenia poszczególnych odcinków badań. Pokazano równocześnie wiertniczy profil litologiczny (GEO), ze wskazaniem odcinków rdzeniowych z zaznaczeniem stopnia uzysku rdzeni wiertniczych. Zastosowana metodyka normowania profilowań gamma została opisana przez Szewczyka (2000).

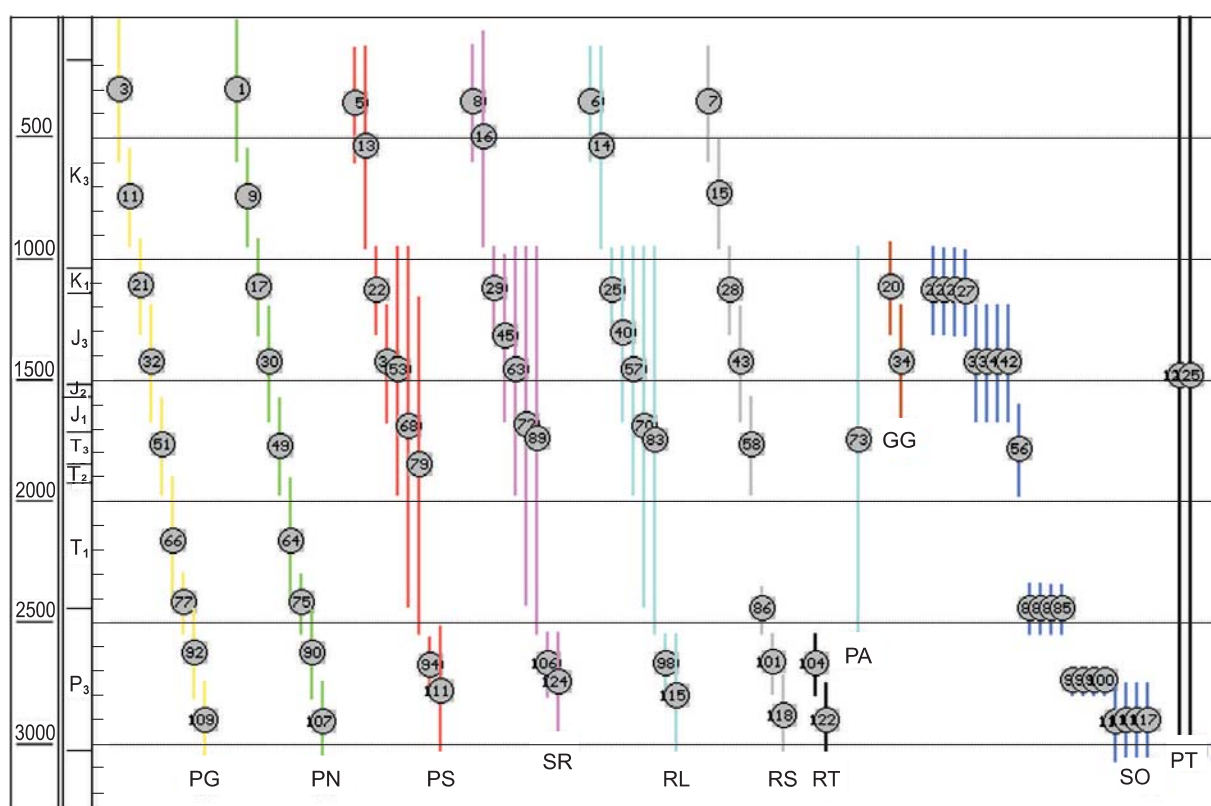


Fig. 26. Schematyczne zestawienie profilowań geofizycznych z otworu wiertniczego Grudziądz IG 1 istniejących w formie danych cyfrowych w CBDG PIG-PIB (2010 r.)

Typy profilowań geofizycznych: PG – profilowanie naturalnego promieniowania gamma, PN – profilowanie neutronowe, PS – profilowanie potencjałów samoistnych, SR – profilowanie średnicy otworu, RL – profilowanie oporności długą sondą gradientową, RS – profilowanie oporności krótką sondą potencjałową, RT – profilowanie oporności polem sterowanym, PA – profilowanie akustyczne, GG – profilowanie gęstości typu gamma-gamma, SO – profilowanie (sondowanie) oporności, PT – profilowanie temperatury; numer identyfikacyjny podano w systemie GEOFLOG

