

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Michał Grzegorz ROMAN

GEOFIZYKA OTWOROWA

ZAKRES WYKONANYCH BADAŃ

Opracowanie danych geofizyki wiertniczej wykonano m.in. w programie Techlog, który został udostępniony PIG-PIB przez Schlumberger Information Solutions w celu prowadzenia prac naukowo-badawczych.

W otworze Unisław IG 1 pomiary geofizyki wiertniczej wykonano w 711 odcinkach pomiarowych. Badania były wykonywane przez grupy karotażowe Geofizyki Toruń z Bazy Geofizyki Otworowej w Toruniu w okresie od 28.03.1980 r. do 23.08.1982 r. Pomiar wykonano przy pomocy aparatury analogowej, następnie – w latach dziewięćdziesiątych XX wieku – część profilowań scyfrowano. Scyfrowane dane pomiarowe znajdują się w formacie plików *.las* w Centralnej Bazie Danych Geologicznych (CBDG) (numer identyfikacyjny CBDG otworu 22923, nazwa: „Unisław IG-1”), oryginalne materiały analogowe są przechowywane w Narodowym Archiwum Geologicznym pod numerem archiwalnym 128425. Z uwagi na zły stan ich zachowania są udostępniane tylko w postaci skanów.

Do dokumentacji otworu wiertniczego Unisław IG 1 załączono następujące pomiary (skrót P... są zgodne z używanymi w załącznikach dokumentacji, w nawiasach podano skrót stosowane w plikach *.las* w CBDG, „_C” oznacza profilowanie kompozytowe powstałe z połączenia badań odcinkowych):

- profilowanie średnicy otworu PŚr (CALI, CALI_C);
- profilowanie naturalnej promieniotwórczości gamma PG (GR, GR_C);
- profilowanie neutron-gamma PNG (NEGR, NEGR_C);
- profilowanie gamma-gamma PGG (GGDN);
- profilowanie neutron-neutron PNN (CNL);
- profilowanie potencjałów samoistnych PS (SP);
- profilowanie oporności PO sondami o rozstawach: A0,4M0,1N (EL02), A1,0M0,1N (EL03), A2,0M0,5N (EN10_C, EL09 lub EL07), A4,0M0,5N (EL14), A8,0M1,0N (EL26), N6,0M0,5A (EL09_C, EN10 lub EN 20), A5,7M0,4N (EL18);
- sterowane profilowanie oporności P_{ost} (LL3 – w postaci analogowej dostępne często tylko w postaci krzywej zlogarytmowanej);
- profilowanie indukcyjne PI (IL);

- profilowanie akustyczne PA (T1, T2, DT, DT_C);
- profilowanie cementomierzem akustycznym PAC, (CBA, CBDT);
- profilowanie krzywizny otworu PK (umieszczone w nagłówkach badań odcinkowych, zestawione i przeliczone dla całego otworu w osobnym załączniku).

W tabeli 18 przedstawiono dokładne interwały wykonanych profilowań geofizyki otworowej wraz z datą ich wykonania i ówczesną głębokością (wg miary geofizycznej) oraz nominalną średnicą otworu (lub średnicą rur). Większość profilowań scyfrowano z krokiem próbkowania 0,25 m i udostępniono w CBDG w postaci 148 plików o rozszerzeniu *.bkr* (pliki tekstowe zawierające pojedyncze profilowania kompatybilne z systemem GEOFLOG – Szewczyk, 1996) oraz 22 plików formatu *.las* (pliki tekstowe zawierające zestandaryzowany nagłówek z informacjami o otworze i odcinku grupujący część/ całość krzywych z odcinka pomiarowego, kompatybilny ze współcześnie stosowanymi programami produkcji zachodniej¹⁾ zawierających odcinkowe, źródłowe pomiary, dwa pliki *.las* z pomiarami połączonymi i/lub znormalizowanymi oraz dwa pliki *.las* zawierające wyniki pomiarów prędkości średnich. We wszystkich wymienionych plikach głębokości podano w metrach pod poziomem terenu według miary geofizycznej, bez uwzględnienia poprawki na skrzywienie otworu.

Połączone i znormalizowane wyniki profilowania naturalnej promieniotwórczości gamma i neutron-gamma przedstawiono na figurze 2²⁾. Znajduje się na niej również między innymi profilowanie średnicy otworu wiertniczego z oznaczonymi za pomocą strzałek głębokościami łączenia odcinków badań, średnica nominalna wiercenia oraz profilowania oporności i akustyczne. Profilowanie neutron-

¹⁾ W niektórych przypadkach, żeby plik ten mógł być wczytany do bazy danych programu, pliki te należy zmodyfikować przez usunięcie odstępu między znakami „~A” znajdującymi się nad oznaczeniami poszczególnych kolumn („DEPTH” itd.) a tymi oznaczeniami, tak aby znalazły się one w jednej linii i były oddzielone jedną spacją. Niezgodność wynika prawdopodobnie z istnienia różnych wersji standardu *.las*.

²⁾ Figura 2 znajduje się pod opaską na końcu książki.

Tabela 18

Wykaz badań geofizyki otworowej wykonanych w otworze wiertniczym Unisław IG 1 (wg Bielawska, Król, 1982)

List of well logs performed in the Unisław IG 1 borehole (Bielawska, Król, 1982)

| Data Date | Rodzaj pomiarów Type of measurement | Interwał [m p.p.t.] Interval [m b.g.l.] | Data Date | Rodzaj pomiarów Type of measurement | Interwał [m p.p.t.] Interval [m b.g.l.] | |
|------------------|--|--|---------------|--|--|-----------|
| 26.01.1980 | BSO (5 × POg) | 16–291 | 5–7.05.1980 | POst | 2055–3077 | |
| | POp | | | 2600–3075 | | |
| | PS | | | 218–3075 | | |
| | PG, PNG, PGG | 2–295 | | | | |
| | Pśr, Pobj | 2580–3075 | | | | |
| | PK | 5–300 | | | | |
| 2600–3075 | | | | | | |
| 2–3.02.1980 | POp | 218–1076 | 14–17.06.1980 | BSO (5 × POg) | 3050–3520 | |
| | POg | | | | | |
| | PS | | | | | |
| | Pśr, PK | | | | | |
| | PG, PNG, PGG | 250–1079 | | POp | 218–3520 | |
| | PGG | 218–1025 | | POst, PI | | |
| | PT | 800–1076 | | PS | | |
| 14–15.02.1980 | BSO (5 × POg) | 1020–1562 | | Pśr | | 218–3520 |
| | POg | 219–1565 | | PK | | 3050–3520 |
| | PS | | | PG, PNG, PGG | | 3050–3520 |
| | Pśr | | PA | 3020–3520 | | |
| | PK | 1020–1565 | PT | 3325–3520 | | |
| | POst | | 12.07.1980 | PAC | 10–3525 | |
| | PG, PNG, PGG | | 21.07.1980 | BSO (3 × POg) | 3523–3730 | |
| | PA | 219–1565 | | PO (sonda węglanowa) | | |
| 29.02–01.03.1980 | BSO (5 × POg) | 1515–2120 | | POst | | 3523–3730 |
| | POp | | | | | |
| | POst | | | | | |
| | PS | 218–2117 | PS | 3435–3730 | | |
| | Pśr | | Pśr, PK | | | |
| | PK | 1525–2120 | PG, PNG | 3523–3730 | | |
| | PG, PNG, PGG | 1515–2118 | PA | | | |
| | PA | | 1940–2118 | 9–11.10.1980 | POg | 3720–4542 |
| PT | POp | | | | | |
| 21–22.03.1980 | POg | 2050–2640 | POst | | 3720–4545 | |
| | POp | | | | | |
| | PS | 218–2640 | PS | | | 4445–4545 |
| | Pśr | | Pśr, PK | | | |
| | PK | 2075–2640 | PG, PNG | | 3000–4550 | |
| | PG, PNG, PGG | 2050–2640 | 14–17.11.1980 | BSO (5 × POg) | | 4538–4830 |
| | PA | | | POst | | |
| | PT | 2450–2640 | | PS | | |
| 5–7.05.1980 | BSO (5 × POg) | 2055–3077 | Pśr, PK | 3860–4830 | | |
| | 26–28.02.1980 | 2055–3077 | PG, PNG | | 4538–5315 | |
| | | | BSO (4 × POg) | | | |

PG – profilowanie naturalnej promieniotwórczości gamma, PNG – profilowanie neutron – gamma, PS – profilowanie naturalnych potencjałów, PO – klasyczne profilowanie oporności (p – potencjałowe, g – gradientowe), PK – profilowanie krzywizny otworu, Pśr – profilowanie średnicy, PI – profilowanie indukcyjne, POst – sterowane profilowanie oporności (laterolog), PGG – profilowanie gamma-gamma, PA – profilowanie akustyczne, PAC – profilowanie cementomierzem akustycznym, BSO – boczne sondowanie oporności, PT – profilowanie temperatury

PG – gamma ray log, PNG – neutron-gamma ray log, PS – spontaneous potential log, PO – conventional electrical log (g – lateral, p – normal), PK – deviation log, Pśr – caliper, PI – induction log, POst – laterolog, PGG – gamma-gamma log, PA – acoustic log, PAC – cement bound log, PT – temperature log.

