

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Sylwia KIJEWSKA

BADANIA SEJSMICZNE W OKOLICY OTWORU OŚWINO IG 1

W okolicy otworu Oświno IG 1 badania sejsmiczne wykonywane są od wielu lat. Pierwsze pomiary były rejestrowane metodą analogową. Lokalizację pomiarów z początku lat 70. XX w. w najbliższym otoczeniu wiercenia przedstawiono w artykule Tarkowskiego i in. (2014). Profile rejestrowane z zapisem cyfrowym wykonywano od lat 80. XX w. Ogólnie jednak siatka profili sejsmicznych nie jest gęsta, a struktura Oświno, w obrębie której odwiercono otwór, została przecięta

przez jeden profil cyfrowy W0200385 o przebiegu SW–NE, wykonany przez firmę Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych w 1985 r. Otwór jest oddalony o niespełna 800 m od tego profilu. W latach późniejszych profil został poddany ponownemu przetwarzaniu co pozwoliło na poprawę jakości obrazu.

Niestety w analizowanym otworze nie wykonano pomiarów akustycznych, a dowiązanie danych sejsmicznych

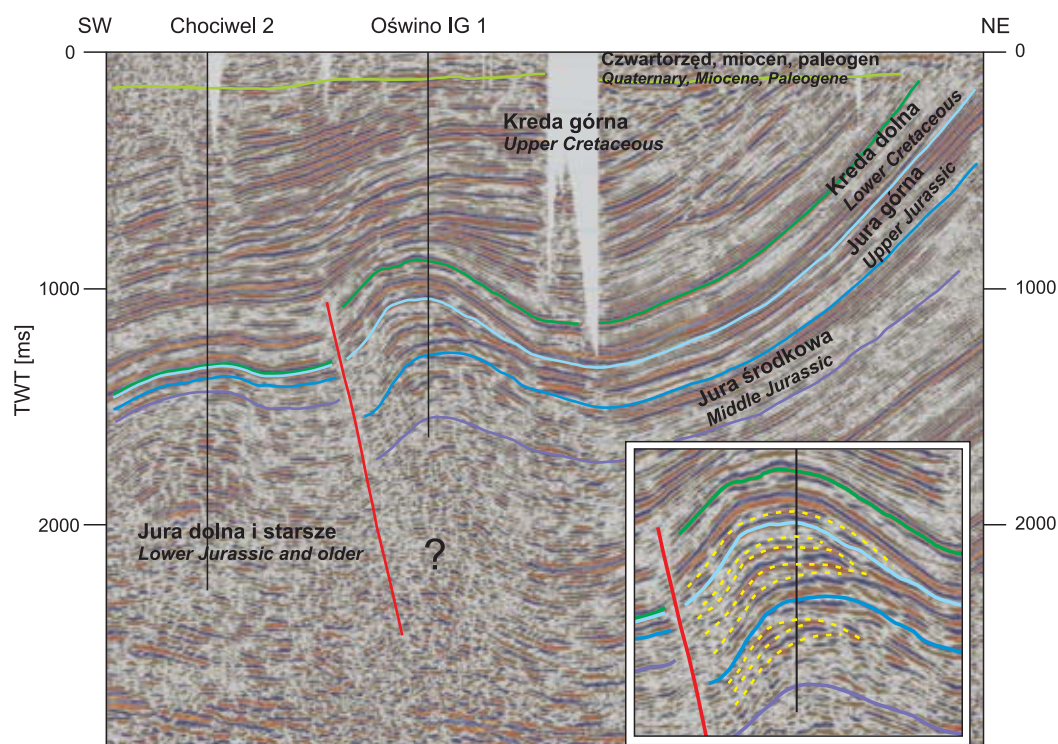


Fig. 17. Interpretacja fragmentu czasowego profilu sejsmicznego W0200385 oraz powiększenie obszaru obejmującego dywergentne ułożenie refleksów sejsmicznych (żółte przerywane linie) w strukturze Oświno

A part of interpreted time seismic section W0200385 and image magnification with divergent pattern of seismic reflections (yellow dotted lines) in the Oświno structure

dostępnych w domenie czasu oparte zostało jedynie na dostępnych pomiarach prędkości średnich. Wspomagano się również informacjami o stratygrafii dostępnej dla otworu Chociwel 2, zlokalizowanego w południowo-zachodniej części omawianego profilu. Wykonana interpretacja strukturalna jest jednak stosunkowo ogólna (fig. 17), bez szczegółowego dowiązania horyzontów sejsmicznych wyznaczających strop jury dolnej, środkowej, górnej, kredy dolnej i górnej. Na profilu wyraźnie zaznacza się obecność uskoku w SE części struktury (fig. 17 – linia czerwona). Porównanie interpretowanych horyzontów sejsmicznych wykazało znaczne różnice miąższości warstw po obu stronach uskoku. Miąższość warstw po NE stronie uskoku wyraźnie jest większa i wzrasta w kierunku powierzchni uskoku, a horyzonty sejsmiczne wyklinowują się (żółte przerywane linie na zbliżeniu na fig. 17). Taki rozkład miąższości w skrzydle zrzuconym uskoku z reguły wskazuje na jego synsedymencyjną genezę. Miąższość utworów jury środkowej i górnej oraz kredy dolnej po południowo-zachodniej stronie uskoku jest natomiast wyraźnie mniejsza.

W literaturze przedstawiono kilka alternatywnych interpretacji i hipotez dotyczących genezy struktury Oświno. Swoje wyniki zaprezentował m.in. Krzywiec (2002) oraz Dadlez (2005). Interpretacje różnią się od siebie, głównie ze względu na inne podejście do genezy struktury. Dadlez

(2005) w dużej mierze oparł swoją propozycję na porównaniu z innymi strukturami zlokalizowanymi wzdłuż południowo-zachodniej granicy bruzdy środkowopolskiej. Ograniczył strukturę od południowego zachodu i północnego wschodu prawie pionowymi uskokami i wyznaczył wysad solny ze stropem w jurze dolnej. Otwór Oświno IG 1 został zakończony w utworach górnej jury dolnej, a więc nie stwierdzono w nim na jakiej głębokości położony jest strop permu i jakie utwory go przykrywają. Trudno więc jednoznacznie określić, w jakim okresie czasu następował ruch soli i tworzenie się antykliny solnej w podłożu. Krzywiec (2002) natomiast przedstawił rozwój struktury na podstawie aktywności uskoku obserwowanego na przekroju. Początkowo działał on jako uskok normalny, a następnie został odmlodzony jako uskok odwrócony, powodując rozwój antykliny Oświna. Nie zakładał on udziału ruchów soli w tworzeniu się antykliny.

Na podstawie dostępnych danych oraz analizy zawężonej do interpretacji najbliższego otoczenia otworu nie można wykluczyć obecności wysadu solnego, jak również nie jest możliwe jednoznaczne stwierdzenie, czy ruchy solne nie miały wpływu na rozwój struktury. Nie można jednak pominąć faktu, że analizowany obszar był pod dużym wpływem ruchów inwersyjnych, które spowodowały powstanie bruzdy środkowopolskiej.

