WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Andrzej GŁUSZYŃSKI, Sylwia KIJEWSKA

BADANIA SEJSMICZNE W OKOLICY OTWORU WIERTNICZEGO WILGA IG 1

Basen lubelski był jednym z głównych obszarów intensywnych poszukiwań węglowodorów w Polsce. Dlatego w przeciągu ostatnich czterech dekad w pobliżu otworu Wilga IG 1 wykonano kilkanaście profili sejsmiki 2D (Brauer i in., 1976; Górski i in., 1986; Jurek, 1994; Wilk, Zakrzyka, 1999; Wilk, 2010; CBDG, 2018), a w 2012 r. pomierzono także zdjęcie sejsmiczne Potycz-Wilga 3D (Nowak-Koszla, 2016, 2017). Do przedstawienia wgłębnej budowy geologicznej wybrano, wykonany w 1975 r. w bezpośrednim sąsiedztwie otworu Wilga IG 1 przez Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych, regionalny profil sejsmiczny 1-4-75W (Brauer i in., 1976) oraz profil sejsmiczny pochodzący ze zdjęcia Potycz-Wilga 3D, pomierzony przez Geofizykę Toruń w 2016 r. i udostępniony przez zleceniodawcę – firmę Orlen Upstream (fig. 55, 56).

Interpretacja profilu sejsmicznego 1-4-75 wg Żelichowskiego (1979) przedstawia widoczne na nim struktury jako strome dyslokacje, głównie o charakterze uskoków normalnych. W świetle najnowszych interpretacji danych sejsmicznych (Krzywiec i in., 2017a, b), basen lubelski, określany poprzednio jako rów lubelski (Żelichowski, 1972), ma charakter pasma fałdowo-nasuwczego, powstałego w trakcie orogenezy waryscyjskiej (Aleksandrowski, Mazur, 2017). Przejawem kompresyjnych deformacji waryscyjskich jest z pewnością strefa nasunięcia Kocka (fig. 55, 56) (Tomaszczyk, Jarosiński, 2017), która oddziela północno-wschodnią cześć basenu lubelskiego, gdzie platforma wschodnioeuropejska jest podniesiona, od części południowo-zachodniej, gdzie występuje na znacznych głębokościach (Krzywiec i in., 2017a).

Utwory podpermskie (dewon i karbon), nawiercone w otworze Wilga IG 1, znajdują się w południowo-zachodnim, stropowym skrzydle nasunięcia Kocka i zapadają łagodnie w kierunku południowym/południowo-południowo-zachodnim. Nasunięcie Kocka, tak jak w jego północno-wschodniej części, jest zakorzenione najprawdopodobniej