-gamma i profilowanie naturalnej promieniotwórczości gamma znormalizowano zgodnie z metodyką opisaną w pracy Szewczyka i in. (2001). Ponadto w otworze Unisław IG 1 profilowanie gamma zestandaryzowano *post factum* (zrekalibrowane) do jednostek [API] według metodyki opisanej w pracy Szewczyka (2000a) – krzywa GR_S w pliku *nie-I_s.las* dostępnym w CBDG.

W otworze tym nie przeprowadzono profilowań temperatury, a jedynie pomiary termometrem maksymalnym wykonywane każdorazowo przy zapuszczaniu sond do otworu. Takie punktowe pomiary temperatury w warunkach nieustalonych zestawia tabela 19.

W zasobach CBDG dla 171 próbek rdzenia znajdują się wyniki oznaczeń: gęstości szkieletowych i objętościowych, porowatości efektywnych i całkowitych zawartość kalcytu i dolomitu oraz (dla wybranych próbek) przepuszczalności w kierunku poziomym i pionowym. Wyniki części tych oznaczeń laboratoryjnych prezentuje figura 2.

Tabela 19

**Dostępne pomiary termometrem maksymalnym
w otworze wiertniczym Unisław IG 1**

Maximum temperature measurements available
for the Unisław IG 1 borehole

| Głębokość maksymalna [m] Maximal depth | Temperatura [°C] Temperature |
|---|---------------------------------|
| 1075 | 28 |
| 1575 | 42,5 |
| 2120 | 54,5 |
| 2640 | 57,5 |
| 3075 | 62 |
| 3520 | 70 |

OCENA JAKOŚCI DANYCH

Wykonane pomiary były powtarzalne. W przypadku analizy archiwalnych danych geofizyki wiertniczej należy pamiętać o ograniczeniach stosowanego ówczesnie sprzętu oraz analogowych metod rejestracji:

- Wyniki badań radiometrycznych nie były kalibrowane ani standaryzowane, jednostki w których rejestrowano te profilowania to impulsy na minutę.
- Wykonane w otworze klasyczne pomiary oporności w wariantach potencjałowym i gradientowym mierzą pozorne oporności skał.
- Proces cyfrowania analogowo zarejestrowanych krzywych powoduje zwiększenie niepewności pomiaru. Możliwe są również błędy grube – zauważono np. podpisanie cyfrowej wersji krzywych potencjałowego profilowania oporności (*normal* – w zasobach CBDG oznaczane jako EN) jako profilowanie gradientowe (*lateral* – EL).

Warunki geologiczno-techniczne panujące w otworze uległy pogorszeniu po nawierceniu utworów cechsztynu, w związku z czym nie wykonano wszystkich pomiarów niezbędnych do interpretacji ilościowej, a profilowania radiometrii przeprowadzono po zarurowaniu otworu. Niemal roczny przestój prac wiertniczych po osiągnięciu utworów czerwonego spągowca spowodował podniesienie temperatury w otworze, co – wraz z koniecznością stosowania ciężkich płuczek – uniemożliwiło wykonanie pełnego zestawu profilowań. Poniżej stropu utworów cechsztynu na zapis sond geofizyki otworowej duży wpływ mają wysoka mineralizacja płuczki i dodatek barytu (płuczka solno-skrobiowa obciążona barytem). Zniekształcenia te są najsilniejsze w przypadku pomiarów elektrometrycznych (zmniejszenie pseudooporności) oraz sond neutronowych (intensywniejsza absorpcja neutronów termicznych przez chlor zawarty w płuczce) i gamma/gamma-gamma (baryt

stosunkowo silnie absorbuje promieniowanie gamma). Wszystko to sprawia, że wyniki pomiarów geofizycznych wykonanych od stropu utworów cechsztynu pozwalają jedynie na jakościową interpretację (Bielawska, Król, 1982).

Wszystkie wykonane pomiary, a co za tym idzie ich interpretacje, są obciążone zmianami średnic otworu – efekt ten jest wyraźnie widoczny w miejscach zmiany nominalnej średnicy wiercenia czy znacznych rozmyć ścian otworu (por. fig. 2). Większe rozmycia ścian otworu zarejestrowano w interwałach głębokości: 218–300; 2383–2518; 3661–3729; 4676–4745 i 4770–4810 m.

Przesunięcia głębokościowe pomiędzy głębokościami pomierzonymi geofizycznie a głębokościami notowanymi przez wiertników sięgają 13 m na głębokości 5000 m i są tłumaczone różnicą w podatności na rozciąganie przewodu wiertniczego i kabla geofizycznego w warunkach wysokich ciśnień i temperatur panujących na dnie otworu (Bielawska, Król, 1982).

Profilowanie krzywizny otworu pomierzono z krokiem 25 m w całym profilu, a następnie ręcznie scyfrowano, przeliczono (metodą stycznych) i zwizualizowano. Profilowanie krzywizny otworu nie wykazało znaczącego odchylenia od pionu do głębokości 3800 m. Poniżej, do głębokości 4725 m, otwór krzywi się znacznie w kierunku SSE (maksymalnie do 7°), a w interwale 4725–5325 m – w kierunku NE (maksymalnie do 14°). Sumaryczne odejście otworu od punktu początkowego wyniosło w rzucie poziomym 100,5 m, jego azymut to 107,6°, a różnica pomiędzy rzeczywistą głębokością pionową a głębokością pomierzoną w otworze wynosi 11,2 m (Bielawska, Król, 1982). Stwierdzono skrzywienie się otworu po roku stójki związanej z problemami z jego opróbowaniem (Raczyńska i in., 1983).

INTERPRETACJA PROFILOWAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

Wkrótce po wykonaniu badań odcinkowych przeprowadzano interpretację granic litologicznych, wydzielano poziomy zbiornikowe i oceniano ich nasycenie metodą normalizacji krzywych. Dla wydzielonych poziomów zbiornikowych wykonywano również klasyczną, odcinkową interpretację, o ile pozwalał na nią zestaw dostępnych pomiarów. Na podstawie tych analiz oraz danych z sąsiednich otworów wyznaczono profil stratygraficzny (Bielawska, Król, 1982).

Za najbardziej perspektywiczne dla wystąpień węglowodorów uznano utwory czerwonego spągowca i dewonu. Dostępne wyniki interpretacji wskazują na obecność gazu ziemnego ekranowanego przez nadległe utwory cechsztynu oraz ropy naftowej w utworach dewonu. Duża miąższość utworów dewonu daje nadzieję na uzyskanie przyłąpów przemysłowych, mimo stosunkowo trudnych warunków udostępniania tego poziomu. Wymienione wystąpienia węglowodorów są od siebie niezależne – gaz ziemny w kolektorze czerwonego spągowca kontaktuje z solanką (Bielawska, Król, 1982).

Po zcyfrowaniu danych geofizyki wiertniczej zinterpretowano je w profilu za pomocą systemu GEOFLOG (Szewczyk, 1996). Dane dotyczące litologii zestawione z profilowaniem naturalnej promieniotwórczości gamma i profilowaniem neutron-gamma skalibrowano z oznaczeniami porowatości efektywnej i gęstości na próbkach (łącznie 167 oznaczeń).

Lidia DZIEWIŃSKA, Waldemar JÓŹWIAK

OPRACOWANIE POMIARU PRĘDKOŚCI ŚREDNICH

Pomiar średnich prędkości rozchodzenia się fal sejsmicznych w ośrodku skalnym w głębokim otworze badawczym Unisław IG 1 wykonano w sierpniu 1980 r. Opracowanie wyników profilowania prędkości i profilowania akustycznego wykonało Przedsiębiorstwo Geofizyki Morskiej i Łądowej Górnictwa Naftowego w Toruniu.