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

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

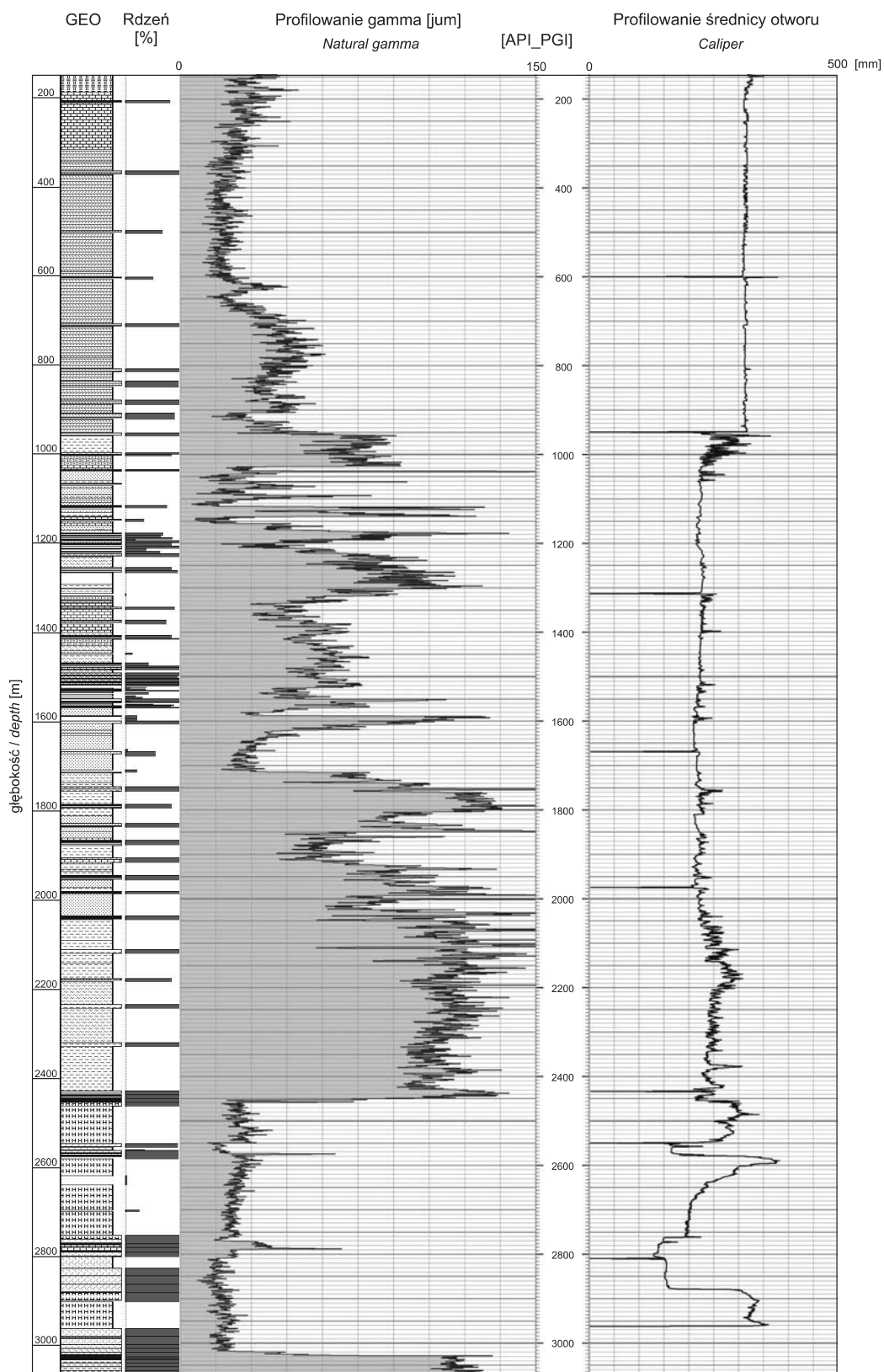


Fig. 27. Wykres unormowanego profilowania gamma wraz z profilowaniem średnicy otworu wiertniczego ze wskazanymi na nim głębokościami łączenia profilowań dla poszczególnych badań odcinkowych

Pokazany został również wiertniczy profil litologiczny i stratygraficzny wraz z odcinkami rdzeniowanymi wraz uzyskanymi rdzeniami

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

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

CHARAKTERYSTYKA TERMICZNA

W otworze wiertniczym Grudziądz IG 1 wykonano pomiar termiczny w warunkach zbliżonych do ustabilizowanych (12 dni stójki). Otwór jest zaburzony termicznie, o czym świadczy różnica między ekstrapolowaną wartością temperatury (ok. 15°C) do powierzchni, a wartością temperatury powierzchni ziemi (*GST* – *ground surface temperature*), określoną na podstawie danych meteorologicznych (8,5°C). W trakcie strefowych badań geofizycznych były wykonywane pomiary temperatury maksymalnej. W tabeli 8 zostały przedstawione wartości tej temperatury.

Uwzględniając wyniki zarówno profilowania temperatury, jak i temperatur maksymalnych, obliczono wartość gęstości strumienia cieplnego (syntetyczne profilowanie termiczne dla otworu wiertniczego Grudziądz IG 1 (Szewczyk, Gientka, 2009)). Obliczona wartość strumienia 63,4 mWm⁻² jest wartością typową dla strefy przejściowej między obszarem wału kujawskiego o podwyższonych wartościach strumienia cieplnego, a obszarem platformowym o niskich jego wartościach (fig. 28).

Tabela 8

Wartości temperatury maksymalnej

Maximum temperature value

Głębokość [m]	Temperatura maksymalna [°C]
957	25
1669	41
1980	45
2430	63
2550	70
2800	73

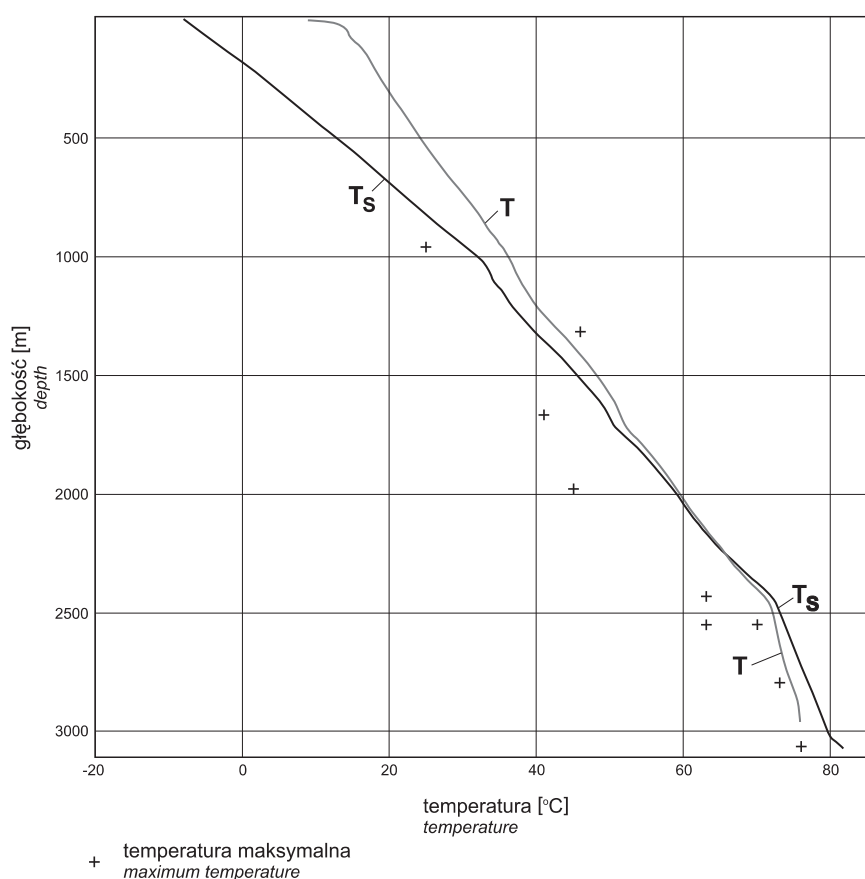


Fig. 28. Charakterystyka termiczna dla otworu wiertniczego Grudziądz IG 1

T_s – paleotemperatura, T – temperatura obserwowana

Thermal curves for the Grudziądz IG 1 borehole

T_s – palaeotemperature, T – observed temperature

WARSTWY ZBIORNIKOWE

W trakcie wykonywania wiercenia, a także po jego zakończeniu, na bieżąco prowadzono prace interpretacyjne, które wiązały się z określeniem optymalnych interwałów głębokościowych dla wykonania opróbowań złożowych. Wykonawcą badań było Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych. Wyniki prac zawarte są w dokumentacji końcowej otworu badawczego Grudziądz IG 1, a były one wykorzystywane m.in. przy wyborze odcinków profilu dla badań złożowych (Banaś, 1972).

Po roku 2000, w związku z potrzebą uzyskania informacji na temat profilu litologiczno-porowatościowego otworu wiertniczego Grudziądz IG 1, wykonano kompleksowe prace interpretacyjne, obejmujące cały profil. Celem tych prac było

określenie profilu litologicznego oraz podstawowych właściwości petrofizycznych, tj.: porowatości, zailenia, gęstości objętościowej oraz przewodności cieplnej skał (Szewczyk, 2001). Prace interpretacyjne prowadzono przy wykorzystaniu autorskiego programu interpretacyjnego Geoflog. Na [figurze 29](#) przedstawiono zestawienie wyników geofizycznych określeń porowatości całkowitej z wynikami badań laboratoryjnych, a także podział profilu na warstwy wykazujące cechy skał zbiornikowych oraz warstwy izolacyjne. Dla warstw wykazujących cechy skał zbiornikowych obliczono wartości porowatości efektywnych. Warstwy te występują wyłącznie w obrębie utworów jury środkowej oraz dolnej.

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Po zakończeniu wiercenia otworu Grudziądz IG 1, bądź w trakcie jego realizacji, wykonano badania hydrogeologiczne czterech poziomów zbiornikowych. Wynik tych badań zostały szczegółowo omówione w rozdziale *Wyniki opróbowań poziomów zbiornikowych*.