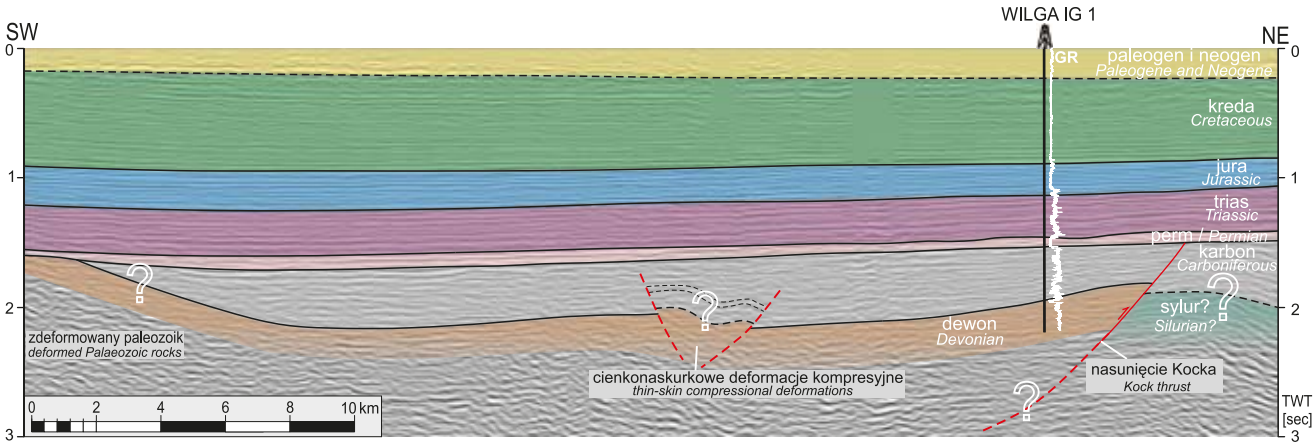


Fig. 55. Interpretacja fragmentu profilu sejsmicznego 1-4-75W

Interpretation of part of 2D seismic section 1-4-75W

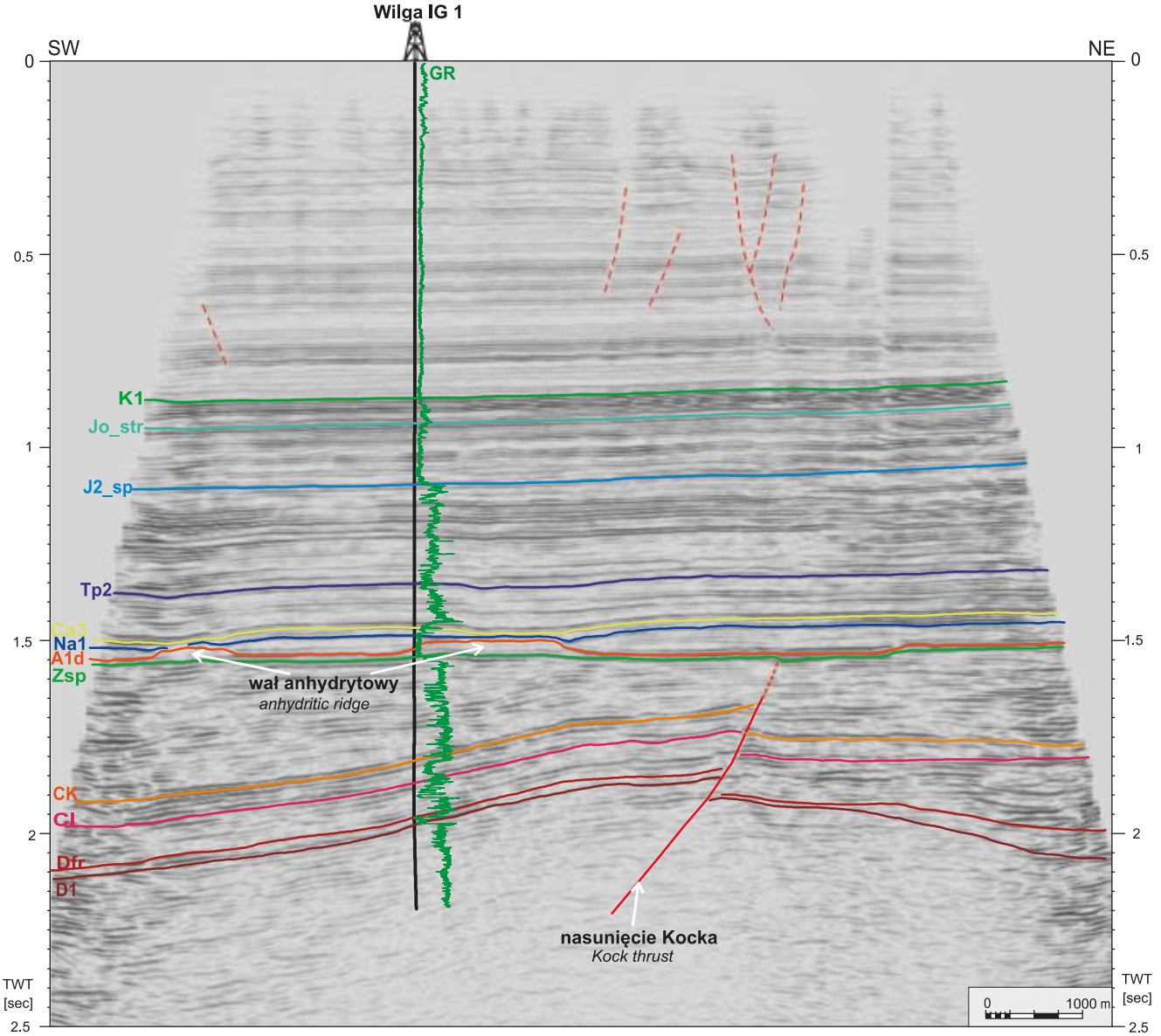


Fig. 56. Interpretacja profilu sejsmicznego ze zdjęcia sejsmicznego Potycz-Wilga 3D