Pomiar czasu przyjscia fali sejsmicznej do geofonu głębinowego przeprowadzono w interwale głębokości 195–3495 m co 15 m, przy całkowitej głębokości wiercenia zakończonej na 5355 m. Wysokość wylotu otworu wynosiła 86 m n.p.m., natomiast wysokość poziomu odniesienia pomiaru przyjęto na 0 m n.p.m. Prace pomiarowe wykonała grupa 3D/T przy pomocy aparatury POISK SK, sondą 6-elementową. Wielkość średniego ładunku dynamitu wynosiła 0,250 kg. Geofony korekcyjne usytuowano co 25 m od głębokiego otworu i 5 m od punktu strzałowego (PS).

Prace strzałowe prowadzono z trzech PS przy średniej głębokości strzelania 10 m. Odległość PS 1 i PS 2 od głębokiego otworu była taka sama i wynosiła 150 m, a dla PS 3 większa – 200 m. Niwelacja, czyli wysokość względna punktów strzałowych w stosunku do wylotu otworu wiertniczego, kształtowała się następująco:

Gęstość objętościową obliczono dla całego profilu za pomocą wzoru (Szewczyk, 2000b):

$$\rho = \rho_m (1 - \Phi - V_{sh}) + \rho_w \Phi + \rho_{sh} V_{sh}$$

gdzie:

- ρ_m – gęstość szkieletu skalnego ustalona za pomocą typu litologii, [kg/m³];
- Φ – porowatość całkowita wyznaczona na podstawie profilowania neutron gamma poprawionego na wpływ zailenia i skalibrowanego do próbek, [m³/m³];
- V_{sh} – udział objętościowy minerałów ilastych ustalony na podstawie profilowania gamma, [m³/m³];
- ρ_w – gęstość medium nasycającego przestrzeń porową, [kg/m³];
- ρ_{sh} – gęstość minerałów ilastych, [kg/m³].

Trafność wyboru parametrów sterujących kontrolowano przez porównanie obliczonej na podstawie modelu litologicznego krzywej czasu interwałowego fali P (DT) z rzeczywistymi wartościami DT pomierzonymi sondą akustyczną w otworze (współczynnik korelacji $R = 0,783$). W interwałach o znacznym zaileniu (por. fig. 2) sposób ten może zawodzić ze względu na zjawisko tzw. zaniku cykli (przeskoku faz, ang. *cycle skipping*).

Wyniki interpretacji omówionych w niniejszym rozdziale zestawiono na figurze 2.

- dla PS 1 – +2 m,
- dla PS 2 – 0 m,
- dla PS 3 – +1 m.

Odnosnie do azymutu mierzonego w punkcie głębokiego otworu w kierunku punktu strzałowego w przypadku PS 1 jest to 130°, dla PS 2 – 270° i dla PS 3 – 360°.

W kwietniu 1982 r. wykonano uzupełnienie głębokościowe do 4515 m wcześniejszego pomiaru prędkości średnich zakończonego na głębokości 3495 m. Interwał pomiaru wynosił tak jak wyżej 15 m. Prace pomiarowe wykonała grupa 3D/T aparaturą CS-5G. Prace prowadzono na tym odcinku z 1 punktu wzbudzenia (PW) metodą bezdynamitową. Odległość PW od głębokiego otworu stanowiła 100 m, a jego wysokość względna w stosunku do wylotu wiercenia +3 m. Azymut mierzony w punkcie otworu wiertniczego w kierunku tego punktu wzbudzenia wynosił 130°.

Dobór odpowiednich warunków wzbudzenia poprzedził pomiar strefy małych prędkości (SMP). W jego wyniku otrzymano następujące wartości charakteryzujące tę strefę: dla $h_0 = 2,0$ m V_0 wynosi 160 m/s, dla $h_1 = 0$ m V_1 wynosi 1830 m/s i dla $h_2 = 834$ m V_2 również wynosi 1830 m. Obliczenia obejmujące m.in. redukcję głębokości,

czasów i poprawki czasowe wykonano na maszynie EMR-6135.

Głębokość zredukowaną wyznaczono według wzoru:

$$h_r = h_{pom} - h_{odn}$$

gdzie:

h_r – głębokość zredukowana punktu pomiarowego do poziomu odniesienia, [m];

h_{pom} – głębokość zanurzenia geofonu głębinowego, [m];

h_{odn} – głębokość poziomu odniesienia (z uwzględnieniem niwelacji i głębokości wzbudzenia), [m].

Redukcję czasów do pionu wykonano metodą, która zakłada jednorodność ośrodka od punktu wzbudzenia do głębokości zanurzenia geofonu, czyli prostoliniowy przebieg promienia sejsmicznego, według wzoru:

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

gdzie:

t_r – czas zredukowany, [s];

h_r – głębokość zredukowana punktu pomiarowego do poziomu odniesienia, [m];

t_p – czas poprawiony, [s];

d – odległość punktu wzbudzenia PW od głębokiego otworu, [m].

Poprawki czasowe liczone według wzoru:

$$d_t = \frac{h - h_{odn}}{V_0}$$

gdzie:

h – głębokość wzbudzenia, [m];

V_0 – prędkość fali w utworach przypowierzchniowych w strefie małych prędkości (SMP), która dla otworu wiertniczego Unisław IG 1 wynosi 1830 m/s.

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

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

Obliczenia wykonano przy pomocy odpowiedniego programu komputerowego. Program obliczeń jest opracowany w dwóch wersjach: bez uwzględnienia i z uwzględnieniem krzywizny otworu i w zależności od wielkości odchylenia otworu od pionu stosuje się odpowiednią wersję programu. Redukcję czasów do pionu wykonano w tym przypadku z użyciem programu w wersji nieuwzględniającej krzywizny otworu, do czego upoważniały parametry otworu wiertniczego Unisław IG 1.

Charakter zmian prędkości w funkcji głębokości zilustrowano w odpowiednich tabelach i na wykresach. Zestaw wartości h_r , t_r i (V_{sr}) zestawiono w tabeli 20. Uzyskane wyniki stanowią podstawę do konstrukcji krzywych prędko-

ści średnich i hodografu pionowego (fig. 34). Wykres prędkości średnich i hodograf pionowy do głębokości 3495 m stanowią graficzne uśrednienie krzywych uzyskanych z trzech punktów wzbudzenia. Do takiego postępowania upoważniał stosunkowo mały rozrzut pomierzonych wielkości przy wzbudzeniu z trzech różnych punktów. Przedstawione wykresy wskazują na zależność między wzrostem głębokości a czasem rejestracji i prędkością średnią. Zaznacza się na nich systematyczny wzrost prędkości wraz z głębokością.

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 błęd pomiarowego. Warunkiem możliwości jej wykorzystania jest stały odstęp między punktami pomiarowymi. Podany sposób zastosowano do wygładzania czasów z pomiarów prędkości średnich z zadaniem 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 zmierzonych czasów zredukowanych do pionu przy pomocy splotu z odpowiednim filtrem. Przetwarzanie to polegało na przeliczaniu czasów i prędkości do poziomu odniesienia pomiaru i interpolacji tych wartości dla znormalizowanych przedziałów głębokości, co 20 m. Następnie czasy te wygładzono specjalnym programem przez zastosowanie operacji splotu z filtrem trójkątnym z zastosowaniem 20 razy filtrów 0,25 i 0,50. Celem tych przekształceń usuwających przypadkowe odchylenia poszczególnych danych pomiarowych wynikających z niedokładności pomiarów było przygotowanie materiałów do obliczenia prędkości interwałowych. Przy pierwszym wygładzaniu zostają zmniejszone przypadkowe skoki wartości czasów spowodowane zaokrągleniem ich wartości do 1 ms lub błędami pomiarowymi. Kolejne powtarzanie wymienionych operacji powoduje zaokrąglenie załamań (hodografu) spowodowanych zmianami prędkości w kolejnych warstwach. W ten sposób powstały dodatkowe zbiory obejmujące przetworzone czasy pomiarów 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 utworzonych w latach 90. XX wieku w Zakładzie Geofizyki PIG na potrzeby interpretacji refleksyjnych prac sejsmicznych. Bank ten przekazano do CBDG PIG-PIB.