Spośród czterech opróbowanych poziomów wodonośnych, z trzech uzyskano przyływ wód złożowych o bardzo zróżnicowanej wydajności. Szczególnie zaskakujący był niski przyływ wód z utworów kredy dolnej, której charakterystyka petrofizyczna wskazuje na bardzo dobre właściwości zbiornikowe. Przyczyną niskiej wydajności, a także zwiększonej mineralizacji – niereprezentatywnej dla badanych utworów, był specyficzny wybór interwału dla opróbowań, dokonany prawdopodobnie bez uwzględniania danych geofizycznych. Sytuacja ta jest zilustrowana na [figurze 30A](#).

Na [figurze 30B](#) przedstawiono mineralizację wód podziemnych w otworze wiertniczym Grudziądz IG 1 na tle wszystkich danych dotyczących wód z obszaru Niżu Polskiego.

Otwór wiertniczy Grudziądz IG 1 znajduje się w strefie inwersji mineralizacji wód kredy dolnej, charakterystycznej dla brzeżnych obszarów stref synklinalnych (niecka warszawska, niecka płocka). Sytuacja ta jest przedstawiona na [figurze 31](#).

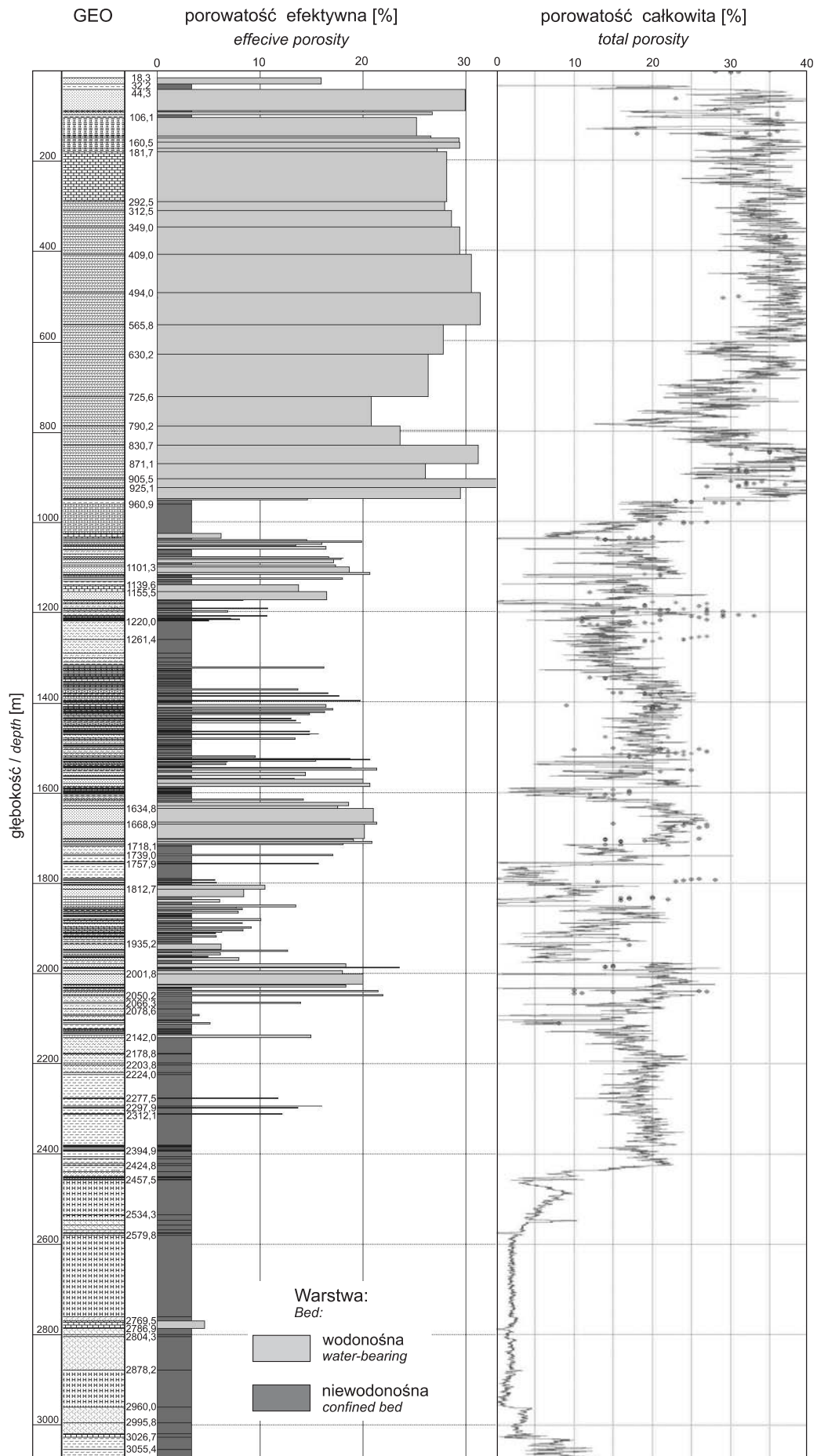
Zasilanie wód tego poziomu następuje w wyniku infiltracji wód holocenów w strefie wychodni utworów kredy dolnej. Mineralizacja wód tego poziomu bardzo wyraźnie odbiega od średniej mineralizacji wód dla Niżu Polskiego. Uwagę zwraca relatywnie duży udział wysłodzonych wód tego poziomu w stosunku do wystąpień wód w utworach kenozoiku. Niewielka głębokość występowania tego poziomu wpływa na to, że wody te osiągają temperaturę około 35°C.

Fig. 29. Zestawienie wyników obliczeń porowatości całkowitej oraz efektywnej na podstawie danych geofizycznych dla profilu otworu wiertniczego Grudziądz IG 1

Dla porównania przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych porowatości całkowitej; porowatość efektywna uśredniona dla wydzielonych warstw litologicznych obliczona metodą statystyczną (Szewczyk w: Górecki i in., 2006)

Total porosity and effective porosity based on geographical data
from Grudziądz IG 1 borehole

Results of laboratory analyses of total porosity are show for comparison; effective porosity is averaged for individual lithological units using a statistical methods (Szewczyk in: Górecki *et al.*, 2006)