Interpretowane granice sejsmiczne: K1 – strop piaskowców kredy dolnej, Jo_str – strop wapieni oksfordzkich, J2_sp – spąg jury środkowej / strop utworów piaskowcowych dolnej jury, Tp2 – strop pstrego piaskowca, Ca3 – strop dolomitu płytowego, Na1 – strop najstarszych soli cechsztyńskich, A1d – strop anhydrytu dolnego, Zsp – spąg utworów cechsztynu, CK i CI – strop utworów piaskowcowych karbonu, odpowiadających kompleksom I i K wg Kaczyńskiego (1974), Dfr – strop węglanowych facji franu, D1 – strop erozyjnych ilasto-mułowcowo-piaszczystych utworów dewonu dolnego. Źródło danych sejsmicznych: ORLEN Upstream Sp. z o.o. Interpretacja: Geofizyka Toruń SA. Autor opracowania: E. Nowak-Koszla. Interpretację autorów rozdziału zaznaczono liniami przerywanymi

Interpretation of 2D seismic section extacted from Potycz-Wilga 3D seismic

Interpreted seismic horizons: K1 – top of Lower Cretaceous sandstones, Jo_str – top of Oxfordian carbonates, J2_sp – bottom of Middle Jurassic/top of sandstone deposits of Lower Jurassic, Tp2 – top of Buntsandstein, Ca3 – top of Platy Dolomite, Na1 – top of Werra Salt, A1d – top of Lower Anhydrite, Zsp – bottom of Zechstein, CK i CI – top of Carboniferous sandy deposits, equal to I and K complex acc. to Kaczyński (1984), Dfr – top of Frasnian carbonate facies, D1 – top of clayey-muddy-sandy deposits of Lower Devonian. Source: ORLEN Upstream Sp. z o.o. Interpretation: Geofizyka Toruń SA. Preparation: E. Nowak-Koszla. Dashed lines marks author's of chapter interpretations

w sylurskich osadach ilastych i rozcina utwory dewonu i karbonu, kontynuując się do powierzchni podpermskiej. W pozostałej, lepiej rozpoznanej części basenu lubelskiego, nasunięcie Kocka występuje ponad uskokiem Kocka – starszą od nasunięcia Kocka stromą dyslokacją, rozcinającą utwory starszego paleozoiku i jego podłoża (Głuszyński i in., 2015; Krzywiec i in., 2017a; Tomaszczyk, Jarosiński, 2017). Jakość zapisu sejsmicznego na analizowanych profilach nie pozwala jednak na zinterpretowanie obecności uskoku Kocka, prawdopodobnie występującego poniżej nasunięcia Kocka.

Kompresyjne deformacje waryscyjskie zaznaczają się także w zapisie sejsmicznym ok. 10 km na południowy zachód od otworu Wilga IG 1, ze względu na słabą jakość zapisu, są trudne do szczegółowego rozpoznania (fig. 55). Najprawdopodobniej są one efektem deformacji cienkonaskórkowych – odkłuć zakorzenionych w utworach dewonu środkowego lub dolnego (Antonowicz i in., 2003; Tomaszczyk, 2015). Struktury te są przedłużeniem ciągu antyklin Abramowa–Ciecierzyna–Mełgwi (Tomaszczyk, 2015), przebiegających na kierunku północny zachód – południowy wschód w środkowej części basenu lubelskiego.