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 czasów wygładzonych n i $n + 1$ razy. Granice kompleksów wyznacza się w miejscach maksymalnych gradientów

Tabela 20

Zestawienie wartości głębokości (H), 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] |
|------------|--------------|-------------------|
| 4 | 0,006000 | 1070 |
| 19 | 0,016000 | 1188 |
| 34 | 0,025000 | 1360 |
| 49 | 0,033000 | 1485 |
| 64 | 0,041000 | 1561 |
| 79 | 0,049000 | 1612 |
| 94 | 0,057000 | 1649 |
| 109 | 0,064000 | 1703 |
| 124 | 0,071000 | 1746 |
| 139 | 0,078000 | 1782 |
| 154 | 0,085000 | 1812 |
| 169 | 0,091000 | 1857 |
| 184 | 0,097000 | 1897 |
| 199 | 0,103000 | 1932 |
| 214 | 0,108000 | 1981 |
| 229 | 0,115000 | 1991 |
| 244 | 0,122000 | 2000 |
| 259 | 0,129000 | 2008 |
| 274 | 0,136000 | 2015 |
| 289 | 0,143000 | 2021 |
| 304 | 0,150000 | 2027 |
| 319 | 0,158000 | 2019 |
| 334 | 0,165000 | 2024 |
| 349 | 0,171000 | 2041 |
| 364 | 0,175000 | 2080 |
| 379 | 0,183000 | 2071 |
| 394 | 0,190000 | 2074 |
| 409 | 0,197000 | 2076 |
| 424 | 0,204000 | 2078 |
| 439 | 0,211000 | 2081 |
| 454 | 0,218000 | 2083 |
| 469 | 0,224000 | 2094 |
| 484 | 0,231000 | 2095 |
| 499 | 0,239000 | 2088 |
| 514 | 0,244000 | 2107 |
| 529 | 0,252000 | 2099 |
| 544 | 0,260000 | 2092 |

| h [m] | t_r [s] | V_{sr} [m/s] |
|------------|--------------|-------------------|
| 559 | 0,268000 | 2086 |
| 574 | 0,275000 | 2087 |
| 589 | 0,282000 | 2089 |
| 604 | 0,289000 | 2090 |
| 619 | 0,296000 | 2091 |
| 634 | 0,304000 | 2086 |
| 649 | 0,309000 | 2100 |
| 664 | 0,315000 | 2108 |
| 679 | 0,321000 | 2115 |
| 694 | 0,326000 | 2129 |
| 709 | 0,331000 | 2142 |
| 724 | 0,335000 | 2161 |
| 739 | 0,338000 | 2186 |
| 754 | 0,342000 | 2205 |
| 769 | 0,345000 | 2229 |
| 784 | 0,350000 | 2240 |
| 799 | 0,354000 | 2257 |
| 814 | 0,359000 | 2267 |
| 829 | 0,364000 | 2277 |
| 844 | 0,370000 | 2281 |
| 859 | 0,375000 | 2291 |
| 874 | 0,380000 | 2300 |
| 889 | 0,385000 | 2309 |
| 904 | 0,391000 | 2312 |
| 919 | 0,396000 | 2321 |
| 934 | 0,401000 | 2329 |
| 949 | 0,408000 | 2326 |
| 964 | 0,413000 | 2334 |
| 979 | 0,420000 | 2331 |
| 994 | 0,426000 | 2333 |
| 1009 | 0,431000 | 2341 |
| 1024 | 0,435000 | 2354 |
| 1039 | 0,440000 | 2361 |
| 1054 | 0,444000 | 2374 |
| 1069 | 0,448000 | 2386 |
| 1084 | 0,454000 | 2388 |
| 1099 | 0,460000 | 2389 |

Tabela 20 cd.

| h [m] | t_r [s] | V_{sr} [m/s] |
|------------|--------------|-------------------|
| 1114 | 0,466000 | 2391 |
| 1129 | 0,472000 | 2392 |
| 1144 | 0,478000 | 2393 |
| 1159 | 0,484000 | 2395 |
| 1174 | 0,490000 | 2396 |
| 1189 | 0,495000 | 2402 |
| 1204 | 0,502000 | 2398 |
| 1219 | 0,507000 | 2404 |
| 1234 | 0,512000 | 2410 |
| 1249 | 0,517000 | 2416 |
| 1264 | 0,522000 | 2421 |
| 1279 | 0,527000 | 2427 |
| 1294 | 0,531000 | 2437 |
| 1309 | 0,535000 | 2447 |
| 1324 | 0,539000 | 2456 |
| 1339 | 0,542000 | 2470 |
| 1354 | 0,545000 | 2484 |
| 1369 | 0,548000 | 2498 |
| 1384 | 0,551000 | 2512 |
| 1399 | 0,554000 | 2525 |
| 1414 | 0,557000 | 2539 |
| 1429 | 0,560000 | 2552 |
| 1444 | 0,563000 | 2565 |
| 1459 | 0,566000 | 2578 |
| 1474 | 0,569000 | 2591 |
| 1489 | 0,572000 | 2603 |
| 1504 | 0,575000 | 2616 |
| 1519 | 0,578000 | 2628 |
| 1534 | 0,582000 | 2636 |
| 1549 | 0,585000 | 2648 |
| 1564 | 0,588000 | 2660 |
| 1579 | 0,592000 | 2667 |
| 1594 | 0,597000 | 2670 |
| 1609 | 0,602000 | 2673 |
| 1624 | 0,607000 | 2675 |
| 1639 | 0,612000 | 2678 |
| 1654 | 0,616000 | 2685 |
| 1669 | 0,620000 | 2692 |

| h [m] | t_r [s] | V_{sr} [m/s] |
|------------|--------------|-------------------|
| 1684 | 0,624000 | 2699 |
| 1699 | 0,628000 | 2705 |
| 1714 | 0,632000 | 2712 |
| 1729 | 0,635000 | 2723 |
| 1744 | 0,638000 | 2734 |
| 1759 | 0,641000 | 2744 |
| 1774 | 0,644000 | 2755 |
| 1789 | 0,648000 | 2761 |
| 1804 | 0,653000 | 2763 |
| 1819 | 0,658000 | 2764 |
| 1834 | 0,663000 | 2766 |
| 1849 | 0,668000 | 2768 |
| 1864 | 0,673000 | 2770 |
| 1879 | 0,678000 | 2771 |
| 1894 | 0,683000 | 2773 |
| 1909 | 0,688000 | 2775 |
| 1924 | 0,693000 | 2776 |
| 1939 | 0,698000 | 2778 |
| 1954 | 0,702000 | 2783 |
| 1969 | 0,706000 | 2789 |
| 1984 | 0,710000 | 2794 |
| 1999 | 0,714000 | 2800 |
| 2014 | 0,717000 | 2809 |
| 2029 | 0,721000 | 2814 |
| 2044 | 0,725000 | 2819 |
| 2059 | 0,728000 | 2828 |
| 2074 | 0,731000 | 2837 |
| 2089 | 0,734000 | 2846 |
| 2104 | 0,737000 | 2855 |
| 2119 | 0,741000 | 2860 |
| 2134 | 0,746000 | 2861 |
| 2149 | 0,749000 | 2869 |
| 2164 | 0,753000 | 2874 |
| 2179 | 0,757000 | 2878 |
| 2194 | 0,761000 | 2883 |
| 2209 | 0,766000 | 2884 |
| 2224 | 0,771000 | 2885 |
| 2239 | 0,777000 | 2882 |

Tabela 20 cd.