Damian WĘGLIŃSKI

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

CEL BADAŃ

Zamieszczony opis pomiarów geofizyki otworowej i ich wyników stworzono na podstawie dokumentacji wynikowej wiercenia strukturalnego Oświno IG 1 (Jaskowiak, 1966) oraz scyfrowanych danych pomiarowych ze zbioru CBDG PIG-PIB. Badania geofizyki otworowej wykonano w okresie 29.05.1964–23.03.1965 r. Pomiary wykonało Przedsiębiorstwo Pomiarów Geofizycznych w Warszawie.

Otwór Oświno IG 1 został wykonany w ramach *Projektu robót geologicznych dla trzech wierceń strukturalnych Oświno–Wągrowiec–Strzelno*. Projekt ten skupiał się na rozpoznaniu budowy geologicznej Niżu Polskiego w strefie między antyklinorium kujawsko-pomorskim a synklinorium szczecińskim i mogileńskim.

Celem badań geofizycznych wykonanych w otworze Oświno IG 1 było:

- wyznaczenie profilu litologicznego oraz stratygraficznego;
- wyjaśnienie zagadnienia ewentualnego przyrostu miąższości osadów doggeru, malmu oraz kredy dolnej;
- wyjaśnienie ewentualnego nagromadzenia bituminów w osadach jury środkowej, górnej oraz dolnej kredy;
- określenie występowania złóż węglowodorów na podstawie wskaźników hydrochemicznych;
- ocena stanu technicznego otworu;
- pomiar temperatury w otworze;
- inne bieżące potrzeby wiercenia.

ZAKRES PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Pomiary geofizyczne w otworze Oświno IG 1 (nr identyfikacyjny otworu – 25751) zostały wykonane na głęb. 0–2250 m w formie trzech odcinków pomiarowych. W każdym z odcinków badania prowadzone były starymi sondami analogowymi radzieckiego pochodzenia. W skład zastosowanych urządzeń weszły sondy radiometryczne (SS-60, LS-1), sondy elektryczne (AKS/L, RK-2), urządzenia do pomiaru temperatury (ETMI) oraz fotoinklinometr do pomiaru krzywizny otworu.

Do dokumentacji wynikowej otworu dołączono następujące pomiary:

- profilowanie średnicy otworu PSr (CALI);
- profilowanie krzywizny otworu PK;
- profilowanie gamma PG (GR);
- profilowanie neutron-gamma PNG (NEGR);
- profilowane gamma-gamma PGG (GGDN);
- profilowanie potencjałów naturalnych PS (SP);

- profilowanie oporności gradientowe POg (EL02, EL03, EL03L, EL07, EL14, EL26);
 - profilowanie oporności potencjałowe POp (EN10, EN20);
 - profilowanie oporności płuczki POP (MRES);
 - profilowanie neutron-neutron nadtermiczne PNNnt (NECN);
 - profilowane termiczne TEMN;
 - pomiar temperatury.
- W tabeli 17 przedstawiono dokładny spis przeprowadzonych pomiarów wraz z datą ich wykonania, średnicą nominalną otworu oraz ówczesną głębokością odwierconego otworu.
- W celu określenia charakterystyki termicznej otworu, po zakończeniu wiercenia wykonano dwa profilowania termiczne w warunkach ustalonych (po 10 dniach stójki 04.02.1965 oraz kolejne 23.03.1965).

Tabela 17

Wykaz badań geofizyki otworowej

List of well logs

Data badań Date of measurment	Rodzaj pomiaru (skrót) Type of measurment (abbreviated)	Interwał głębokościowy pomiaru Depth interval [m]	Głębokość otworu podczas wykonywania pomiarów Borehole depth during measurments [m]	Średnica otworu Caliper [mm]
24.05.1964	EL02 (M0.5A0.1B)	220,25–1010,75	1018	308
	EN20 (B4.0A0.5M)	221,25–1010,75		
	EL26 (M8.0A0.5B)	221,50–1010,75		
	EL14 (M4.0A0.5B)	221,25–1011,25		
	EL07 (M2.5A0.25B)	221,25–1010,75		
	EL03 (M1.0A0.1B)	220,75–1010,75		
	EL02 (M0.25A0.05B)	222,25–1010,50		
23–29.05.1964	SP	221,25–1010,50		
	GGDN	0,50–1019,50		
	GR	0,50–1018,75		
	MRES	56,25–1017,75		
	NECN	1,25–833,50		
	PK	240,00–1005,00		
	CALI	226,25–1017,75		
02–08.11.1964	EN10 (B2.5A0.25M)	1000,25–1990,50	1997	216
	EL26 (M8.0A0.5B)	999,50–1991,75		
	EL14 (M4.0A0.5B)	1010,25–1994,75		
	EL02 (M0.25A0.05B)	1009,25–1992,50		
	SP	977,25–1991,50		
	NEGR	971,50–1999,75		
	GR	954,50–2001,50		
	E03L (N0.1M1.0A)	1000,50–1992,50		
	PK	1000,00–1985,00		
06–19.01.1965	EL02 (M0.25A0.05B)	1997,25–2233,75	2250	216
	EL03 (M1.0A0.1B)	1996,25–2244,00		
	EL07 (M2.5A0.25B)	1994,50–2250,75		
	EL14 (M4.0A0.5B)	1995,25–2245,25		
	EL26 (M8.0A0.5B)	1995,50–2249,75		
	EL03L (N0.1M1.0A)	1997,50–2244,75		
	EN10 (B2.5A0.25M)	1996,25–2243,75		
06–19.01.1965	CALI	1996,25–2247,75	2250	216
	MRES	1996,25–2201,25		
	GR	1995,50–2253,75		
	SP	1995,25–2237,75		
	PK	2000,00–2240,00		
28.02.1965	Vsr	75,00–1925,00	2250	216 (308)
23.03.1965	TEMN	88,50–2106,50		
04.02.1965	TEMN	69,00–1930,00		

Profilowanie krzywizny zostało wykonane z krokiem próbkowania 25 m, w każdym z odwierconych interwałów. Profilowanie to nie zostało połączone ani scyfrowane.

Krzywe geofizyki otworowej nie zostały zinterpretowane ilościowo, co ma prawdopodobnie związek z ciągłym rdzeniem na znacznej długości otworu, tj. poniżej 1250 m, oraz stosunkowo ubogim zestawem wykonywanych profiliowań na znacznym odcinku otworu.

W zasobach CBDG zamieszczone są również wyniki: 3418 analiz laboratoryjnych gęstości objętościowej oraz 1084 analiz porowatości efektywnej przeprowadzonych na próbkach pobranych z rdzeni wiertniczych. Próbkę te opracowano, a następnie przetworzono na potrzeby projektu *Opracowanie modelu rozkładu gęstości głównych jednostek*

geologicznych kraju (Rosowiecka, 2011) w celu obliczenia średnich gęstości oraz porowatości efektywnych wybranych interwałów głębokościowych (łącznie 92 warstwy na podstawie 885 próbek). Warto przy tym zaznaczyć, że dokładna głębokość poboru próbek jest niesprecyzowana i bazuje wyłącznie na przedziale głębokościowym pobranego rdzenia wiertniczego. Dodatkowo w ramach projektu *Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z programem ich monitorowania* w otworze Oświno IG 1 wykonano analizę petrofizyczną 13 próbek pod kątem gęstości, porowatości, ciśnień kapilarnych oraz współczynnika przepuszczalności. W ramach tego samego projektu przygotowano również analizę hydrogeochemiczną dla dwóch wybranych struktur wodonośnych.