Utwory permsko-mezozoicznego piętra strukturalnego zapadają łagodnie ku południowemu zachodowi i charakteryzują się brakiem większych zaburzeń tektonicznych. Nowe dane sejsmiczne 3D pozwoliły natomiast na rozpoznanie uskoków normalnych, rozcinających utwory kredy górnej w pobliżu otworu Wilga IG 1 (fig. 56). Możliwe było również uszczegółowienie budowy cechsztynu i rozpoznanie zasięgu tzw. wałów anhydrytowych, zbudowanych z utworów anhydrytu górnego (A1g). W świetle nowych danych otwór wiertniczy Wilga IG 1 jest zlokalizowany na skłonie takiego wału (fig. 56).

Serdeczne podziękowania składamy firmie Orlen Upstream Sp z o.o. za udostępnienie profilu sejsmicznego ze zdjęcia sejsmicznego Potycz-Wilga 3D.

Teresa ADAMCZAK-BIAŁY

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

CEL BADAŃ

Przedstawiony opis pomiarów w zakresie geofizyki otworowej i ich wyników wykonano na podstawie dokumentacji wynikowej otworu badawczego Wilga IG 1 (Niemczycka, Żelichowski, 1975) oraz zbiorów scyfrowanych danych pomiarowych, znajdujących się w zasobach CBDG (2018). Badania geofizyczne w otworze Wilga IG 1 przeprowadzono w okresie od 17.03.1974 r. do 5.06.1975 r. Wykonawcą był I Zespół Geofizyki Wiertniczej z bazy w Lublinie i III Zespół Geofizyki Wiertniczej z bazy w Poznaniu Przedsiębiorstwa Poszukiwań Geofizycznych. Pomiary akustyczne zrealizowało Przedsiębiorstwo Geofizyki Górnictwa Naftowego z Torunia.

Celem badań geofizycznych wykonanych w otworze wiertniczym Wilga IG 1 było:
- określenie litologii i stratygrafii przewierconych utworów,
- wydzielenie poziomów o właściwościach kolektorskich ocena ich parametrów fizycznych i zbiornikowych,
- wykonanie korelacji z pobliskimi otworami,
- wydzielenie warstw węgla kamiennego,
- wytypowanie horyzontów do opróbowania,
- określenie stanu technicznego odwiertu.

ZAKRES WYKONANYCH BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Pomiary geofizyczne zrealizowano w interwale głęb. 28,0–3550,0 m w postaci siedmiu odcinków pomiarowych. Badania przeprowadzono z użyciem aparatury analogowej produkcji radzieckiej typu AKSŁ7. Pomiary radiometryczne wykonano sondami typu: SP-62, DRST, DRST-2, SGO-4, LSE-3 lub LSE-4, nieposiadającymi standaryzacji i kalibracji. Dla pomiarów radiometrycznych wykonywano pomiar kontrolny w interwale kilkudziesięciu metrów, zazwyczaj w najgłębszej części badanego odcinka otworu. Pomiary akustyczne przeprowadzono sondami USBA 21/T lub USBA-21/II.

Podstawowy zestaw pomiarowy:
- profilowanie średnicy otworu PŚr,
- profilowanie krzywizny otworu PK,
- profilowanie gamma PG,
- profilowanie neutron-gamma PNG,
- profilowanie potencjałów naturalnych PS, grad PS,
- profilowanie oporności gradientowe POg (EL),
- profilowanie oporności potencjałowe POp (EN),
- profilowanie akustyczne PA,
- pomiar temperatury termometrem maksymalnym T_{max}.

Zestaw uzupełniający:
- sondowanie oporności SOg (EL02, EL03, EL14, EL26),
- profilowanie neutron termiczne PNNt,
- profilowanie neutron nadtermiczne PNNnt,
- profilowanie gamma-gamma gęstościowe PGG,
- profilowanie oporności sterowane POst,
- mikroprofilowanie oporności sterowane mPOst.