| h [m] | t_r [s] | V_{sr} [m/s] |
|------------|--------------|-------------------|
| 2254 | 0,783000 | 2879 |
| 2269 | 0,788000 | 2879 |
| 2284 | 0,794000 | 2877 |
| 2299 | 0,799000 | 2877 |
| 2314 | 0,804000 | 2878 |
| 2329 | 0,809000 | 2879 |
| 2344 | 0,813000 | 2883 |
| 2359 | 0,818000 | 2884 |
| 2374 | 0,822000 | 2888 |
| 2389 | 0,826000 | 2892 |
| 2404 | 0,829000 | 2900 |
| 2419 | 0,833000 | 2904 |
| 2434 | 0,837000 | 2908 |
| 2449 | 0,840000 | 2915 |
| 2464 | 0,843000 | 2923 |
| 2479 | 0,847000 | 2927 |
| 2494 | 0,850000 | 2934 |
| 2509 | 0,853000 | 2941 |
| 2524 | 0,854000 | 2956 |
| 2539 | 0,856000 | 2966 |
| 2554 | 0,859000 | 2973 |
| 2569 | 0,863000 | 2977 |
| 2584 | 0,866000 | |
| 2599 | 0,870000 | 2984 |
| 2614 | 0,874000 | 2987 |
| 2629 | 0,878000 | 2991 |
| 2644 | 0,883000 | 2994 |
| 2659 | 0,888000 | 2994 |
| 2674 | 0,893000 | 2994 |
| 2689 | 0,898000 | 2994 |
| 2704 | 0,904000 | 2994 |
| 2719 | 0,909000 | 2991 |
| 2734 | 0,914000 | 2991 |
| 2749 | 0,918000 | 2991 |
| 2764 | 0,922000 | 2995 |
| 2779 | 0,925000 | 2998 |
| 2794 | 0,928000 | 3004 |
| 2809 | 0,931000 | 3011 |

| h [m] | t_r [s] | V_{sr} [m/s] |
|------------|--------------|-------------------|
| 2824 | 0,935000 | 3017 |
| 2839 | 0,939000 | 3020 |
| 2854 | 0,942000 | 3023 |
| 2869 | 0,945000 | 3030 |
| 2884 | 0,948000 | 3036 |
| 2899 | 0,951000 | 3042 |
| 2914 | 0,954000 | 3048 |
| 2929 | 0,957000 | 3055 |
| 2944 | 0,960000 | 3061 |
| 2959 | 0,964000 | 3067 |
| 2974 | 0,968000 | 3070 |
| 2989 | 0,973000 | 3072 |
| 3004 | 0,978000 | 3072 |
| 3019 | 0,982000 | 3072 |
| 3034 | 0,985000 | 3074 |
| 3049 | 0,988000 | 3080 |
| 3064 | 0,991000 | 3086 |
| 3079 | 0,995000 | 3092 |
| 3094 | 0,998000 | 3094 |
| 3109 | 1,001000 | 3100 |
| 3124 | 1,004000 | 3106 |
| 3139 | 1,008000 | 3112 |
| 3154 | 1,012000 | 3114 |
| 3169 | 1,016000 | 3117 |
| 3184 | 1,020000 | 3119 |
| 3199 | 1,024000 | 3122 |
| 3214 | 1,027000 | 3124 |
| 3229 | 1,030000 | 3130 |
| 3244 | 1,033000 | 3135 |
| 3259 | 1,037000 | 3143 |
| 3274 | 1,040000 | 3148 |
| 3289 | 1,044000 | 3150 |
| 3304 | 1,048000 | 3153 |
| 3319 | 1,052000 | 3155 |
| 3334 | 1,055000 | 3160 |
| 3349 | 1,058000 | 3165 |
| 3364 | 1,060000 | 3174 |
| 3379 | 1,063000 | 3179 |

Tabela 20 cd.

| h [m] | t_r [s] | V_{sr} [m/s] |
|------------|--------------|-------------------|
| 3394 | 1,066000 | 3184 |
| 3409 | 1,069000 | 3189 |
| 3424 | 1,072000 | 3194 |
| 3439 | 1,075000 | 3199 |
| 3454 | 1,079000 | 3201 |
| 3469 | 1,083000 | 3203 |
| 3484 | 1,086000 | 3208 |
| 3499 | 1,090000 | 3210 |
| 3514 | 1,094000 | 3212 |
| 3529 | 1,097000 | 3217 |
| 3544 | 1,100000 | 3222 |
| 3559 | 1,103000 | 3227 |
| 3574 | 1,106000 | 3231 |
| 3589 | 1,109000 | 3236 |
| 3604 | 1,113000 | 3238 |
| 3619 | 1,117000 | 3240 |
| 3634 | 1,120000 | 3245 |
| 3649 | 1,123000 | 3249 |
| 3664 | 1,126000 | 3254 |
| 3679 | 1,130000 | 3256 |
| 3694 | 1,134000 | 3257 |
| 3709 | 1,138000 | 3259 |
| 3724 | 1,141000 | 3264 |
| 3739 | 1,145000 | 3266 |
| 3754 | 1,148000 | 3270 |
| 3769 | 1,151000 | 3275 |
| 3784 | 1,155000 | 3276 |
| 3799 | 1,158000 | 3281 |
| 3814 | 1,161000 | 3285 |
| 3829 | 1,165000 | 3287 |
| 3844 | 1,168000 | 3291 |
| 3859 | 1,171000 | 3295 |
| 3874 | 1,174000 | 3300 |
| 3889 | 1,178000 | 3301 |
| 3904 | 1,181000 | 3306 |

| h [m] | t_r [s] | V_{sr} [m/s] |
|------------|--------------|-------------------|
| 3919 | 1,184000 | 3310 |
| 3934 | 1,188000 | 3311 |
| 3949 | 1,191000 | 3316 |
| 3964 | 1,194000 | 3320 |
| 3979 | 1,197000 | 3324 |
| 3994 | 1,200000 | 3328 |
| 4009 | 1,203000 | 3333 |
| 4024 | 1,206000 | 3337 |
| 4039 | 1,209000 | 3341 |
| 4054 | 1,212000 | 3345 |
| 4069 | 1,215000 | 3349 |
| 4084 | 1,218000 | 3353 |
| 4099 | 1,221000 | 3357 |
| 4114 | 1,225000 | 3358 |
| 4129 | 1,228000 | 3362 |
| 4144 | 1,231000 | 3366 |
| 4159 | 1,235000 | 3368 |
| 4174 | 1,238000 | 3372 |
| 4189 | 1,241000 | 3376 |
| 4204 | 1,244000 | 3379 |
| 4219 | 1,248000 | 3381 |
| 4234 | 1,251000 | 3384 |
| 4249 | 1,254000 | 3388 |
| 4264 | 1,257000 | 3392 |
| 4279 | 1,260000 | 3396 |
| 4294 | 1,263000 | 3400 |
| 4309 | 1,267000 | 3401 |
| 4324 | 1,270000 | 3405 |
| 4339 | 1,274000 | 3406 |
| 4354 | 1,278000 | 3407 |
| 4369 | 1,281000 | 3411 |
| 4384 | 1,284000 | 3414 |
| 4399 | 1,287000 | 3418 |
| 4414 | 1,290000 | 3422 |
| 4429 | 1,293000 | 3425 |

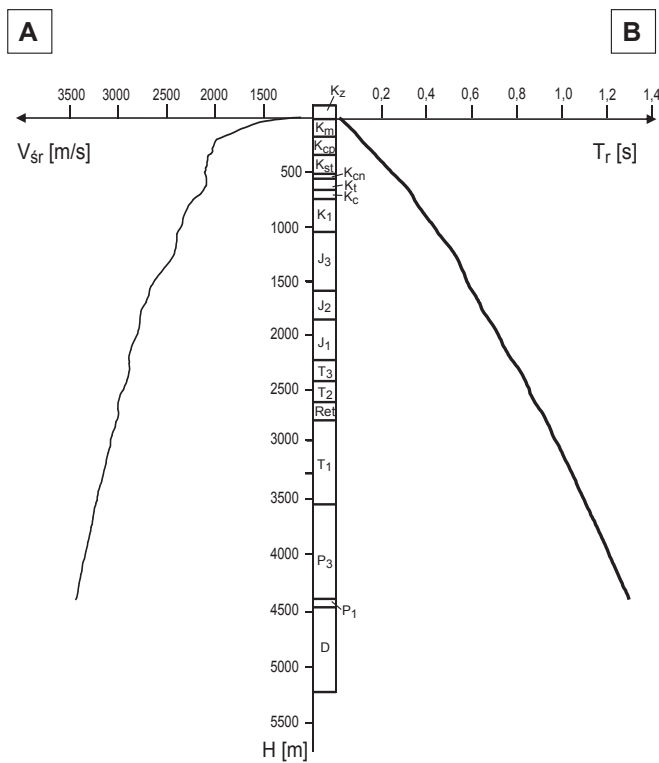


Fig. 34. Wykres prędkości średnich (A) i hodograf pionowy (B) (poz. odn. 0,0 m n.p.m.)