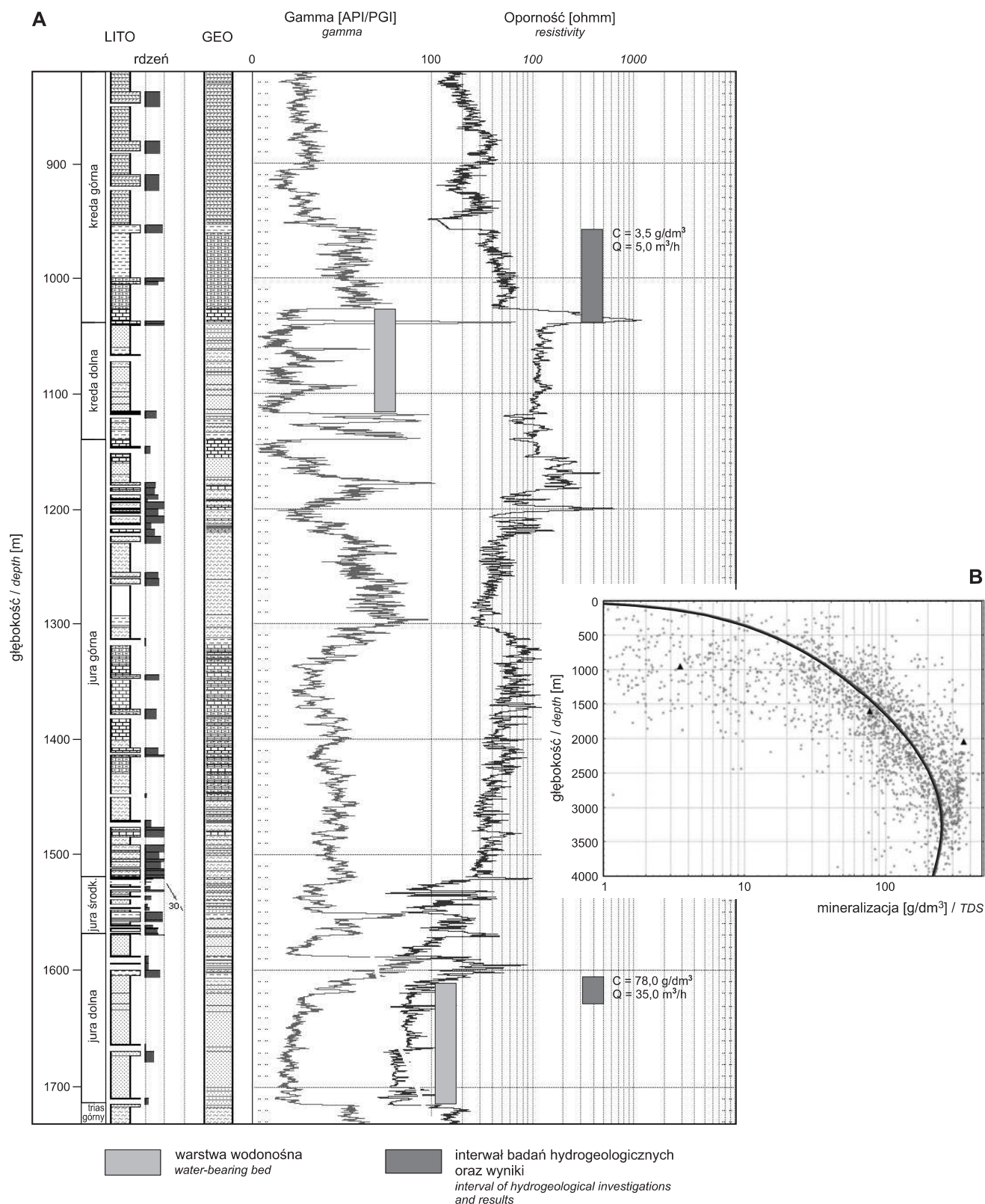


Fig. 30. A. Opróbowane interwały głębokościowe profilu otworu wiertniczego Grudziądz IG 1 na tle profilowania gamma oraz profilowania oporności ze wskazanymi odcinkami występowania warstw wodonośnych. B. Mineralizacja wód podziemnych w opróbowanych interwałach na tle rozkładu głębokościowego tego parametru na obszarze Nizżu Polskiego

A. Tested intervals in Grudziądz IG 1 borehole. Gamma ray log, resistivity log and water-bearing horizons are shown.
B. Groundwater mineralization of tested intervals is shown against the background of depth-related distribution of the parameter in the Polish Lowlands

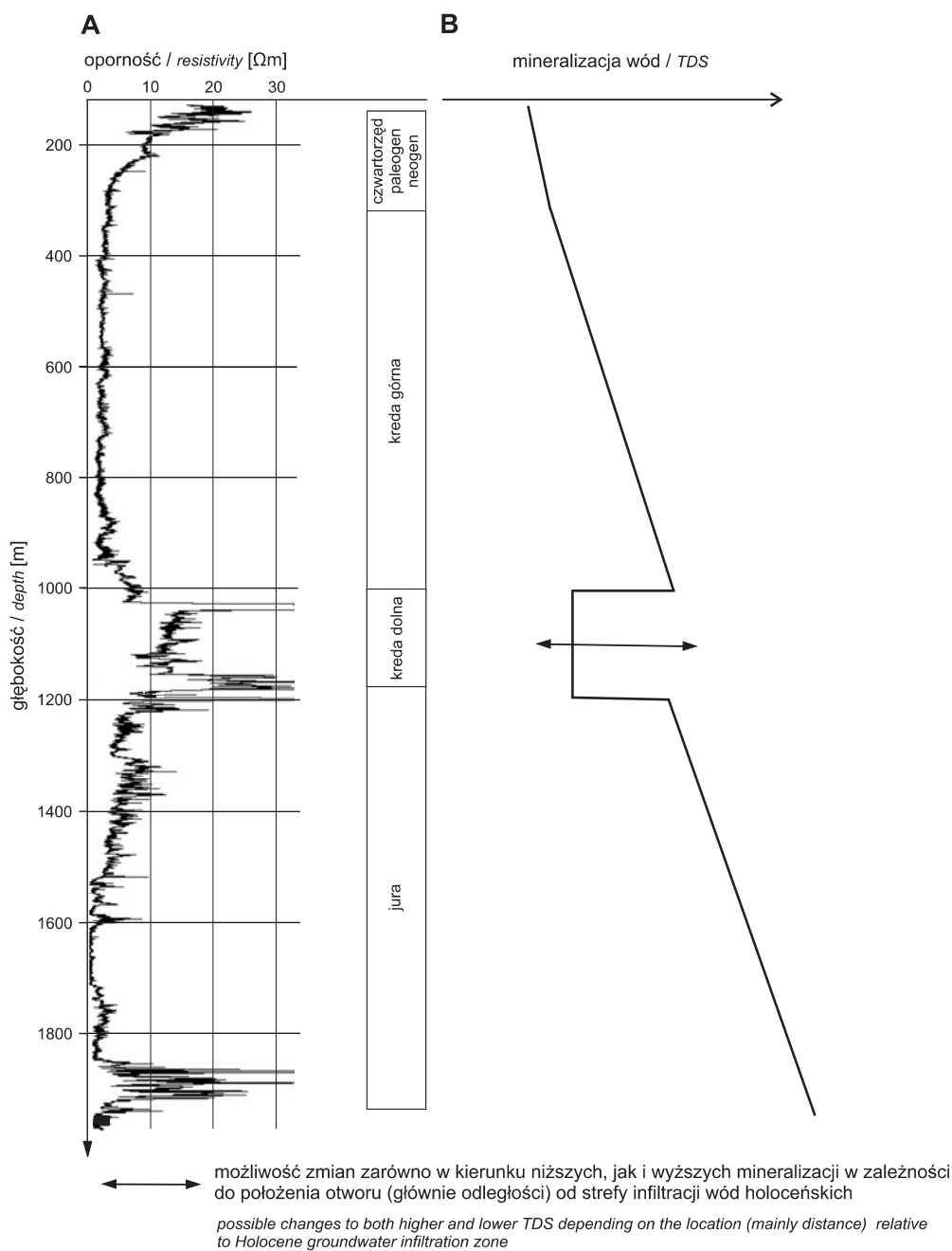


Fig. 31. A. Głębokościowy rozkład oporności mierzony sondą gradientową M2.5A0.25B dla mezozoicznej części profilu otworu wiertniczego Grudziądz IG 1 z widoczną inwersją w utworach kredy dolnej.