Każdorazowo na całym odsłoniętym odcinku otworu wykonywano pomiary PŚr, POg i PS. W interwale głęb. 28,0–293,0 m ze względu na zły stan techniczny zrealizowano tylko pomiary PO i PS. W otworze Wilga IG 1 wykonano jedynie pomiar temperatury dna odwiertu termometrem maksymalnym. W dokumentacji wynikowej (Niemczycka, Żelichowski, 1975) znajduje się graficzne zestawienie uzyskanych wyników tego badania w wersji papierowej. W celu oceny stanu technicznego wiercenia zrealizowano profilowanie krzywizny oraz średnicy otworu. Stan zacementowania odwiertu badano za pomocą profilowania akustycznego. W tabeli 27 zaprezentowano interwały głębokościowe wykonanych profilowań geofizyki otworowej (wg rzeczywistej dostępności materiałów w formie papierowej w Narodowym Archiwum Geologicznym) wraz z datą ich wykonania oraz głębokością i średnicą otworu podczas realizacji pomiarów. Ograniczony asortyment badań geofizycznych wykonanych w otworze wiertniczym Wilga IG 1 oraz ich jakość zdecydowanie odbiegają od obecnie realizowanych zestawów pomiarów geofizyki wiertniczej i standardu ich jakości.

Tabela 27

Wykaz badań geofizyki otworowej wykonanych w otworze Wilga IG 1

List of well logs from the Wilga IG 1 borehole

Data badań Date of measurement	Rodzaj pomiaru (skrót) Type of measurement (abbreviated)	Interwał głęb. pomiaru [m] Depth interval	Głębokość otworu podczas wykonywania pomiarów [m] Borehole depth during measurements	Średnica otworu [mm] Caliper
1	**2**	**3**	**4**	**5**
17–18.03.1974	**PS (SP)**	28,75–288,50	300,0	438,0
	PO (EL09)	30,00–284,75		
	PO (EN10)	25,75–284,25		
	PAc: A1	41,00–311,00		
	PAc: A2	42,00–302,00		
11–12.04.1974	**PG**	0,25–1157,50	1168,0	308,0
	PNG	3,75–1159,75		
	PK	250,00–1160,00		
	PSr	267,50–1154,50		
	PS (SP)	303,50–1154,75		
	PO (EL09)	282,50–1159,50		
	PO (EN10)	282,75–1159,75		
	PA: DT	301,25–1157,75		
	PA: T1	301,75–1157,75		
23–24.04.1974	**PSr**	276,25–1402,50	1419,6	308,0
	PS (SP)	302,25–1400,50		
	PO (EL09)	287,00–1405,50		
	PK	1100,00–1410,00		
	PG	1040,50–1405,50		
	PNG	1040,25–1405,75		
	PO (EL02)	1016,25–1407,25		
	PO (EL03)	1016,50–1406,75		
	PO (EL09)	1015,00–1406,00		
	PO (EL14)	1015,75–1406,50		
	PO (EL26)	1015,50–1405,75		
	PO (EN10)	1050,50–1404,75		
	PO (EL03)	1040,00–1406,00		
	POst	1040,00–1406,00		
	mPOst	1040,00–1406,00		
8–10.07.1974	PNG	1040,00–1407,00	–	308,0
	PO (EL56)	1100,00–2225,00		
	POs	1100,00–2130,00		
	PK	1350,00–2250,00		

Tabela 27 cd.

1	2	3	4	5
cd. 8–10.07.1974	**PSr**	1357,00–2251,50	–	308,0
	PG	1356,25–2257,50		
	PG	1457,25–1558,25		
	PNG	1356,25–2253,75		
	PNG	2000,25–2257,50		
	PNNnt	1458,50–1560,50		
	PS (SP)	1356,25–2249,75		
	PO (EL02)	1356,25–2258,75		
	PO (EL03)	1356,50–2258,75		
	PO (EL09)	1356,25–2257,50		
	PO (EL14)	1356,25–2255,50		
	PO (EL26)	1356,25–2255,75		
	PO (EN10)	1356,50–2253,25		
	POst (LL3)	1356,25–2257,50		
12.07.1974	**PO (EL09)**	275,25–1370,25	2274,0	308,0
	PA: DT	289,25–2263,75		
	PAc: T1	42,50–311,00		
	PAc: A1	41,00–311,00		
	PAc: A2	42,00– 302,00		
9.09.1974	PAc: T1	88,50–2273,50	2592,3	216,0
	PAc: A1	87,00–2276,00		
	PAc: A2	89,50–2276,00		
17–21.09.1974	PK	2200,00–2625,00	2625,0	216,0
	PSr	2260,25–2623,50		
	PSr x 3	2262,20–2624,50		
	PG	2200,75–2615,50		
	PG	2260,25–2615,50		
	PNG	2200,25–2616,75		
	PNNnt	2262,25–2615,50		
	PS (SP)	2262,25–2617,50		
	grad PS	2262,50–2619,50		
	PO (EL02)	2251,00–2619,75		
	PO (EL03)	2250,50–2619,50		
	PO (EL09)	2260,25–2619,50		
	PO (EL14)	2260,25–2619,50		
	PO (EL26)	2251,00–2619,75		
	PO (EN10)	2260,25–2619,50		
	POst (LL3)	2260,25–2620,50		
	mPOst	2262,50–2622,50		
	PA: DT	2242,25–2624,75		
	PA: T1	2243,25–2625,75		
7.11.1974	PA: DT	2265,00–2838,00	–	–
22–26.11.1974	PK	2550,00–2940,00	2943,0	216,0
	PSr	2570,25–2941,50		
	PSr	2263,50–2943,00		
	PG	2263,50–2315,00		
	PG	2570,25–2937,50		
	PG	2570,25–2938,25		
	PGG (GGDN)	2260,25–2937,75		
	PNG	2263,00–2320,00		