T_r – średni czas zredukowany, V_{sr} – prędkość średnia, H – głębokość. Stratygrafia: K_z – kenozoik; K_m – kreda, mastrycht; K_{cp} – kreda, kampan; K_{st} – kreda, santon; K_{cn} – kreda, koniak; K_t – kreda, turon; K_c – kreda, cenoman; K_1 – kreda dolna; J_3 – jura górna; J_2 – jura środkowa; J_1 – jura dolna; T_3 – trias górny; T_2 – trias środkowy; T_1 – trias dolny; P_3 – perm górny; P_1 – perm dolny; D – dewon

Average seismic velocity (A) and travel-time curve (B)
(reference level 0.0 m a.s.l.)

T_r – average reduced time, V_{sr} – average velocity, H – depth. Stratigraphy: K_z – Cenozoic; K_m – Cretaceous, Maastrichtian; K_{cp} – Cretaceous, Campanian; K_{st} – Cretaceous, Santonian; K_{cn} – Cretaceous, Coniacian; K_t – Cretaceous, Turonian; K_c – Cretaceous, Cenomanian; K_1 – Lower Cretaceous; J_3 – Upper Jurassic; J_2 – Middle Jurassic; J_1 – Lower Jurassic; T_3 – Upper Triassic; T_2 – Middle Triassic; T_1 – Lower Triassic; P_3 – Upper Permian; P_1 – Lower Permian; D – Devonian

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) i V_k (prędkości kompleksowe) obliczonych z czasów wygładzonych zawarto w tabeli 21. Krzywe prędkości wygładzonych, interwałowych i kompleksowych przedstawiono na figurze 35. Ze-

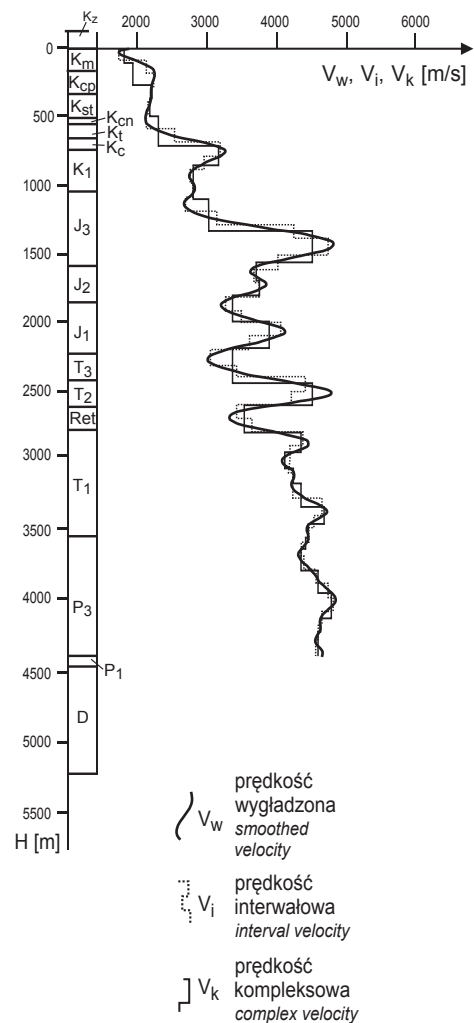


Fig. 35. Wykresy prędkości wygładzonych (V_w), interwałowych (V_i) i kompleksowych (V_k) (poz. odn. 0,0 m n.p.m.)

Objaśnienia na figurze 34

Smoothed velocity (V_w), interval velocity (V_i)
and complex velocity V_k
(reference level 0.0 m a.s.l.)

For explanations see Figure 34

stawienie wykresów prędkości z profilem geologicznym otworu wiertniczego umożliwia powiązanie zmian prędkości z kompleksami stratygraficzno-litologicznymi w otworze. Korelacja wymaga uwzględnienia podanych wcześniej różnic w poziomach odniesienia: wylotu głębokiego otworu (86 m n.p.m.) i załączonych wyników pomiarów prędkości sprowadzonych do 0 m n.p.m.

W otworze wiertniczym Unisław IG 1 interwał głębokościowy odpowiadający utworom kredowym (K_2) charakteryzuje się prędkościami narastającymi stopniowo w sposób schodkowy. Najniższe wartości oscylujące w granicach 1800–1950 m/s dotyczą osadów mastrychtu i częściowo

kampanu wraz z ich ok. 100-metrowym nadkładem (K_2). Na głębokościach od 290 do 490 m (wykres prędkości) następuje wzrost prędkości do ok. 2200 m/s, która obejmuje w profilu geologicznym otworu pozostałe warstwy kampanu oraz santonu. W warstwach przyspągowych santonu, tuż powyżej granicy stratygraficznej santon–koniak, obserwuje się następny skok prędkości o 100 m/s wydzielający następny podkompleks w utworach kredowych, o miąższości ok. 220 m i średniej wartości prędkości 2300 m/s. Jest to seria obejmująca zgodnie z danymi otworowymi interwał koniak–cenoman wyróżniająca się wśród skał kompleksu kredy górnej. Prawdopodobnie udział materiału węglanowego jest tu większy niż w pozostałych warstwach. W konsekwencji zmiany prędkości na krzywych pomiarowych, w tym w czterowarstwowym kompleksie, następują w przedziale 1800–2300 m/s, co obrazuje zmienność wykształcenia litologicznego poszczególnych warstw budujących te utwory. Ich zróżnicowanie podkreślają też anomalie zanotowane na krzywych profilowania akustycznego (PA) i prędkości interwałowych na głębokościach odpowiadających kolejno granicom kontaktowym w profilach mastrycht–kampan i turon–cenoman. Jeszcze wyraźniejsza granica prędkościowa o kontraście 850 m/s zaznacza kontakt utworów górno- i dolnokredowych. Utwory kredy dolnej (K_1) na krzywej prędkości kompleksowej charakteryzują się dwiema wartościami. Wartość wyższa 3150 m/s odpowiada 140-metrowej miąższości warstwom górnym. Prędkość niższa 2800 m/s, przypisana pakietom dolnym, dotyczy również najwyższych poziomów jury górnej (J_3), co łącznie daje miąższość 260 m.

W opisywanym otworze wiertniczym najbardziej zróżnicowany pod względem prędkości jest kompleks odpowiadający stratygraficznie formacjom jury. Na podstawie analizy poszczególnych krzywych prędkościowych przedział odpowiadający jurze górnej można podzielić na dwa główne podkompleksy. Górny o miąższości ok. 240 m charakteryzuje się prędkością 3050 m/s i dolny o wartości 4500 m/s, który tym samym przewyższa o 1450 m/s prędkość leżących wyżej utworów. Podkompleks górny jest dodatkowo różnicowany wartościami prędkości interwałowej, co prawdopodobnie pozostaje w zależności od procentowego udziału skał wapienno-marglistych w skałach tytonu i kimerydu, które ten odcinek profilu obejmuje. Tak wysoki kontrast prędkości zaznacza się na głębokości korelującej się z przystropowymi warstwami utworów węglanowych oksfordu i wyróżnia 250-metrową serię tych utworów. Wyinterpretowana dla nich wspomniana wyżej średnia prędkość kompleksowa 4500 m/s jest najwyższą w omawianym profilu otworowym. Poniżej na wszystkich trzech wykresach prędkości: wygładzonych, interwałowych i kompleksowych następuje zmiana gradientu. Ujemny kontrast prędkości o wartości 800 m/s towarzyszy przejściu do utworów jury środkowej (J_2), charakteryzujących się obniżoną w stosunku do nadkładu prędkością kompleksową do 3700–3750 m/s, która reprezentuje tu utwory piaszczysto-ilaste tej formacji. Granica stratygraficzna między jurą środkową i dolną (J_1) nie zaznacza się na krzywych prędkościowych w sposób ścisły ze względu na brak znaczących dla tego

parametru zmian w charakterze osadów na tym poziomie. Zanotowana zmiana występuje powyżej, według przyjętej wersji danych z otworu na głębokości kontaktu bajosu z aalemem. Utwory jury dolnej charakteryzują zasadniczo dwie prędkości: część górną 3400 m/s i część dolną wyższą – 3900 m/s, o kontraście 500 m/s lokalizującym się w warstwach przystropowych formacji drzewieckiej. Związane jest to z wydzieleniem się na krzywych prędkościowych utworów z przewagą poziomów piaskowcowych w postaci podwyższonych wartości, co jeszcze bardziej szczegółowo obrazuje wykres prędkości interwałowych. Poniżej w przedziale głębokościowym obejmującym najniższe sekwencje jury dolnej (J_1 , formacja zagajska) i trias górny (T_3) obserwuje się zmniejszenie parametru prędkości kompleksowej do 3350 m/s. Następnie ponownie za sprawą kontrastu 1150 m/s zostaje wyróżniony odcinek o bardzo dużej prędkości kompleksowej 4500 m/s związany z utworami wapienia muszlowego (T_2). Kolejne obniżenie prędkości do poziomu 3550 m/s dotyczy górnych skał triasu dolnego (ret). W przedziale występowania wyżej opisanych pakietów triasowych wykres prędkości interwałowych dodatkowo różnicuje poszczególne serie.