DIGITALIZACJA I NORMALIZACJA PROFIŁÓW GEOFIZYCZNYCH

Znaczna część profiliowań wykonanych w otworze i opisanych w tabeli 16 została w przeszłości scyfrowana (fig. 18) z krokiem 0,25 m i zamieszczona w CBDG pod postacią 5 plików w formacie LAS (Log ASCII Standard – pomiar

bez poprawki na skrzywienie otworu) oraz 36 plików BKR (pliki tekstowe powiązane z systemem interpretacyjnym GEOFLOG – Szewczyk, 1994). Dodatkowo w CBDG znajduje się plik zawierający kilka połączonych i znorma-

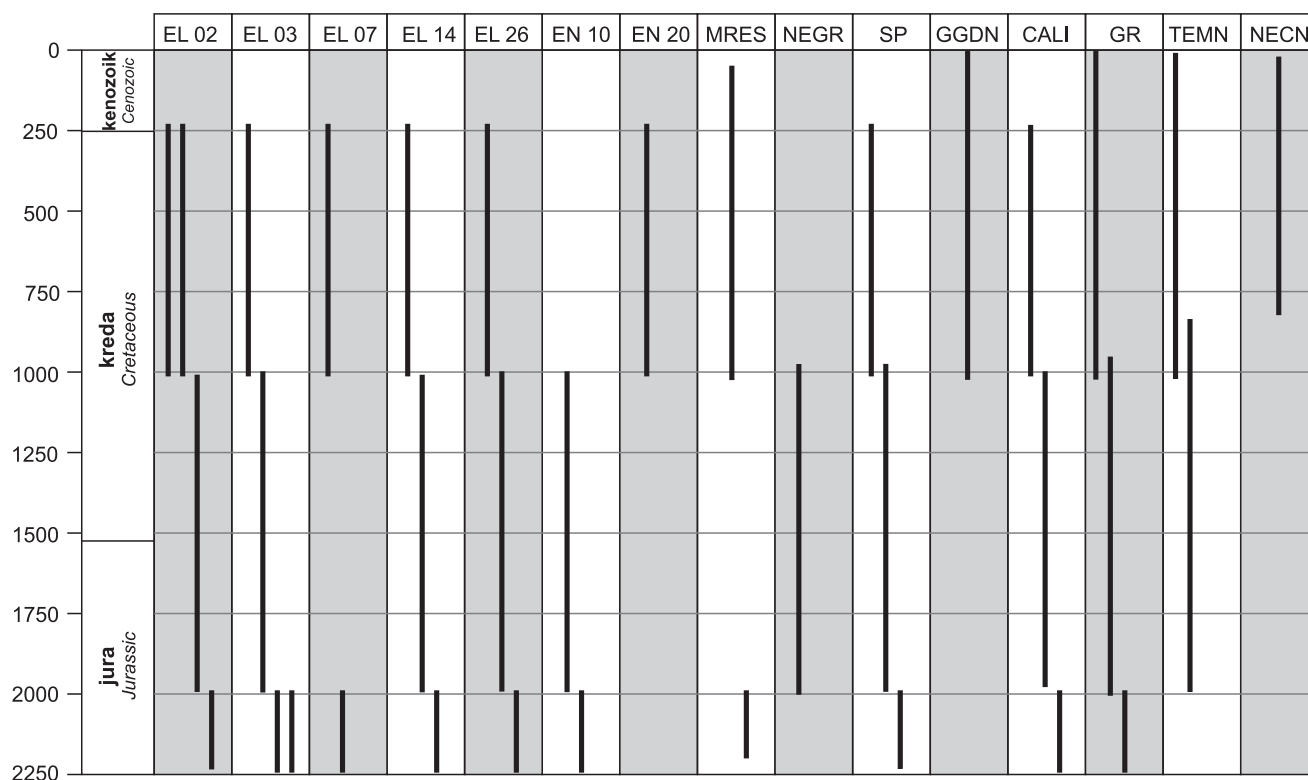


Fig. 18. Schematyczne zestawienie scyfrowanych profiliowań geofizyki otworowej

Typy profiliowań geofizyki otworowej: EL – gradientowe profilowanie oporności (EL02, EL03, EL07, EL14, EL26); EN – potencjałowe profilowanie oporności (EN10, EN20); MRES – profilowanie oporności płuczki; NEGR – profilowanie neutron-gamma; SP – profilowanie potencjałów naturalnych; GGDN – profilowanie gamma-gamma gęstościowe; CALI – profilowanie średnicy; GR – profilowanie naturalnej promieniotwórczości gamma; TEMN – profilowanie termiczne; NECN – profilowanie neutron-neutron nadtermiczne

Schmetic presentation of digitalized well logging measurments

Well logging types: EL – lateral electrical log (EL02, EL03, EL07, EL14, EL26); EN – normal electrical log (EN10, EN20); MRES – drilling fluid resistivity log; NEGR – neutron-gamma ray log; SP – spontaneous potential log; GGDN – gamma-gamma density log; CALI – caliper; GR – gamma ray log; TEMN – temperature log in stable conditions; NECN – epithermal neutron-neutron log

lizowanych krzywych (*composite log*), będących wynikiem prowadzonych w latach 90. XX w prac interpretacyjnych. Pracami zostały objęte głównie profilowania radiometryczne (neutron-gamma PNG oraz naturalnego promieniowania gamma PG), co do których zastosowano metodykę standaryzacji i normowania opisaną w pracach Szewczyka (1998, 2000). Wyniki tych pomiarów podawane są w jednostkach

umownych API_PGI, które teoretycznie pozwalają uzyskać porównywalność między wynikami z różnych otworów wiertniczych, pomimo różniących się warunków (średnica otworu, typ aparatury, wpływ płuczki). Dodatkowo w pliku tym znajduje się połączone profilowanie średnicy oraz jedno profilowanie elektryczne (fig. 19).

PROFILOWANIE KRZYWIZNY ORAZ STAN TECHNICZNY OTWORU

Profilowanie krzywizny w otworze Oświno IG 1 zostało wykonane z krokiem 25 m w trzech odcinkach pomiarowych. Wyniki tych profilowań znajdują się w dokumentacji wynikowej otworu, tylko w formie papierowej. Wyniki te wskazują na niewielkie wychylenia otworu w każdym z omawianych odcinków, przy czym wychylenie dla interwału I (240–1005 m) wynosi 2,73 m w kierunku północ-

nym, dla interwału II (1000–1985 m) wynosi 6,5 m w kierunku południowym oraz dla interwału III (2000–2240 m) wynosi 7,4 m w kierunku południowo-zachodnim.