Tabela 27 cd.

1	2	3	4	5
cd. 22–26.11.1974	**PNG**	2570,25–2939,75	2943,0	216,0
	PNNt	2229,00–2943,00		
	PNNnt	2263,00–2317,50		
	PNNnt	2570,25–2942,50		
	PS (SP)	2570,25–2939,50		
	grad PS	2263,50–2940,00		
	PO (EL02)	2262,50–2940,00		
	PO (EL02)	2570,25–2939,75		
	PO (EL03)	2570,25–2939,75		
	PO (EL09)	2570,25–2939,50		
	PO (EL14)	2570,25–2939,50		
	PO (EL26)	2570,25–2939,75		
	PO (EN10)	2570,25–2939,50		
	POst (LL3)	2570,25–2939,50		
	mPOst	2570,00–2941,00		
8–10.03.1975	PK	2700,00–3115,00	3115,0	216,0
	PSr	2263,50–2730,00		
	PSr	2730,25–3101,50		
	PSr	2730,25–3105,75		
	PG	2730,25–3111,50		
	PGG (GGDN)	2730,25–3114,75		
	PNG	2730,25–3114,75		
	PNNt	2730,25–3115,00		
	PNNnt	2730,25–3113,50		
	PS (SP)	2730,25–3109,50		
	grad PS	2263,50–2730,00		
	grad PS	2730,00–3110,00		
	PO (EL02)	2263,50–2730,00		
	PO (EL02)	2730,00–3110,00		
	PO (EN10)	2890,00–3110,00		
	PO (EL02)	2885,25–3109,50		
	PO (EL03)	2885,25–3109,75		
	PO (EL09)	2885,25–3108,50		
	PO (EL14)	2885,25–3108,50		
	PO (EL26)	2884,25–3109,75		
	PO (EN10)	2885,25–3108,50		
	POst (LL3)	2730,00–3111,00		
	POst (LL3)	2885,25–3110,50		
	mPOst	2730,00–3111,00		
	PA: DT	2629,25–3111,25		
	PA: T1	2628,25–3110,25		
	PA: T2	2628,75–3110,75		
	PA: A1	2627,50–3110,00		
	PA: A2	2626,50–3111,00		
2.04.1975	**PSr**	3083,25–3151,75	3154,0	141,0
	PG	3080,25–3150,75		
	PNG	3080,25–3152,75		
	POst (LL3)	3094,75–3149,75		

Tabela 27 cd.