Na głębokości ok. 2810 m (na wykresie prędkości) wskazania na krzywej pokazują kontrast prędkości 800 m/s i wzrost wartości prędkości kompleksowej do 4350 m/s, która z małymi odchyleniami utrzymuje się na tym poziomie dla całego, o miąższości 1000 m, kompleksu obejmującego w profilu geologicznym otworu utwory triasu dolnego (T_1) i częściowo permu górnego (P_3). Zakres zmian parametrów prędkości w tym przedziale jest mały i wynosi od 4100 do 4675 m/s, co świadczy o takim wykształceniu litologicznym osadów, które daje na krzywych pomiarowych zbliżony efekt prędkościowy. Najgłębszy odcinek krzywych prędkościowych obrazuje rozkład tego parametru w niższych skałach cechsztynu (PZ3–PZ1) i w kończącym pomiar czerwonym spągowcu. Początkowo wartość rośnie od 4350 do 4800 m/s, po czym utrzymuje się na poziomie 4600–4650 m/s. Największe zmiany dokonują się w przedziale głębokościowym odpowiadającym młodszej soli kamiennej dolnej.

Podsumowując, najwyższe wartości prędkości zarejestrowano w utworach wapiennych jury górnej – w oksfordzie oraz w kompleksie wapienia muszlowego triasu środkowego. Najniższe prędkości cechuje kilkustopniowy kompleks kredy górnej o miąższości 710 m z uwzględnieniem jej nadkładu i relatywnie poszczególne, wyróżnione kompleksy według profilu stratygraficznego w utworach jurajsko-triasowych.

Analiza przedstawionych powyżej wyników badań upoważnia do wydzielenia następujących średnich wartości prędkości (w zaokrągleniu do 50 m/s) dla poszczególnych kompleksów stratygraficznych w otworze Unisław IG 1:

- kreda górna (K_2) – 2150 m/s,
- kreda dolna (K_1) – 3150 i 2800 m/s,
- jura górna (J_3) – 3050 i 4500 m/s (oksford),
- jura środkowa (J_2) – 3700–3750 m/s,
- jura dolna (J_1) – 3400 i 3900 m/s,
- trias górny (T_3) – 3350 m/s,

- trias środkowy (T_2) – 4500 m/s (wapień muszlowy),
- ret – 3550 m/s,
- trias dolny (T_1) – 4350 m/s,
- perm (P) – 4550 m/s.

Wykresy prędkości wygładzonych, interwałowych i kompleksowych odwzorowują złożony profil geologiczny otworu wiertniczego Unisław IG 1. Prędkość jako pochodna czasu jest zależna od zmian w profilu geologicznym przewierconych warstw. Liczba możliwych do rozróżnienia warstw zależy od kontrastu właściwości sprężystych między utworami nadległymi i podścielającymi oraz stosunku miąższości danej warstwy do interwału, jaki określa prędkość. Obserwowane kontrasty prędkości są efektem zmian w wykształceniu litologicznym poszczególnych ogniw litostratygraficznych. W rezultacie daje to możliwość określe-

nia granic między nimi. Na krzywych można wyznaczyć szereg kompleksów o dosyć jednolitej i zbliżonej charakterystyce prędkościowej, które znajdują też odzwierciedlenie w pomiarach sejsmicznego profilowania akustycznego (PA) wykonanego w tym otworze do głębokości 3495 m.

Otrzymane wyniki stanowią znaczący materiał do uaktualnienia modelu prędkości niezbędnego do prawidłowego głębokościowego opracowania materiałów sejsmicznych z rejonu otworu wiertniczego Unisław IG 1 i jego otoczenia. Uwzględnienie w rozkładach prędkości wyników z pomiarów w otworze wiertniczym Unisław IG 1 sięgających 4515 m ułatwi korelację i przyporządkowanie poziomów refleksyjnych na przekrojach do poszczególnych pięter perm-mezozoiku.

Tabela 21

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] |
|------------|----------------|----------------|----------------|
| 20 | 1754 | 1822 | 1905 |
| 40 | 1754 | 1822 | 1709 |
| 60 | 1754 | 1822 | 1776 |
| 80 | 1754 | 1822 | 1861 |
| 100 | 1754 | 1822 | 1955 |
| 120 | 2149 | 1822 | 2049 |
| 140 | 2149 | 1950 | 2134 |
| 160 | 2149 | 1950 | 2201 |
| 180 | 2149 | 1950 | 2245 |
| 200 | 2149 | 1950 | 2265 |
| 220 | 2245 | 1950 | 2265 |
| 240 | 2245 | 1950 | 2253 |
| 260 | 2245 | 1950 | 2238 |
| 280 | 2245 | 1950 | 2226 |
| 300 | 2245 | 2219 | 2219 |
| 320 | 2217 | 2219 | 2218 |
| 340 | 2217 | 2219 | 2219 |
| 360 | 2217 | 2219 | 2219 |
| 380 | 2217 | 2190 | 2215 |
| 400 | 2217 | 2190 | 2206 |
| 420 | 2170 | 2190 | 2194 |
| 440 | 2170 | 2190 | 2178 |
| 460 | 2170 | 2190 | 2162 |

| H [m] | V_i [m/s] | V_k [m/s] | V_w [m/s] |
|------------|----------------|----------------|----------------|
| 480 | 2170 | 2190 | 2146 |
| 500 | 2170 | 2314 | 2132 |
| 520 | 2152 | 2314 | 2125 |
| 540 | 2152 | 2314 | 2129 |
| 560 | 2152 | 2314 | 2149 |
| 580 | 2152 | 2314 | 2189 |
| 600 | 2152 | 2314 | 2254 |
| 620 | 2548 | 2314 | 2347 |
| 640 | 2548 | 2314 | 2470 |
| 660 | 2548 | 2314 | 2621 |
| 680 | 2548 | 2314 | 2792 |
| 700 | 2548 | 2314 | 2966 |
| 720 | 3200 | 3170 | 3120 |
| 740 | 3200 | 3170 | 3227 |
| 760 | 3200 | 3170 | 3270 |
| 780 | 3200 | 3170 | 3251 |
| 800 | 3200 | 3170 | 3186 |
| 820 | 2967 | 3170 | 3097 |
| 840 | 2967 | 3170 | 3005 |
| 860 | 2967 | 2814 | 2920 |
| 880 | 2967 | 2814 | 2851 |
| 900 | 2967 | 2814 | 2799 |
| 920 | 2772 | 2814 | 2767 |

Tabela 21 cd.