Stan techniczny ścian otworu opisuje profilowanie średnicy (CALI). Zmiany średnicy w większości wypadków są ściśle związane z litologią oraz ówczesną techniką wiercenia.

OCENA JAKOŚCI DANYCH

Na jakość i wiarygodność pomiarów wpływ miały następujące czynniki:

1. Pomiary przeprowadzone w otworze Oświno IG 1 zostały wykonane starymi, niestandardizowanymi sondami (pomiar GR oraz NEGR w imp/min), co, w połączeniu z ich niewielką różnorodnością wykonanych krzywych, powoduje znaczne problemy z interpretacją wyników, szczególnie w stosunku do współcześnie prowadzonych badań.
2. Rejestracja pomiarów została wykonana analogowo a następnie scyfrowana, co czasami może spowodować wzrost niepewności pomiaru. Możliwe są również błędy innego typu np. połączone profilowanie EL07 podpisano jak EL09.
3. Dla każdego z interwałów pomiarowych podane są następujące parametry płuczki wiertniczej: rodzaj, ciężar właściwy, wiskoza oraz filtracja. Dodatkowo na znacznej części otworu wykonano profilowanie oporności płuczki (MRES).
4. Stan techniczny ścian otworu opisany pomiarem średnicomierzem jest zróżnicowany. Na głęb.: 230–300 m,

1020–1100 m oraz 1120–1280 m można zaobserwować znaczące powiększenie się średnicy otworu (ok. 6–7 cm w stosunku do nominalnej średnicy wiertła), co jest głównie związane z występowaniem mułowców marglistych oraz opok ze zróżnicowanymi domieszkami. Interwały wykazujące znaczące zmniejszenie średnicy (ok. 7 cm) odwiertu zaobserwowano na głęb.: 300–510 m, 2047–2100 m oraz 2160–2245 m, co jest związane z mułowcami marglistymi, łupkami mułowcowymi oraz piaskowcami. Takie zmiany w średnicy otworu mogą wpływać na wiarygodność wyników pomiarów.

5. W otworze Oświno IG 1 pobrano 892 skrzynie rdzenia, przy czym do głęb. 1250 m pobrano średnio 18% rdzenia, a w pozostałej części 100%, co znacząco wpływa na późniejszą interpretację krzywych geofizyki wiertniczej.
6. Ze względów technicznych zamiennie stosowano sondę elektryczną potencjałową o rozstawie B2.5A0.25M (EN10) oraz B4.0A0.5M (EN20).

Lidia DZIEWIŃSKA, Waldemar JÓŹWIAK

POMIARY ŚREDNICH PRĘDKOŚCI

Opracowanie pomiarów średnich prędkości w otworze Oświno IG 1 zostało wykonane na zlecenie Instytutu Geologicznego przez Zespół Pomiarów Prędkości w Dziale Geofizyki Wiertniczej Przedsiębiorstwa Poszukiwań Geofizycznych w Warszawie (Świtek, 1965). Pomiary wykonano w lutym 1965 r. Maksymalna głębokość pomiaru, przy końcowej głębokości otworu 2250 m osiagającej utwory jury dolnej, wynosiła 1925 m. Stratygrafia poziomu, w którym kończy się pomiar, dotyczy osadów oksfordu jury górnej. Poziom odniesienia (redukcji) pomiarów wynosi 88 m n.p.m., zaś wysokość wylotu otworu 90 m n.p.m.

Prędkość poniżej strefy małych prędkości (VSMP) określona została na podstawie hodografu pionowego i prędkości pod SMP przyjętych w otworach otaczających.

Metodyka pomiaru była determinowana ówczesnymi możliwościami technicznymi.

Prace pomiarowe w otworze wykonano aparaturą SS-24P oraz geofonem głębinowym SIS-49 produkcji radzieckiej. Interwał pomiaru ustalono na 50 m, od głęb. 75 m do 1925 m. Prace strzelnicze dokonane zostały z czterech otworów strzałowych przy użyciu dynamitu IG-3 i zapalników elektrycznych RALT-1.