1	2	3	4	5
3–5.06.1975	PK	3050,00–3550,00	3552,0	141,0
	PSr	3097,25–3544,50		
	PG	3087,25–3301,50		
	PG	3098,25–3544,75		
	PGG (GGDN)	3093,25–3301,75		
	PNG	3098,25–3544,75		
	PNNt	3090,00–3150,00		
	PNNnt	3090,25–3155,50		
	PS (SP)	3098,25–3548,75		
	grad PS	3097,50–3550,50		
	PO (EL02)	3091,25–3300,50		
	PO (EL03)	3093,25–3300,50		
	PO (EL09)	3096,25–3549,50		
	PO (EL14)	3096,25–3299,50		
	PO (EN10)	3096,25–3549,50		
	POst (LL3)	3097,25–3298,50		
	PA: DT	3098,25–3499,50		
	PA: T1	3098,25–3499,50		
	PA: T2	3098,25–3499,75		
	PAc: A1	2008,00–3100,00		
	PAc: T1	2008,00–3098,00		
	T_{max}	20,00–3550,00		

PK – profilowanie krzywizny otworu; PŚr – profilowanie średnicy; PG – profilowanie naturalnej promieniotwórczości gamma; PGG – profilowanie gamma–gamma gęstościowe; PNG – profilowanie neutron–gamma; PNNt – profilowanie neutron neutron termiczny; PNNnt – profilowanie neutron neutron nadtermiczny; PS – profilowanie naturalnych potencjałów; PO – profilowanie oporności (EL – gradientowe; EN – potencjałowe); POs – profilowanie oporności symetryczne; POst – sterowane profilowanie oporności; PA – profilowanie akustyczne (DT – czas interwałowy; T1, T2 – czasy dojścia fali P do nadajników 1 i 2; A1, A2 – amplituda); PAc – profilowanie cementomierzem akustycznym; T_{max} – pomiar temperatury termometrem maksymalnym. Pogrubiono czcionkę w przypadku profilowań dostępnych w formie cyfrowej

PK – deviation log; PŚr – caliper; PG – gamma ray log; PGG – density log; PNG – neutron–gamma ray log; PNNt – thermal neutron log; PNNnt – epithermal neutron log; PS – spontaneous potential log; PO – conventional electrical log (EL – lateral; EN – normal); POs – symmetrical electrical log; POst – laterolog; PA – sonic log (DT – delta T; T1, T2 – P wave travel time at detector 1 and 2; A1, A2 – amplitude); PAc – cement bond log; T_{max} – temperature measurement by a maximum thermometer. The font has been bolded in the case of digitalized curves

DIGITALIZACJA I NORMALIZACJA PROFILOWAŃ GEOFIZYCZNYCH

Wyniki źródłowych danych pomiarowych zarejestrowano w formie analogowej w podstawowej skali głębokościowej 1:500 oraz 1:200 i 1:50. Część badań, obejmujących głównie pomiary radiometryczne, akustyczne oraz wybrane elektrometryczne, została w późniejszych latach zdigitalizowana. W ramach prac interpretacyjnych, wykonanych w PIG–PIB w latach 90. XX w., związanych z wprowadzaniem danych geofizycznych do CBDG, pomiary radiometryczne, tj. profilowanie naturalnego promieniowania gamma (PG) oraz profilowanie neutron-gamma (PNG), unormowano oraz połączono w obrębie profilu całego otworu wiertniczego Wilga IG 1. Zastosowana metodyka normowania, standaryzacji profilowań radiometrycznych została opisana w pracach Szewczyka (1998, 2000). Wyniki zdigitalizowanych danych pomiarowych w formacie LAS (Log ASCII Standard) znajdują się w CBDG, zarówno źródłowe nieprzetworzone dane pomiarowe uzyskane w trakcie badań odcinkowych, jak i dane unormowane, i połączone dla całego profilu badanego otworu (*composite logs*). Numer identyfikacyjny otworu Wilga IG 1 w CBDG to 3433. Graficzne zestawienie scyfrowanych pomiarów geofizycznych zamieszczono na figurze 57. Zaprezentowano na niej również zgeneralizowaną stratygrafię wraz z wynikami unormowanych i połączonych w całym profilu wartości profilowania naturalnego promieniowania gamma, profilowania neutron-gamma oraz wybranych pomiarów elektrometrycznych. Zamieszczono również rezultaty profilowania średnicy otworu ze wskazaniem za pomocą strzałek głębokości łączenia poszczególnych odcinków pomiarowych (fig. 58).