| H [m] | V_i [m/s] | V_k [m/s] | V_w [m/s] | H [m] | V_i [m/s] | V_k [m/s] | V_w [m/s] |
|------------|----------------|----------------|----------------|------------|----------------|----------------|----------------|
| 940 | 2772 | 2814 | 2756 | 1740 | 3748 | 3748 | 3829 |
| 960 | 2772 | 2814 | 2763 | 1760 | 3748 | 3748 | 3746 |
| 980 | 2772 | 2814 | 2785 | 1780 | 3748 | 3748 | 3622 |
| 1000 | 2772 | 2814 | 2812 | 1800 | 3748 | 3748 | 3485 |
| 1020 | 2809 | 2809 | 2832 | 1820 | 3271 | 3381 | 3360 |
| 1040 | 2809 | 2809 | 2834 | 1840 | 3271 | 3381 | 3267 |
| 1060 | 2809 | 2809 | 2814 | 1860 | 3271 | 3381 | 3214 |
| 1080 | 2809 | 2809 | 2776 | 1880 | 3271 | 3381 | 3206 |
| 1100 | 2809 | 2809 | 2733 | 1900 | 3271 | 3381 | 3241 |
| 1120 | 2707 | 3039 | 2698 | 1920 | 3499 | 3381 | 3316 |
| 1140 | 2707 | 3039 | 2681 | 1940 | 3499 | 3381 | 3425 |
| 1160 | 2707 | 3039 | 2690 | 1960 | 3499 | 3381 | 3560 |
| 1180 | 2707 | 3039 | 2730 | 1980 | 3499 | 3381 | 3709 |
| 1200 | 2707 | 3039 | 2801 | 2000 | 3499 | 3381 | 3857 |
| 1220 | 3142 | 3039 | 2906 | 2020 | 4053 | 3889 | 3986 |
| 1240 | 3142 | 3039 | 3046 | 2040 | 4053 | 3889 | 4077 |
| 1260 | 3142 | 3039 | 3221 | 2060 | 4053 | 3889 | 4115 |
| 1280 | 3142 | 3039 | 3429 | 2080 | 4053 | 3889 | 4091 |
| 1300 | 3142 | 3039 | 3665 | 2100 | 4053 | 3889 | 4008 |
| 1320 | 4245 | 3039 | 3920 | 2120 | 3613 | 3889 | 3877 |
| 1340 | 4245 | 3039 | 4174 | 2140 | 3613 | 3889 | 3716 |
| 1360 | 4245 | 4513 | 4406 | 2160 | 3613 | 3889 | 3542 |
| 1380 | 4245 | 4513 | 4597 | 2180 | 3613 | 3889 | 3375 |
| 1400 | 4245 | 4513 | 4733 | 2200 | 3613 | 3350 | 3228 |
| 1420 | 4738 | 4513 | 4804 | 2220 | 3062 | 3350 | 3115 |
| 1440 | 4738 | 4513 | 4811 | 2240 | 3062 | 3350 | 3042 |
| 1460 | 4738 | 4513 | 4756 | 2260 | 3062 | 3350 | 3015 |
| 1480 | 4738 | 4513 | 4646 | 2280 | 3062 | 3350 | 3033 |
| 1500 | 4738 | 4513 | 4489 | 2300 | 3062 | 3350 | 3096 |
| 1520 | 4018 | 4513 | 4301 | 2320 | 3427 | 3350 | 3199 |
| 1540 | 4018 | 4513 | 4104 | 2340 | 3427 | 3350 | 3337 |
| 1560 | 4018 | 4513 | 3921 | 2360 | 3427 | 3350 | 3505 |
| 1580 | 4018 | 3708 | 3773 | 2380 | 3427 | 3350 | 3695 |
| 1600 | 4018 | 3708 | 3673 | 2400 | 3427 | 3350 | 3902 |
| 1620 | 3683 | 3708 | 3627 | 2420 | 4404 | 3350 | 4120 |
| 1640 | 3683 | 3708 | 3634 | 2440 | 4404 | 3350 | 4340 |
| 1680 | 3683 | 3708 | 3757 | 2460 | 4404 | 4497 | 4543 |
| 1700 | 3683 | 3708 | 3823 | 2460 | 4404 | 4497 | 4702 |
| 1720 | 3748 | 3748 | 3854 | 2480 | 4404 | 4497 | 4781 |

Tabela 21 cd.

| H [m] | V_i [m/s] | V_k [m/s] | V_w [m/s] | H [m] | V_i [m/s] | V_k [m/s] | V_w [m/s] |
|------------|----------------|----------------|----------------|------------|----------------|----------------|----------------|
| 2500 | 4205 | 4497 | 4751 | 3280 | 4227 | 4353 | 4409 |
| 2520 | 4205 | 4497 | 4607 | 3300 | 4328 | 4353 | 4487 |
| 2540 | 3683 | 3708 | 3757 | 3320 | 4653 | 4353 | 4572 |
| 2560 | 4205 | 4497 | 4379 | 3340 | 4653 | 4353 | 4652 |
| 2580 | 4205 | 4497 | 4111 | 3360 | 4653 | 4675 | 4706 |
| 2600 | 4205 | 4497 | 3849 | 3380 | 4653 | 4675 | 4719 |
| 2620 | 3446 | 3546 | 3625 | 3400 | 4653 | 4675 | 4689 |
| 2640 | 3446 | 3546 | 3456 | 3420 | 4533 | 4675 | 4626 |
| 2660 | 3446 | 3546 | 3351 | 3440 | 4533 | 4675 | 4553 |
| 2680 | 3446 | 3546 | 3312 | 3460 | 4533 | 4460 | 4491 |
| 2700 | 3446 | 3546 | 3337 | 3480 | 4533 | 4460 | 4451 |
| 2720 | 3652 | 3546 | 3422 | 3500 | 4533 | 4460 | 4436 |
| 2740 | 3652 | 3546 | 3559 | 3520 | 4449 | 4460 | 4440 |
| 2760 | 3652 | 3546 | 3731 | 3540 | 4449 | 4460 | 4452 |
| 2780 | 3652 | 3546 | 3922 | 3560 | 4449 | 4460 | 4459 |
| 2800 | 3652 | 3546 | 4109 | 3580 | 4449 | 4426 | 4453 |
| 2820 | 4375 | 4358 | 4270 | 3600 | 4449 | 4426 | 4433 |
| 2840 | 4375 | 4358 | 4388 | 3620 | 4356 | 4426 | 4400 |
| 2860 | 4375 | 4358 | 4452 | 3640 | 4356 | 4426 | 4365 |
| 2880 | 4375 | 4358 | 4455 | 3660 | 4356 | 4363 | 4335 |
| 2900 | 4375 | 4358 | 4404 | 3680 | 4356 | 4363 | 4316 |
| 2920 | 4188 | 4358 | 4315 | 3700 | 4356 | 4363 | 4314 |
| 2940 | 4188 | 4358 | 4215 | 3720 | 4386 | 4363 | 4330 |
| 2960 | 4188 | 4116 | 4130 | 3740 | 4386 | 4363 | 4361 |
| 2980 | 4188 | 4116 | 4079 | 3760 | 4386 | 4363 | 4401 |
| 3000 | 4188 | 4116 | 4070 | 3780 | 4386 | 4363 | 4446 |
| 3020 | 4172 | 4116 | 4099 | 3800 | 4386 | 4363 | 4488 |
| 3040 | 4172 | 4116 | 4151 | 3820 | 4563 | 4612 | 4522 |
| 3060 | 4172 | 4116 | 4205 | 3840 | 4563 | 4612 | 4551 |
| 3080 | 4172 | 4239 | 4242 | 3860 | 4563 | 4612 | 4577 |
| 3100 | 4172 | 4239 | 4254 | 3880 | 4563 | 4612 | 4604 |
| 3120 | 4227 | 4239 | 4246 | 3900 | 4563 | 4612 | 4634 |
| 3140 | 4227 | 4239 | 4227 | 3920 | 4742 | 4612 | 4673 |
| 3160 | 4227 | 4239 | 4213 | 3940 | 4742 | 4612 | 4719 |
| 3180 | 4227 | 4353 | 4213 | 3960 | 4742 | 4612 | 4768 |
| 3200 | 4227 | 4353 | 4228 | 3980 | 4742 | 4791 | 4811 |
| 3220 | 4227 | 4353 | 4255 | 4000 | 4742 | 4791 | 4839 |
| 3240 | 4227 | 4353 | 4294 | 4020 | 4805 | 4791 | 4847 |
| 3260 | 4227 | 4353 | 4344 | 4040 | 4805 | 4791 | 4834 |

Tabela 21 cd.

| H [m] | V_i [m/s] | V_k [m/s] | V_w [m/s] |
|------------|----------------|----------------|----------------|
| 4060 | 4805 | 4791 | 4800 |
| 4080 | 4805 | 4791 | 4755 |
| 4100 | 4805 | 4791 | 4708 |
| 4120 | 4644 | 4791 | 4667 |
| 4140 | 4644 | 4633 | 4641 |
| 4160 | 4644 | 4633 | 4629 |
| 4180 | 4644 | 4633 | 4626 |
| 4200 | 4644 | 4633 | 4629 |
| 4220 | 4606 | 4633 | 4629 |
| 4240 | 4606 | 4600 | 4621 |

| H [m] | V_i [m/s] | V_k [m/s] | V_w [m/s] |
|------------|----------------|----------------|----------------|
| 4260 | 4606 | 4600 | 4602 |
| 4280 | 4606 | 4600 | 4580 |
| 4300 | 4606 | 4600 | 4561 |
| 4320 | 4591 | 4591 | 4555 |
| 4340 | 4591 | 4591 | 4568 |
| 4360 | 4591 | 4591 | 4598 |
| 4380 | 4591 | 4591 | 4634 |
| 4400 | 4591 | 4591 | 4664 |
| 4420 | 4570 | 4595 | 4660 |