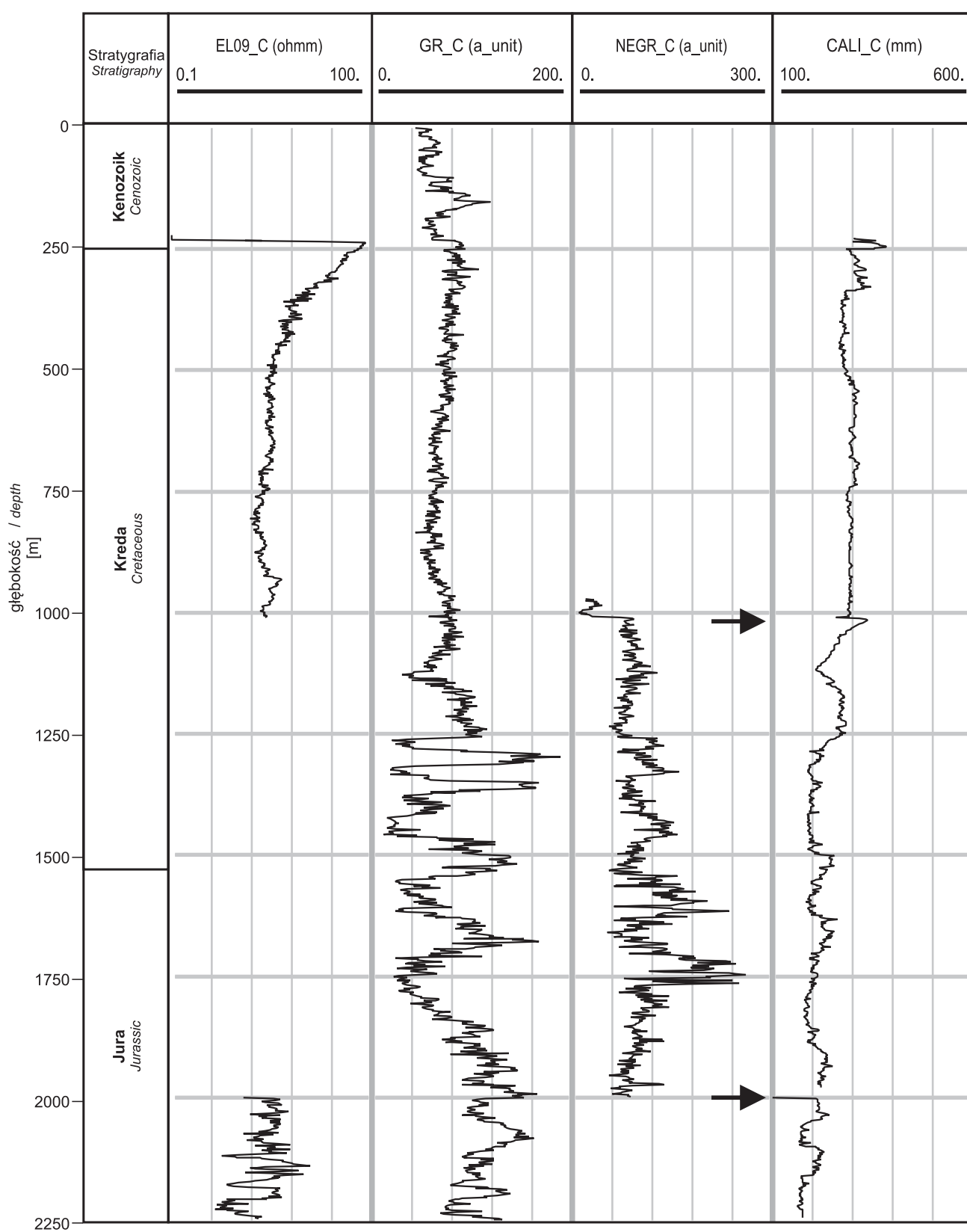


Fig. 19. Prezentacja profilowania oporności (EL09_C), unormowanego profilowania gamma (GR_C), profilowania neutron-gamma (NEGR_C) oraz profilowania średnic (CALI_C) (strzałkami zaznaczono miejsca połączeń odcinków pomiarowych)

Display of lateral electrical log (EL09_C), normalized natural gamma ray log (GR_C), neutron-gamma ray log (NEGR_C), caliper log (CALI_C) (arrows indicate connection points between separate log runs)

Punkty strzałowe (PS) zostały usytuowane według planu technicznego z uwzględnieniem warunków terenowych w sposób opisany poniżej. Dla PS1 przy odległości (d) PS od otworu 205 m i azymucie (A) 14° wysokość PS w stosunku do wylotu głębokiego otworu (N) wynosiła 0 m. Dla PS2 przy odległości 150 m i azymucie 104° wysokość PS w stosunku do głębokiego otworu wynosiła +1 m. Dla PS3 przy tej samej odległości PS od otworu i azymucie 284° wysokość PS w stosunku do głębokiego otworu wynosiła również +1 m. Dla PS4 przy odległości PS od otworu 1000 m i tym samym azymucie co wyżej, wysokość PS w stosunku do głębokiego otworu wynosiła 0 m.

Wielkość ładunków wybuchowych oraz głębokości strzelania z poszczególnych punktów strzałowych przedstawiają się następująco. Dla trzech pierwszych punktów strzałowych wielkość ładunku wahała się w granicach 2,5–5,0 kg a dla PS4 7,5–15 kg. Natomiast głębokości strzelania i przyjęte średnie głębokości strzelania (h_{sr}) były bardziej zróżnicowane i wynosiły odpowiednio: dla PS1: 2–3 m oraz 2 m, dla PS2: 2–12 m i parametr h_{sr} równy 3 m, dla PS3: odpowiednio 2–3 m i 3 m a dla PS4: 2–6 m i 2 m.

W celu kontroli zmiany głębokości strzelania na poszczególnych punktach strzałowych umieszczono, w odległości nie większej niż 5 m, geofony korekcyjne K_1 . W celu kontroli zmiany momentu wybuchu ustawiono geofon korekcyjny K_2 . Zadaniem geofonu korekcyjnego K_3 była kontrola zmęczenia otworu strzałowego.

Pierwsze impulsy od geofonu głębinowego rejestrowano na trzech pierwszych kanałach, stosując filtracje: 30–0, 45–0.

Zapisy geofonów korekcyjnych rejestrowano w sposób następujący: geofon korekcyjny K_1 na kanale 4, geofon korekcyjny K_2 na kanale 5 i odpowiednio geofon korekcyjny K_3 na kanale 6.

Do pomiaru użyto głębinowego kabla karotażowego, tróżyłowego typu KTO-4.

Skala ocen poszczególnych sejsmogramów, przyjmowana podczas oceny jakości materiałów, przedstawia się następująco:

5 – sejsmogram bardzo dobry – błąd $\Delta t = \pm 0,001$ s

4 – sejsmogram dobry – błąd $\Delta t = \pm 0,002$ s

3 – sejsmogram dostateczny – błąd $\Delta t = \pm 0,003$ s

2 – sejsmogram niedostateczny – błąd powyżej $\pm 0,003$ s

Wartość oceny określa: pewność korelacji, jakość i wyrazistość impulsu oraz maksymalny dopuszczalny błąd w określaniu wstąpienia fali.

Jakość materiału, a w związku z tym i pewność opracowania końcowego dla wszystkich punktów strzałowych, określono jako dobrą. Punkty strzałowe 1 i 2 obejmują interwał pomiaru od 75 do 1925 m. Punkt strzałowy 3 obejmuje interwał pomiaru od 325 do 1925 m. Natomiast punkt strzałowy 4 obejmuje interwał pomiaru od 975 do 1925 m. Ogółem zaliczono 113 punktów fizycznych.

Bardziej szczegółową ocenę poszczególnych punktów pomiarowych podaje odpowiednia rubryka w załączonych w dokumentacji wynikowej tablicach obliczeniowych.

Istotny etap interpretacji materiałów stanowi redukcja pomiarów.

Głębokość zredukowaną geofonu głębinowego od powierzchni ziemi H_r , czyli obliczenie odległości między rzutem średniej prędkości strzelania na pionową oś otworu, a położeniem geofonu głębinowego, określono wyrażeniem:

$$H_r = H_p - h_{sr} + N$$

gdzie:

H_p – głębokość zanurzenia geofonu głębinowego od powierzchni ziemi

h_{sr} – średni poziom strzelania

N – wysokość otworu strzałowego w stosunku do wylotu głębokiego otworu

Redukcję czasu obserwowanego do czasu pionowego przebiegu promienia sejsmicznego przeprowadzono wg wzoru podanego niżej, zakładając jednorodność ośrodka od punktu wybuchu do głębokości zanurzenia geofonu głębinowego.

$$t_r = \frac{H_r}{S} \cdot t_p$$

$$S = \sqrt{H_r^2 + d^2}$$

gdzie:

t_r – czas zredukowany

S – droga przebiegu promienia sejsmicznego

t_p – czas przebiegu promienia sejsmicznego po uwzględnieniu poprawek, tzn. czas zarejestrowany, do którego wprowadzono poprawkę uwzględniającą zmiany głębokości strzelania przy kolejnych wybuchach oraz zmiany momentu wybuchu związane z różną jakością zapalników

d – odległość punktu strzałowego od głębokiego otworu

Prędkość średnią (V_{sr}) obliczono według wyrażenia:

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

Poprawki czasowe na zmianę głębokości strzelania oraz zmianę momentu wybuchu wprowadzono według wskazań geofonów korekcyjnych K_1 i K_2 .