B. Schematyczny model inwersji mineralizacji wód dla stref zasilania infiltracyjnego w obszarach brzeżnych niecki śródpolskiej

A. Depth-related distribution of resistivity measured using a gradient probe M2.5A0.25B in the Mesozoic of the Grudziądz IG 1 borehole. Inversion is visible in Lower Cretaceous deposits.

B. Schematic model of water mineralization inversion for groundwater inflow zones in marginal areas of the Mid-Polish Trough

Lidia DZIEWIŃSKA, Waldemar JÓŹWIAK

POMIAR PRĘDKOŚCI ŚREDNICH W OTWORZE WIERTNICZYM GRUDZIĄDZ IG 1

Pomiar prędkości średnich w otworze wiertniczym Grudziądz IG 1 w roku 1972 wykonało Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych (PPG) w Warszawie. Wysokość otworu wiertniczego wynosiła 34 m n.p.m., a poziomu odniesienia 19 m n.p.m.

Do badań wykorzystano aparaturę RX-24 Nr 61/22 oraz sondę produkcji PPG. Interwał pomiarów wynosił 50 m. Pomiar przeprowadzono w przedziale głębokości 49–2996 m. Energię wzbudzano z 3 punktów strzałowych (PS).

Usytuowanie punktów strzałowych podyktowane warunkami metodycznymi i terenowymi przedstawiono w tabeli 9.

Wielkość użytych ładunków wybuchowych oraz głębokości strzelania z poszczególnych punktów strzałowych przedstawiono w tabeli 10.

Prace strzałowe wykonano przy użyciu dynamitu 1G-3 oraz 8-GH. Dla kontroli głębokości strzelania na poszczególnych punktach strzałowych ustawiono geofony korekcyjne – K1 (max. odległość 5 m). Dla kontroli momentu wybuchu ustawiono przy głębokim otworze wiertniczym geofon korekcyjny K2.

Dla dokładnego rejestrowania momentu wybuchu zastosowano specjalny obwód – sposób pętli. Do pomiaru użyto kabla karotażowego KTBD-6. Zakłócenia na sejsmogramach wywołane były takimi czynnikami, jak: rejestrowane fale po kablu i rurach.

Jakość materiałów, a w związku z tym i pewność opracowania końcowego dla poszczególnych punktów strzałowych przedstawiono w tabeli 11. Materiały wyjściowe uzyskane dla otworu wiertniczego Grudziądz IG 1 są bardzo zróżnicowane. Od głębokości 1800 do 2996 m otrzymano dobre sejsmogramy. Interpretacja na tych głębokościach jest pewna. Na pozostałych głębokościach (49–1849 m) otrzymano sejsmogramy słabe. Przyczyną tego była systematycznie rejestrowana fala po kablu i rurach. Z tego powodu, odcinek ten odstrzelono dwukrotnie, wykonując dodatkowe pomiary prędkości tych fal. Dzięki zastosowaniu odpowiedniej aparatury interpretacja stała się możliwa. Rozdzielczość aparatury była na tyle duża, że można było wydzielić na dalszych czasach zerwania, odpowiadające fali bezpośredniej. Dość pewnie udało się to zrobić na odcinku głębokości od 346 do 996 m.

Najtrudniejszy do interpretacji okazał się odcinek w przedziale głębokości 996–1546 m. Ostatecznie zdecydowano się na najbardziej pewne zerwania na sejsmogramach, czyli na najbardziej prawdopodobny przebieg krzywej dla tego odcinka głębokości.

Wartość czasu odczytanego z sejsmogramów (t_{obs}) poprawiono dwiema metodami. W pierwszej metodzie poprawki czasowe (t_h) wprowadzono uwzględniając zmiany głębokości strzelania dla poszczególnych pomiarów w stosunku do poziomu odniesienia wspólnego dla wszystkich punktów strzałowych, uzyskując ostatecznie wzór na czas poprawiony w postaci:

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

Tabela 9

Usytuowanie punktów strzałowych

Shotpoints location

Numer punktu strzałowego (PS)	Odległość punktu strzałowego od głębokości otworu d [m]	Azymut	Wysokość otworu strzałowego w stosunku do głębokości N [m]
1	209 a) 208 b) 199 c) 193 d) 182	0° a) 350° b) 349° c) 335° d) 330°	–8,5
2	175 a) 176 b) 195 c) 171 d) 199	40° a) 45° b) 35° c) 32° d) 40°	+4,5
3	131 a) 146 b) 166 c) 175 d) 153 e) 183 f) 193 g) 161	150° a) 145° b) 136° c) 130° d) 140° e) 127° f) 125° g) 135°	–4,5

Tabela 10

Wielkość ładunków wybuchowych oraz głębokości strzelania

Shotpoints depths and charges

Numer punktu strzałowego (PS)	Wielkość ładunku [kg]	Głębokość strzelania h [m]	Głębokość do poziomu odniesienia wspólnego dla wszystkich punktów strzałowych (PS) h_{po} [m]
1	0,15–2,00	6–18	6,5
2	0,15–2,00	9–30	19,5
3	0,15–2,00	4–24	10,5

Tabela 11

Jakość materiałów sejsmicznych

Seismic data quality

Numer punkt strzałowego (PS)	Interwał [m]		Jakość materiału			Uwagi
	od	do	dobra	dostateczna	zła	
1	49	2946	21	22	49	zaliczono sejsmogramy dobre i dostateczne
2	49	2996	13	23	47	
3	49	2996	20	24	51	
Razem			54	69	147	

W drugiej metodzie wykorzystano wskazania geofonów korekcyjnych K1, K2, gdzie:

K1 – geofon korekcyjny przy danym otworze strzałowym rejestrujący zmiany czasu spowodowane różną głębokością strzelania oraz niedokładną rejestracją momentu wybuchu;

K2 – geofon umieszczony przy głębokim otworze rejestrujący zmiany czasu spowodowane tylko niewłaściwą rejestracją momentu wybuchu, ustalając, że zmiany głębokości strzelania mają również wpływ na wskazania geofonu K2.

Ostateczna wartość czasu poprawionego ma w tym przypadku postać:

$$t_{pop} = t_{obs} + t_h + t'_h - t_{k2}$$

Redukcja pomiarów obejmowała 2 zagadnienia: redukcję głębokości oraz redukcję czasu poprawionego. Głębokość zredukowano do poziomu odniesienia wg wzoru:

$$H_r = H - h_{po} \pm N$$

gdzie:

H – głębokość zanurzenia geofonu liczona od wylotu głębokiego otworu wiertniczego;

h_{po} – głębokość do poziomu odniesienia wspólnego dla wszystkich PS liczona od powierzchni ziemi na poszczególnych PS;

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

Przy założeniu jednorodności ośrodka od punktu wybuchu do głębokości zanurzenia geofonu dokonano redukcji czasu do pionu według wzoru:

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

gdzie:

d – odległość PS od głębokiego otworu dla danego PS.