Przyjmując dla średniego poziomu strzelania czas t_{K1} geofonu koło punktu strzałowego jako czas oporowy, a pozostałe czasy tego geofonu jako t_{K1}^n określa się różnicę:

$$\Delta t_{K1} = t_{K1}^n - t_{K1}$$

Podobnie postępuje się z czasami zarejestrowanymi przez geofon przeznaczony do kontrolowania momentu wybuchu:

$$\Delta t_{K2} = t_{K2}^n - t_{K2}$$

Różnica $\Delta t = \Delta t_{K1} - \Delta t_{K2}$ jest poprawką czasową wprowadzoną do czasu obserwowanego t_{ob}

$$t_p = t_{ob} + \Delta t$$

Poprawkę czasową Δt na sprowadzenie średnich poziomów strzelania do jednego odniesienia określono, dzieląc różnicę między wysokością nad poziomem morza przyjętego poziomu odniesienia, a wysokością nad poziomem morza średniego poziomu strzelania przez prędkość fali w odpowiedniej warstwie przypowierzchniowej.

Wyniki pomiarów przedstawiają w dokumentacji wynikowej cztery hodografy. Trzy pierwsze przebiegają zgodnie. Hodograf otrzymany z PS-4 ($d = 1000$ m) odbiega znacznie od trzech pierwszych. Różnica świadczy o anizotropii ośrodka i krzywoliniowego przebiegu promienia sejsmicznego.

Charakter zmian prędkości w funkcji głębokości zilustrowano w tabeli i na wykresach. Wartości h , t_r i V_{sr} umieszczono w tabeli 18. Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do konstrukcji krzywych prędkości średnich (fig. 20A) i hodografu pionowego (fig. 20B).

Przedstawione wykresy (fig. 20) wskazują na zależność między wzrostem głębokości a czasem rejestracji i prędkością średnią. Krzywa prędkości średnich (fig. 20A) obejmująca utwory kredy i jury górnej wykazuje systematyczny wzrost prędkości średnich wraz z głębokością. Do głębokości końcowej pomiaru utrzymuje się prawie stała wartość gradientu dla tego parametru.

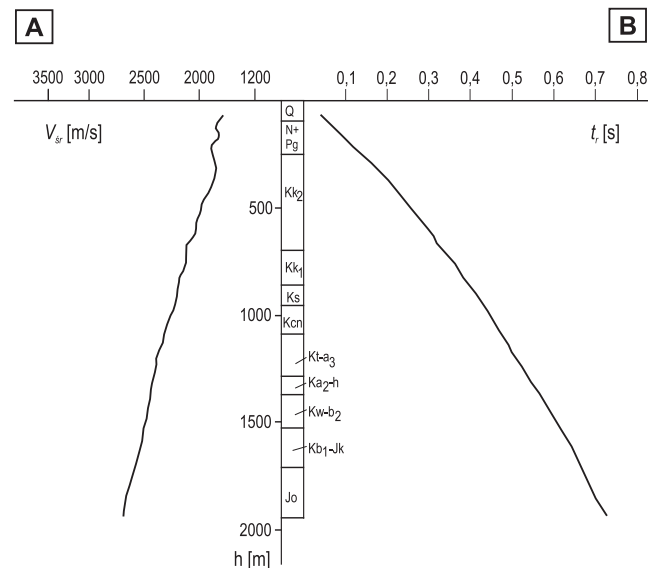


Fig. 20. Wykres prędkości średnich (A) i hodograf pionowy (B) (poziom odniesienia 90,0 m n.p.m.)

t_r – średni czas zredukowany; V_{sr} – prędkość średnia; h – głębokość; pozostałe objaśnienia jak w figurze 15

Average seismic velocity (A) and travel-time curve (B)
(reference level 90,0 m a.s.l.)

t_r – average reduced time; V_{sr} – average velocity; h – depth; for other explanations see Figure 15

Tabela 18

Zestawienie wartości głębokości (h), średniego czasu zredukowanego (t_r) i prędkości średniej (V_{sr})

The values of depth (h), reduced time (t_r) and average velocity (V_{sr})

h [m]	t_r [s]	V_{sr} [m/s]
73	0,041000	1780
123	0,066500	1849
173	0,095000	1821
223	0,118000	1889
323	0,175000	1845
423	0,222000	1905
473	0,240333	1968
523	0,262667	1991
573	0,283000	2024
623	0,305667	2038
673	0,319333	2107
723	0,341333	2118
773	0,363333	2127
823	0,378000	2177
873	0,398333	2191
923	0,418000	2208
973	0,435667	2233
1023	0,448667	2280
1073	0,464333	2310
1123	0,482667	2326
1173	0,494333	2372
1223	0,512333	2387
1273	0,529000	2406
1323	0,544333	2430
1373	0,563667	2435
1423	0,578667	2459
1473	0,595333	2474
1523	0,609000	2500
1573	0,626000	2512
1623	0,640333	2534
1673	0,652333	2564
1723	0,664333	2593
1773	0,676000	2622
1823	0,687667	2650
1873	0,700667	2673
1923	0,716000	2685

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 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, wyrównując zmierzone czasy zredukowane 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 przez zastosowanie operacji splotu z filtrem trójkątnym, stosując 20 razy filtry 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 m/s lub błędami pomiarowymi. Kolejne powtarzanie wymienionych operacji powoduje zaokrąglenie załamów (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 w. w Zakładzie Geofizyki PIG do potrzeb interpretacji refleksyjnych prac sejsmicznych. Bank ten przekazano do CBDG PIG-PIB (baza otworowa Lasy).

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 prędkości interwałowych. Przy tym sposobie obliczeń wyraźnie zostają wydzielone 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 przedstawiono

Tabela 19

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

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

—————→

w tabeli 19. Krzywe prędkości wygładzonych, interwałowych i kompleksowych przedstawiono na figurze 20.

Zestawienie wykresów prędkości z profilem geologicznym wiercenia umożliwia powiązanie zmian prędkości z kompleksami stratygraficzno-litologicznymi w otworze.

Wykresy prędkości wygładzonych, interwałowych i kompleksowych odwzorowują profil geologiczny wiercenia Oświno IG 1. Prędkość jako pochodna czasu jest zależna od zmian w profilu geologicznym przewierconych warstw. Ilość 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 określenia granic między nimi. Na krzywych można wyznaczyć szereg kompleksów o dosyć jednolitej i zbliżonej charakterystyce prędkościowej. W poniższym opisie wyników głębokości i odpowiadające im prędkości zostały podane w zaokrągleniu odpowiednio do 10 m i 10 m/s.

Na całej głębokości pomiaru krzywe prędkości wykazują tendencję wzrostową. Pierwszy odcinek do głęb. ok. 250 m charakteryzuje prawie stała prędkość kompleksowa 1830 m/s. Następnie, zgodnie z obrazem krzywej prędkości wygładzonych, obserwuje się w postaci kilku kolejnych stopni systematyczny wzrost kompleksowych i interwałowych prędkości wraz z głębokością. Można to wiązać, jak wskazują dane otworowe, z przejściem utworów wykształconych w postaci piasków w osady mułowca marglistego. Na głęb. 540 m prędkość kompleksowa osiąga wartość 2320 m/s, zaznaczając jednocześnie pierwszy większy kontrast prędkości określony liczbą 410 m/s. Wzrost prędkości kompleksowej do 2730 m/s wydziela około 80-metrową serię kampanu górnego kredy górnej. Duża częstotliwość zmian wartości prędkości w obrębie kampanu górnego wskazuje na zróżnicowanie składu litologicznego budujących go warstw geologicznych, generalnie mułowca marglistego lub opok marglistych.