Prędkość średnią liczone według wzoru:

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

Dane z obliczeń przedstawiono w tabeli 12.

Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do konstrukcji krzywych prędkości średnich (fig. 32A) i hodografu pionowego (fig. 32B). Do wykreślenia krzywych prędkości średnich wyko-

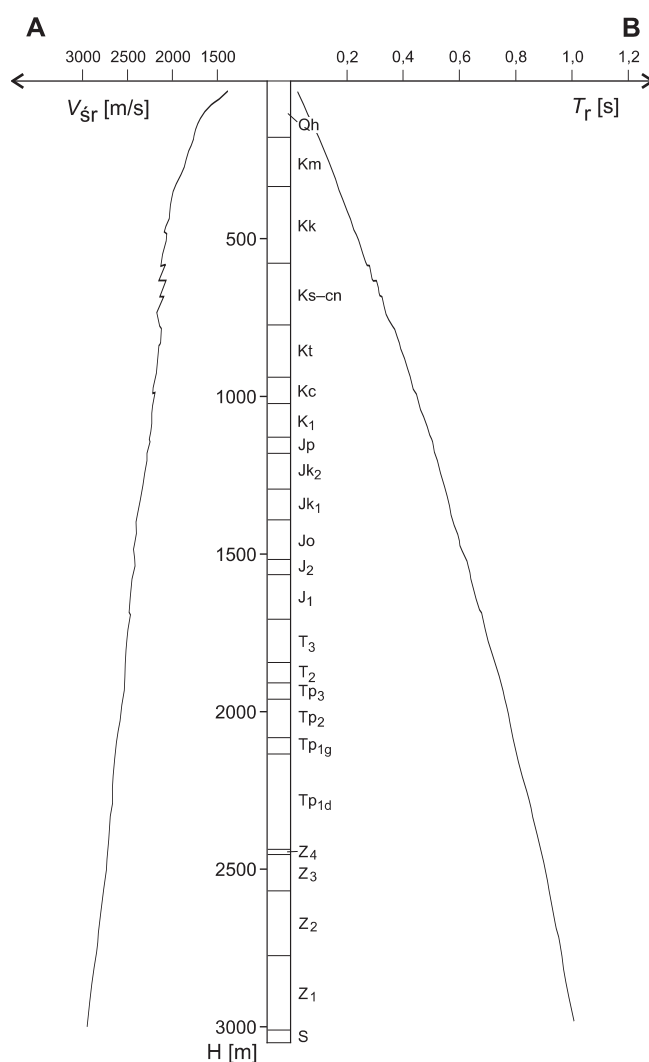


Fig. 32. Wykres prędkości średnich (A) i hodografu pionowego (B)

T_r – średni czas zredukowany; V_{sr} – prędkość średnia; H – głębokość

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

T_r – average reduced time; V_{sr} – average velocity; H – depth

Tabela 12

Zestawienie wartości średniego czasu zredukowanego (T_r), prędkości średniej (V_{sr}) i głębokość (H)Average reduced time (T_r), average velocity (V_{sr}) and depth values (H)

Głębokość H [m]	Czas zredukowany z punktu pomiarowego 1 T_{r1} [s]	Czas zredukowany z punktu pomiarowego 2 T_{r2} [s]	Czas zredukowany z punktu pomiarowego 3 T_{r3} [s]	Średni czas zredukowany $T_{r\text{sr}}$ [s]	Prędkość średnia V_{sr} [m/s]
1	2	3	4	5	6
34	0,0000	0,0190	0,0300	0,0245	1398
84	0,0000	0,0440	0,0610	0,0525	1600
134	0,0000	0,0700	0,0860	0,0780	1718
184	0,0000	0,0960	0,1120	0,1040	1769
234	0,0000	0,1200	0,1350	0,1275	1835
284	0,0000	0,1410	0,1600	0,1505	1887
334	0,1660	0,1620	0,1790	0,1690	1976
384	0,1830	0,1860	0,2010	0,1900	2021
434	0,2050	0,0000	0,2200	0,2125	2042
481	0,2290	0,0000	0,0000	0,2290	2100
484	0,0000	0,2330	0,2370	0,2350	2059
534	0,0000	0,0000	0,2540	0,2540	2102
581	0,2720	0,0000	0,0000	0,2720	2136
584	0,0000	0,0000	0,2810	0,2810	2078
631	0,2920	0,0000	0,0000	0,2920	2161
634	0,0000	0,0000	0,3070	0,3070	2065
681	0,3170	0,3190	0,0000	0,3180	2141
684	0,0000	0,0000	0,3260	0,3260	2098
731	0,0000	0,3360	0,0000	0,3360	2175
734	0,3370	0,0000	0,0000	0,3370	2178
781	0,3650	0,0000	0,0000	0,3650	2140
784	0,0000	0,0000	0,3690	0,3690	2125
831	0,0000	0,0000	0,3880	0,3880	2142
834	0,3870	0,0000	0,0000	0,3870	2155
884	0,4060	0,4090	0,4100	0,4083	2165
934	0,4210	0,0000	0,4300	0,4255	2195
981	0,0000	0,0000	0,4400	0,4400	2229
984	0,4400	0,4540	0,0000	0,4470	2201
1034	0,4550	0,0000	0,4700	0,4625	2236
1084	0,4840	0,0000	0,4850	0,4845	2267
1131	0,0000	0,4930	0,5070	0,5000	2262
1134	0,5040	0,0000	0,0000	0,5040	2250
1181	0,0000	0,0000	0,5140	0,5140	2297
1184	0,5180	0,0000	0,0000	0,5180	2283

Tabela 12 cd.

1	2	3	4	5	6
1231	0,0000	0,0000	0,5320	0,5320	2314
1234	0,5330	0,0000	0,0000	0,5330	2315
1331	0,0000	0,0000	0,5620	0,5620	2368
1384	0,0000	0,0000	0,5740	0,5740	2411
1434	0,5960	0,0000	0,5930	0,5945	2412
1481	0,0000	0,0000	0,6060	0,6060	2444
1484	0,6080	0,0000	0,0000	0,6080	2441
1534	0,0000	0,0000	0,6320	0,6320	2427
1581	0,6410	0,6420	0,0000	0,6415	2464
1584	0,0000	0,0000	0,6440	0,6440	2460
1631	0,6550	0,6590	0,6590	06577	2480
1681	0,6720	0,0000	0,6780	0,6750	2490
1684	0,0000	0,6800	0,0000	0,6800	2476
1731	0,6810	0,6930	0,6980	0,6907	2506
1781	0,6980	0,7100	0,7100	0,7060	2522
1831	0,7270	0,7280	0,7140	0,7230	2532
1881	0,7340	0,7460	0,7440	0,7413	2537
1931	0,56	0,0000	0,7560	0,7560	2554
1981	0,7690	0,7690	0,7670	0,7683	2578
2031	0,7800	0,7820	0,0000	0,7810	2601
2081	0,7880	0,7980	0,7860	0,7907	2632
2131	0,8070	0,8090	0,7970	0,8043	2649
2181	0,8160	0,8170	0,8180	0,8170	2670
2231	0,8310	0,8340	0,0000	0,8325	2680
2281	0,8470	0,8540	0,0000	0,8505	2680
2331	0,8650	0,8610	0,8580	0,8613	2706
2381	0,8820	0,8720	0,8700	0,8747	2722
2431	0,8920	0,8850	0,8900	0,8890	2734
2481	0,9050	0,0000	0,9010	0,9030	2747
2531	0,9170	0,9080	0,9140	0,9130	2772
2581	0,9240	0,0000	0,9220	0,9230	2796
2631	0,9330	0,0000	0,9360	0,9345	2815
2681	0,9450	0,0000	0,9450	0,9450	2837
2731	0,9600	0,9550	0,9600	0,9583	2850
2781	0,9670	0,9650	0,9670	0,9663	2878
2831	0,9770	0,9720	0,0000	0,9745	2905
2881	0,9860	0,9830	0,0000	0,9845	2926
2931	0,9960	0,0000	0,0000	0,9960	2943
2981	0,0000	1,0070	0,0000	1,0070	2960

rzystano wartości uśrednione z poszczególnych punktów wzbudzenia.