Poniżej, po zmniejszeniu kąta nachylenia na wykresie prędkości wygładzonych, następuje zmiana charakteru wszystkich trzech krzywych prędkości. Ponad 300-metrowy (620–1000 m) kompleks charakteryzuje się małym zróżnicowaniem wartości prędkości. Interwał zmian prędkości kompleksowych mieści się w granicach 2560–2800 m/s, z pośrednimi wartościami 2590 i 2640 m/s, co daje w wyniku wartość średnią 2700 m/s. Analogiczny zakres zmian, oscylujący wokół wartości 2750 m/s, wykazują prędkości interwałowe. Stanowi to odzwierciedlenie dość monotonnego, z przewagą opok, wykształcenia litologicznego tej części kredy gór-

Tabla 19 cd.

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
1	2	3	4
20	1821	1822	1820
40	1821	1822	1820
60	1821	1822	1824
80	1821	1822	1826
100	1821	1822	1824
120	1818	1822	1818
140	1818	1822	1813
160	1818	1842	1812
180	1818	1842	1822
200	1818	1842	1844
220	1946	1842	1880
240	1946	1842	1925
260	1946	1842	1972
280	1946	2024	2015
300	1946	2024	2048
320	2107	2024	2073
340	2107	2024	2093
360	2107	2024	2115
380	2107	2135	2145
400	2107	2135	2183
420	2286	2135	2227
440	2286	2135	2272
460	2286	2321	2312
480	2286	2321	2343
500	2286	2321	2367
520	2430	2321	2387
540	2430	2321	2411
560	2430	2734	2441
580	2430	2734	2478
600	2430	2734	2520
620	2578	2734	2559
640	2578	2561	2585
660	2578	2561	2594
680	2578	2561	2590
700	2578	2561	2581
720	2600	2589	2577
740	2600	2589	2585
760	2600	2589	2603
780	2600	2589	2628
800	2600	2589	2651
820	2688	2636	2667
840	2688	2636	2678
860	2688	2636	2690
880	2688	2796	2712
900	2688	2796	2752
920	2936	2796	2814
940	2936	2796	2894
960	2936	2796	2983

1	2	3	4
980	2936	2796	3067
1000	2936	3135	3133
1020	3189	3135	3174
1040	3189	3135	3193
1060	3189	3135	3198
1080	3189	3135	3200
1100	3189	3185	3202
1120	3536	3185	3205
1140	3536	3185	3201
1160	3536	3185	3186
1180	3536	3185	3160
1200	3536	3185	3125
1220	3046	3185	3089
1240	3046	3019	3056
1260	3046	3019	3028
1280	3046	3019	3006
1300	3046	3019	2990
1320	3000	3019	2982
1340	3000	3019	2984
1360	3000	3019	2998
1380	3000	3019	3024
1400	3000	3019	3061
1420	3163	3019	3104
1440	3163	3019	3148
1460	3163	3163	3188
1480	3163	3163	3222
1500	3163	3163	3252
1520	3363	3163	3283
1540	3363	3514	3323
1560	3363	3514	3379
1580	3363	3514	3456
1600	3363	3514	3554
1620	3834	3514	3669
1640	3834	3514	3790
1660	3834	3514	3514
1680	3834	4022	4022
1700	3834	4022	4022
1720	4112	4022	4022
1740	4112	4022	4022
1760	4112	4022	4022
1780	4112	4022	4022
1800	4112	4022	4005
1820	3761	4022	3910
1840	3761	4022	3806
1860	3761	4022	3707
1880	3761	3761	3626
1900	3761	3761	3573
1920	3761	3761	2678

nej. W głębszej partii tego pakietu (860–1000 m) o prędkości kompleksowej 2800 m/s obserwuje się ponowny wzrost gradientu na wykresie prędkości wygładzonych. Zmianę tę jeszcze wyraźniej podkreśla przebieg krzywej prędkości interwałowych. Na podstawie korelacji z profilem geologicznym wiercenia w części obejmującej santon, stwierdza się występowanie obok opok także margli mulastych.

Kontrast prędkości kompleksowej o wartości 340 m/s powodujący wzrost prędkości z 2800 do 3140 m/s wyznacza górną granicę następnego kompleksu, która zgodnie z profilem geologicznym wiercenia usytuowana jest w obrębie przyspągowych warstw santonu, odznaczających się prawdopodobnie wzrostem węglanowości w stosunku do leżących powyżej osadów reprezentowanych przez margle. Cały ten pakiet skał, o ponad 500-metrowej miąższości (1000–1520 m), obejmujący wg. profilu geologicznego wiercenia dużą część koniak, turon, cenoman i alb górny oraz kredę dolną charakteryzuje się ponownie małą zmiennością wartości prędkości kompleksowej. Oscyluje ona kolejno w granicach 3140–3190–3020–3160 m/s, wyznaczając wartość średnią ok. 3100 m/s. Mały interwał zmian (3020–3190 m/s) można tłumaczyć dużym podobieństwem skał lub małą miąższością zróżnicowanych litologicznie warstw, co w efekcie nie daje większych kontrastów prędkości. Wyjątek stanowi tu krzywa prędkości interwałowych, która w przedziale głębokościowym odpowiadającemu w profilu wiercenia utworom w obrębie turonu zaznacza wzrost wartości do 3540 m/s. Przyczynę tej anomalii należy wiązać z występowaniem bardziej wapiennych warstw tworzących kontrasty prędkości z zalegającymi, jak wynika z profilu litologicznego wiercenia, powyżej mulastymi opokami a poniżej osadami reprezentowanymi głównie przez iłowce i opoki margliste. Niewielkie obniżenie prędkości kompleksowej do wymienionej wyżej wartości 3020 m/s, podkreślone też zmianą w przebiegu krzywej wygładzonej, zaznacza granicę w przyspągowych utworach turonu. Prędkość ta według profilu geologicznego charakteryzuje też cenoman kredy górnej oraz kolejne piętra kredy dolnej od albu górnego do walanżynu górnego i części dolnego włącznie. Ponowny wzrost prędkości kompleksowej i interwałowej do wartości 3160 m/s dotyczy pozostałej części walanżynu dolnego oraz beriasu górnego i środkowego. Obraz krzywych prędkości odwzorowuje wykształcenie litologiczne osadów kredy dolnej, na które składają się naprzemianlegle zalegające warstwy mułowców, iłowców i piaszczystych, w tym piaszczystych formacji mogileńskiej. Utwory hoterywu o niewielkiej miąższości, wykształcone w postaci iłowców, nie znajdują odzwierciedlenia na krzywych prędkości. Natomiast wymieniony wyżej wzrost parametru prędkości do 3160 m/s na głęb. ok. 1440 m wskazuje miejsce zmiany składu litologicznego osadów w walanżynie dolnym. Zgodnie z danymi z otworu są to w górnej, około 50-metrowej części, głównie osady piaszczysto-mułowcowe, a w dolnej, około 80-metrowej, przeważają iłowce z wkładkami piaszczystymi. Na wykresie prędkości interwałowych granica ta zaznacza się ok. 40 m wyżej, czyli w miejscu ponownego wzrostu gradientu na krzywej prędkości wygładzonej.

Następny wzrost prędkości kompleksowej do wartości 3510 m/s, wyznaczającej jednocześnie kolejny główny kompleks prędkości, notuje się na głęb. ok. 1520 m, która odpowiada granicy związanej ze stropem jury górnej (strop beriasu dolnego i środkowego). W przedziale głębokościowym z wykonanymi pomiarami w utworach jury górnej (do 1925 m) krzywa prędkości kompleksowych jest wyraźnie dwudzielna, co wskazuje na znaczne różnice w składzie litologicznym w obrębie budujących go serii geologicznych. Część górna kompleksu, o łącznej miąższości ok. 140 m, wykształcona głównie w postaci margli i łupków marglistych, wydziela utwory beriasu dolnego (ok. 50 m) i tytonu (ok. 90 m) stanowiące pierwszy podkompleks. Na głęb. ok. 1660 m został zarejestrowany najsilniejszy dla tego otworu kontrast prędkości kompleksowej wynoszący ponad 500 m/s, który oddziela drugi podkompleks. Towarzyszy temu wzrost wartości parametru prędkości do 4020 m/s wyjaśniany znacznym zwiększeniem udziału utworów wapiennych w składzie litologicznym osadów. Wartość ta charakteryzuje dolne warstwy kimerydu oraz oksford, o łącznej miąższości ok. 200 m. Krzywa prędkości interwałowych doprecyzowuje głębokość zalegania najbardziej wapnistej serii do ok. 100 m w przedziale 1710–1810 m. Wartość prędkości kompleksowej wynosi w niej ok. 4110 m/s, w kontraście z warstwami sąsiadującymi o prędkościach odpowiednio: ok. 3830 m/s w górnej i 3760 m/s w dolnej. Na głęb. 1860 m obniżenie prędkości kompleksowej o 260 m/s do wartości 3760 m/s koreluje się z granicą w przystropowych warstwach piaszczystych utworów (z domieszką mułowca) oksfordu dolnego. Powyższe informacje są zgodne z przebiegiem krzywej prędkości warstwowej, która w końcowym odcinku pomiarowym wykazuje wyraźną tendencję malejącą.

Obliczone prędkości interwałowe, prędkości kompleksowe oraz krzywe prędkości wygładzonych, a także dane o przekroju litologiczno-stratygraficznym wiercenia Oświno IG 1, pozwalają na wydzielenie kilku kompleksów o możliwie jednolitej i zbliżonej charakterystyce prędkościowej. Analiza wyników wykonanych pomiarów prędkości w otworze zaprezentowana na wykresach (fig. 20 i 21) oraz w tabelach 17 i 18 upoważnia do wydzielenia czterech głównych kompleksów prędkościowych, które odpowiednio dla poszczególnych utworów geologicznych przedstawiają się w sposób następujący.

I kompleks obejmuje czwartorzęd, miocen, paleogen i kampan górny do głęb. 620 m z podziałem na dwa podkompleksy: a) do głęb. 250 m z prędkością kompleksową 1830 m/s i b) poniżej 250 m ze średnią prędkością 2290 m/s;

II kompleks do głęb. 1000 m o średniej prędkości kompleksowej 2660 m/s obejmuje dolne warstwy kampanu górnego, kampan dolny oraz santon;

III kompleks do głęb. 1520 m o średniej prędkości kompleksowej 3100 m/s dotyczy pozostałych pięter kredy górnej (koniak, turon, cenoman) oraz prawie całej kredy dolnej (alb–berias górny);

IV kompleks do głębokości wykonania pomiaru (1925 m) wydzielający berias środkowy i dolny oraz całą jurę górną,

Fig. 21. Wykresy prędkości wygładzonych (V_w), interwałowych (V_i) i kompleksowych (V_k) (poziom odniesienia 90,0 m n.p.m.)

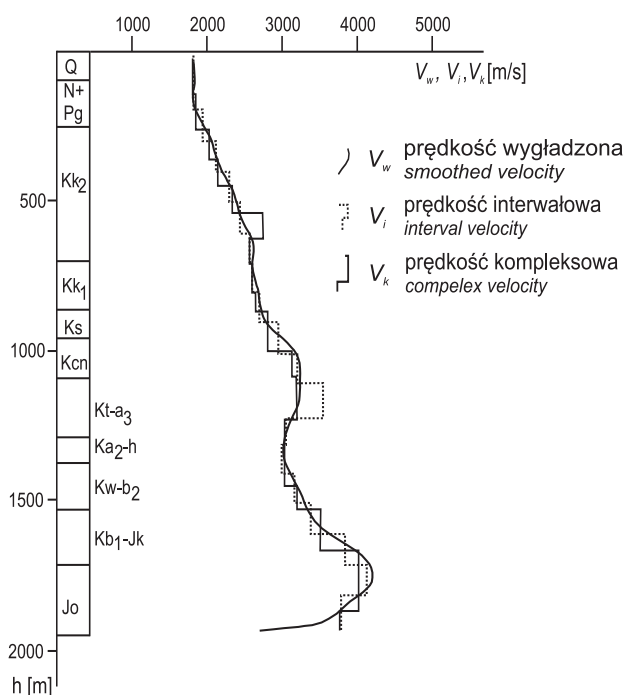
Pozostałe objaśnienia jak w figurze 15

Smoothed velocity (V_w), interval velocity (V_i) and complex velocity V_k (reference level 90,0 m a.s.l.)

For other explanations see Figure 15

składa się z dwóch podkompleksów, które charakteryzują generalnie dwie różne średnie prędkości. Górna obejmująca osady od beriasu dolnego do kimerydu górnego (1520–1700 m) posiada wartość 3510 m/s. Wartość dolna odnosząca się do warstw kimerydu dolnego i oksfordu wynosi 4020 m/s. Uwzględnienie końcowego odcinka pomiaru z ujemnym kontrastem prędkości obniża ją do 3960 m/s.

Reasumując krzywe sejsmicznych średnich prędkości kompleksowych, interwałowych i na wykresie prędkości wygładzonych odzwierciedlają wpływ wykształcenia litologicznego kompleksu kredowo-jurajskiego na rozkład prędkości sejsmicznych pomierzonych w otworze Oświno IG 1, co pozwala wyznaczyć poszczególne wyżej wymienione kompleksy prędkościowe. Otrzymane wyniki stanowią znaczący materiał do uaktualnienia modelu prędkości niezbędnego do prawidłowego głębokościowego opracowania materiałów sejsmicznych z rejonu wiercenia Oświno IG 1 i jego otoczenia. Uwzględnienie w rozkładach prędkości wyników



z pomiarów w otworze wiertniczym ułatwi korelację i porządkowanie poziomów refleksyjnych na przekrojach sejsmicznych w rejonie Świnoujście-Koszalin do poszczególnych pięter kredy i jury górnej do głęb. 1925 m.