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

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

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

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

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

Powyższe informacje są zawarte w banku danych prędkościowych, utworzonym w latach 90. XX wieku w Zakładzie Geofizyki Państwowego Instytutu Geologicznego dla potrzeb interpretacji prac sejsmicznych.

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

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

Zestawienie uśrednionych wartości V_w (prędkość wygładzona), V_i (prędkość interwałowa), V_k (prędkość kompleksowa), które zostały obliczone z pomiarów czasu

wygładzonego przedstawiono w tabeli 13. Krzywe prędkości wygładzonych, interwałowych i kompleksowych przedstawiono na figurze 33.

Wykresy wzbogacono profilem stratygraficznym wiercenia, co umożliwia bezpośrednie powiązanie zmian prędkości z kompleksami stratygraficzno-litologicznymi przekroju geo-

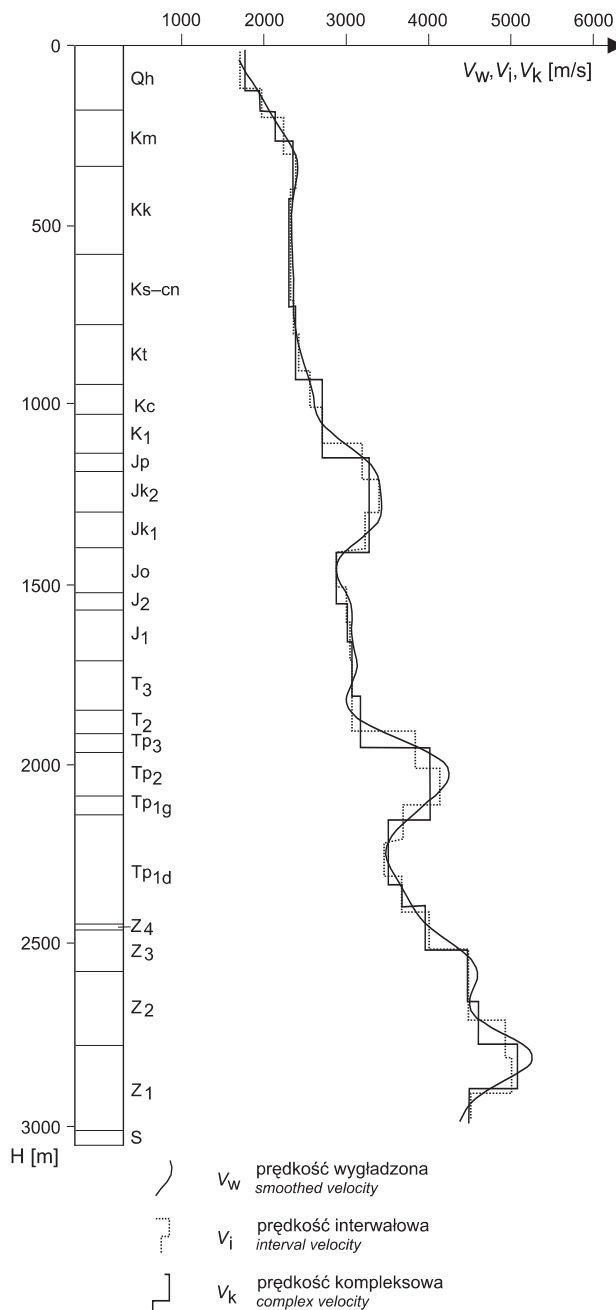


Fig. 33. Wykresy prędkości wygładzonych (V_w), interwałowych (V_i) i kompleksowych (V_k)

Poziom odniesienia 19,0 m n.p.m.

Smoothed (V_w), interval (V_i) and complex (V_k) velocity graph

Reference level 19.0 m a.s.l.

Tabela 13

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

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

Głębokość H [m]	Prędkość interwałowa V_i [m/s]	Prędkość kompleksowa V_k [m/s]	Prędkość wygładzona V_w [m/s]
1	2	3	4
20	1695	1738	–
40	1695	1738	1666
60	1695	1738	1710
80	1695	1738	1763
100	1695	1738	1819
120	1695	1738	1875
140	1950	1952	1928
160	1950	1952	1978
180	1950	1952	2029
200	1950	2137	2081
220	2219	2137	2137
240	2219	2137	2195
260	2219	2137	2253
280	2219	2347	2305
300	2219	2347	2345
320	2367	2347	2370
340	2367	2347	2378
360	2367	2347	2373
380	2367	2347	2358
400	2367	2347	2341
420	2311	2347	2325
440	2311	2307	2312
460	2311	2307	2304
480	2311	2307	2301
500	2311	2307	2301
520	2308	2307	2303
540	2308	2307	2307
560	2308	2307	2310
580	2308	2307	2313
600	2308	2321	2316
620	2322	2321	2319
640	2322	2321	2322
660	2322	2321	2325
680	2322	2321	2325
700	2322	2321	2324

Głębokość H [m]	Prędkość interwałowa V_i [m/s]	Prędkość kompleksowa V_k [m/s]	Prędkość wygładzona V_w [m/s]
1	2	3	4
720	2334	2321	2324
740	2334	2388	2327
760	2334	2388	2335
780	2334	2388	2347
800	2334	2388	2362
820	2411	2388	2378
840	2411	2388	2397
860	2411	2388	2419
880	2411	2388	2446
900	2411	2388	2477
920	2540	2388	2509
940	2540	2698	2535
960	2540	2698	2555
980	2540	2698	2569
1000	2540	2698	2583
1020	2699	2698	2608
1040	2699	2698	2651
1060	2699	2698	2718
1080	2699	2698	2809
1100	2699	2698	2920
1120	3182	2698	3041
1140	3182	2698	3157
1160	3182	3298	3253
1180	3182	3298	3319
1200	3182	3298	3356
1220	3388	3298	3375
1240	3388	3298	3386
1260	3388	3298	3394
1280	3388	3298	3399
1300	3388	3298	3392
1320	3221	3298	3357
1340	3221	3298	3290
1360	3221	3298	3193
1380	3221	3298	3082
1400	3221	3298	2976

Tabela 13 cd.

1	2	3	4	1	2	3	4
1420	2870	2895	2895	2220	3464	3519	3450
1440	2870	2895	2849	2240	3464	3519	3438
1460	2870	2895	2840	2260	3464	3519	3454
1480	2870	2895	2863	2280	3464	3519	3491
1500	2870	2895	2908	2300	3464	3519	3542
1520	3002	2895	2959	2320	3669	3519	3597
1540	3002	2895	3002	2340	3669	3672	3649
1560	3002	3030	3028	2360	3669	3672	3696
1580	3002	3030	3037	2380	3669	3672	3743
1600	3002	3030	3034	2400	3669	3971	3797
1620	3046	3030	3029	2400	3669	3971	3797
1640	3046	3030	3032	2420	4014	3971	3866
1660	3046	3057	3046	2440	4014	3971	3954
1680	3046	3057	3067	2460	4041	3971	4061
1700	3046	3057	3087	2480	4014	3971	4181
1720	3055	3055	3094	2500	4014	3971	4304
1740	3055	3055	3082	2520	4496	4495	4416
1760	3055	3055	3051	2540	4496	4495	4501
1780	3055	3055	3010	2560	4496	4495	4550
1800	3055	3055	2975	2580	4496	4495	4557
1820	3065	3194	2964	2600	4496	4495	4534
1840	3065	3194	2993	2620	4484	4495	4494
1860	3065	3194	3070	2640	4484	4495	4461
1880	3065	3194	3197	2660	4484	4629	4455
1900	3065	3194	3369	2680	4484	4629	4491
1920	3829	3194	3569	2700	4484	4629	4577
1940	3829	3194	3775	2720	4937	4629	4710
1960	3829	4039	3961	2740	4937	4629	4875
1980	3829	4039	4102	2760	4937	4629	5042
2000	3829	4039	4185	2780	4937	5112	5172
2020	4134	4039	4212	2800	4937	5112	5230
2040	4134	4039	4189	2820	5008	5112	5205
2060	4134	4039	4129	2840	5008	5112	5107
2080	4134	4039	4043	2860	5008	5112	4965
2100	4134	4039	3944	2880	5008	5112	4808
2120	3691	4039	3840	2900	5008	4518	4662
2140	3691	4039	3737	2920	4518	4518	4540
2160	3691	3519	3640	2940	4518	4518	4450
2180	3691	3519	3556	2960	4518	4518	4396
2200	3691	3519	3490	2980	4518	4518	4339

logicznego w otworze wiertniczym oraz z refleksami sejsmicznymi.

Hodograf pionowy i wykres prędkości średnich (fig. 32A, B) wykazują równomierny wzrost wartości wraz z głębokością, obejmujący utwory całego nawierconego profilu otworu wiertniczego Grudziądz IG 1. Najniższe wartości dotyczą osadów kenozoiku, wykształconych w postaci piasków, mułków i iłów. Na wszystkich wykresach prędkości (wygładzonych, interwałowych i kompleksowych – figura 33) występuje wzrost wartości do ~2300–2400 m/s, w miejscu przejścia do utworów wapiennych w warstwach przystropowych kredy górnej. Ta prawie stała wartość charakteryzuje miększe utwory kredy górnej od mastrychtu do turonu włącznie. Na granicy turon/cenoman następuje natomiast skok wartości prędkości (interwałowej i kompleksowej) do około 2700 m/s, która kontynuuje się, obejmując również utwory kredy dolnej o miąższości około 100 m, reprezentowane przez piaskowce, mułowce i iłowce, tworząc pierwszy kompleks prędkościowy cenoman–kreda dolna. Na krzywej interwałowej obserwuje się nieznaczny wzrost prędkości również na granicy cenoman/kreda dolna. Powyższe zróżnicowanie jest odzwierciedleniem stosunków litofacjalnych w utworach turon–cenoman–kreda dolna.

Kolejny wzrost prędkości kompleksowej ma miejsce w utworach przystropowych jury górnej do wartości około 3300 m/s, która jest stała dla osadów tytonu i kimerydu, gdzie przeważają utwory wapienne. Na wykresie prędkości interwałowych można natomiast wyznaczyć granice (w stropie i w pagu kimerydu górnego), wydzielające dodatkowo wapienny kompleks kimerydu górnego o podwyższonych prędkościach w stosunku do otoczenia warstw leżących poniżej i powyżej.

Kontynuując analizę wykresów na figurze 35, obserwuje się bardzo wyraźną zmianę znaku gradientu na krzywej prędkości wygładzonej, wyznaczającej kompleks utworów oksfordu i jury środkowej, o niższych wartościach około 2900 m/s, co jest związane z wykształceniem litologicznym tych utworów (mułowce). Krzywa interwałowa zaznacza też granicę między spągami oksfordu, a stropem jury środkowej.

W miejscu kontaktu utworów jury środkowej i dolnej widoczny jest kolejny, niewielki skok prędkości kompleksowej,

wyznaczający serię piaskowcowo-mułowcowo-iłowcową $J_1 + T_3$, o stałej prędkości około 3030 m/s. Stwierdza się tu brak kontrastu prędkości na granicy J_1 i T_3 . Następny kontrast wartości prędkości, związany z przewagą osadów węglanowych, obserwuje się dopiero w utworach przystropowych T_2 . Wraz ze skałami Tp_3 (pstry piaskowiec górny) tworzą one jeden kompleks prędkościowy. Największy skok prędkości dotyczy jednak utworów Tp_2 , wyznaczający stałą prędkość dla kompleksu Tp_2 + część górna Tp_1 , wykształconych w litofacji piaskowcowo-mułowcowo-ilastej. Przy przejściu w utwory serii dolnej Tp_1 następuje zmiana znaku gradientu na krzywej prędkości wygładzonej. Dopiero w warstwach cechsztynu odnotowuje się kolejne, związane z poszczególnymi cyklotemami cechsztynu: $Z_4 + Z_3$, Z_2 , Z_1 , stopniowe narastanie wartości prędkości w zależności od stopnia obecności anhydritów i soli.

Zestawienie wydzielonych wartości prędkości kompleksowych (w zaokrągleniu do 50 m/s) jest następujące:

kenozoik: 1750–1950 m/s
 mastrycht–turon (K_2): 2150–2350–2300–2400 m/s
 cenoman (K_2) + K_1 : 2700 m/s
 tyton i kimeryd (J_3): 3300 m/s
 oksford (J_3) + J_2 : 2900–3000 m/s
 $J_1 + T_3$: 3050 m/s
 $T_2 + Tp_3$: 3200 m/s
 Tp_2 + górna część Tp_1 : 4050 m/s
 dolna część Tp_1 : 3500–3650 m/s
 P_2 : 3950–4500–4650–5100–4500 m/s

Wykonane przez Przedsiębiorstwo Przemysł Naftowy – Geofizyka Toruń badania sejsmiczne refleksyjne w rejonie Rypin–Grudziądz w ramach tematu: „Grudziądz w latach 1984/85” zostały dowiązane do otworu wiertniczego Grudziądz IG 1. Z badań tych wynika, że z granic mezozoicznych najsilniejsze odbicia są związane ze stropem jury górnej oraz pstry piaskowcem. W cechsztynie wyznaczono strop tych utworów oraz odbicia powstające w cechsztynie (Z_2) i pochodzące od warstw spagowych.