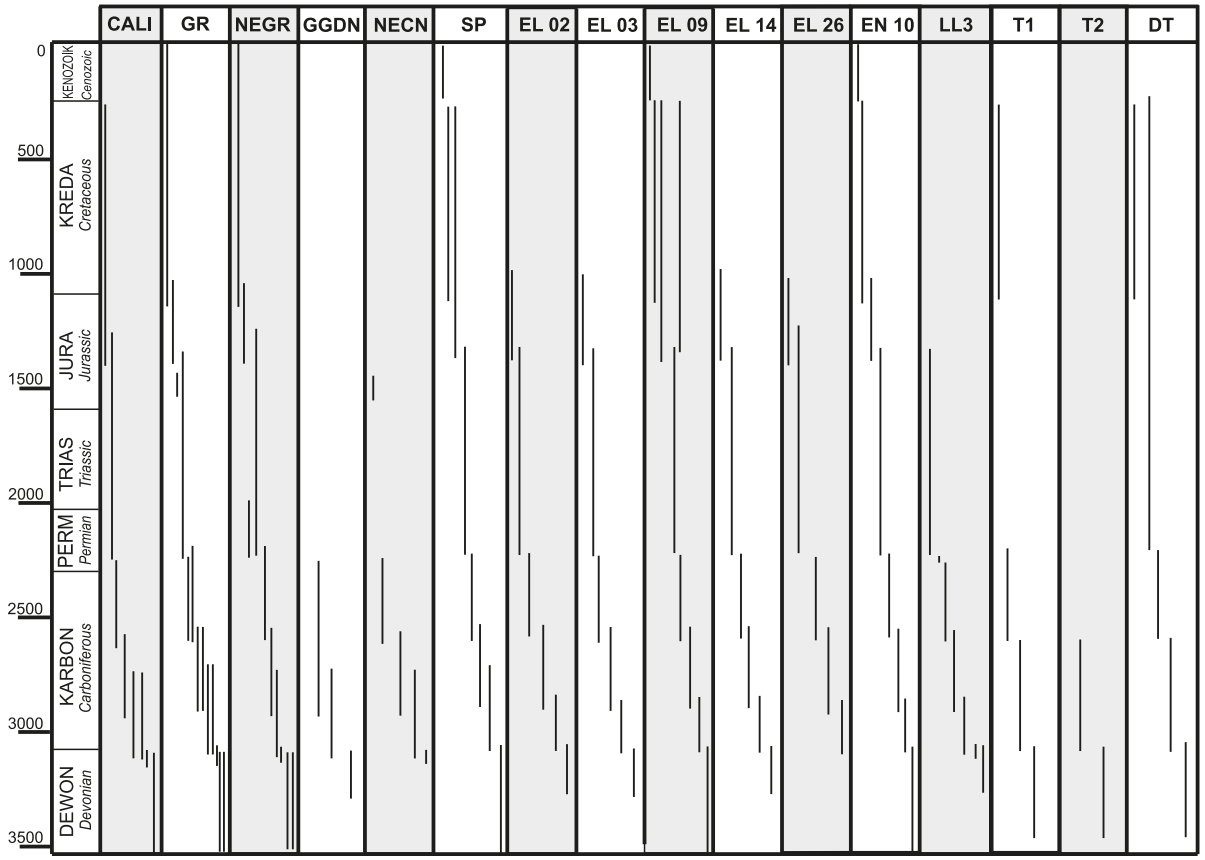


Fig. 57. Schematyczne zestawienie głębokościowe scyfrowanych badań geofizycznych wykonanych w otworze Wilga IG 1

Typy profilowań geofizycznych: CALI – profilowanie średnicy otworu; GR – profilowanie naturalnej promieniotwórczości gamma; NEGR – profilowanie neutron-gamma; GGDN – profilowanie gamma-gamma gęstościowe; NECN – profilowanie neutron nadtermiczne; SP – profilowanie potencjałów naturalnych; EL – gradientowe profilowanie oporności (EL 02; EL 03; EL 09; EL 14; EL 26); EN 10 – potencjałowe profilowanie oporności; LL3 – sterowane profilowanie oporności; T1 – czas interwałowy T1; T2 – czas interwałowy T2; DT – profilowanie akustyczne czasu interwałowego

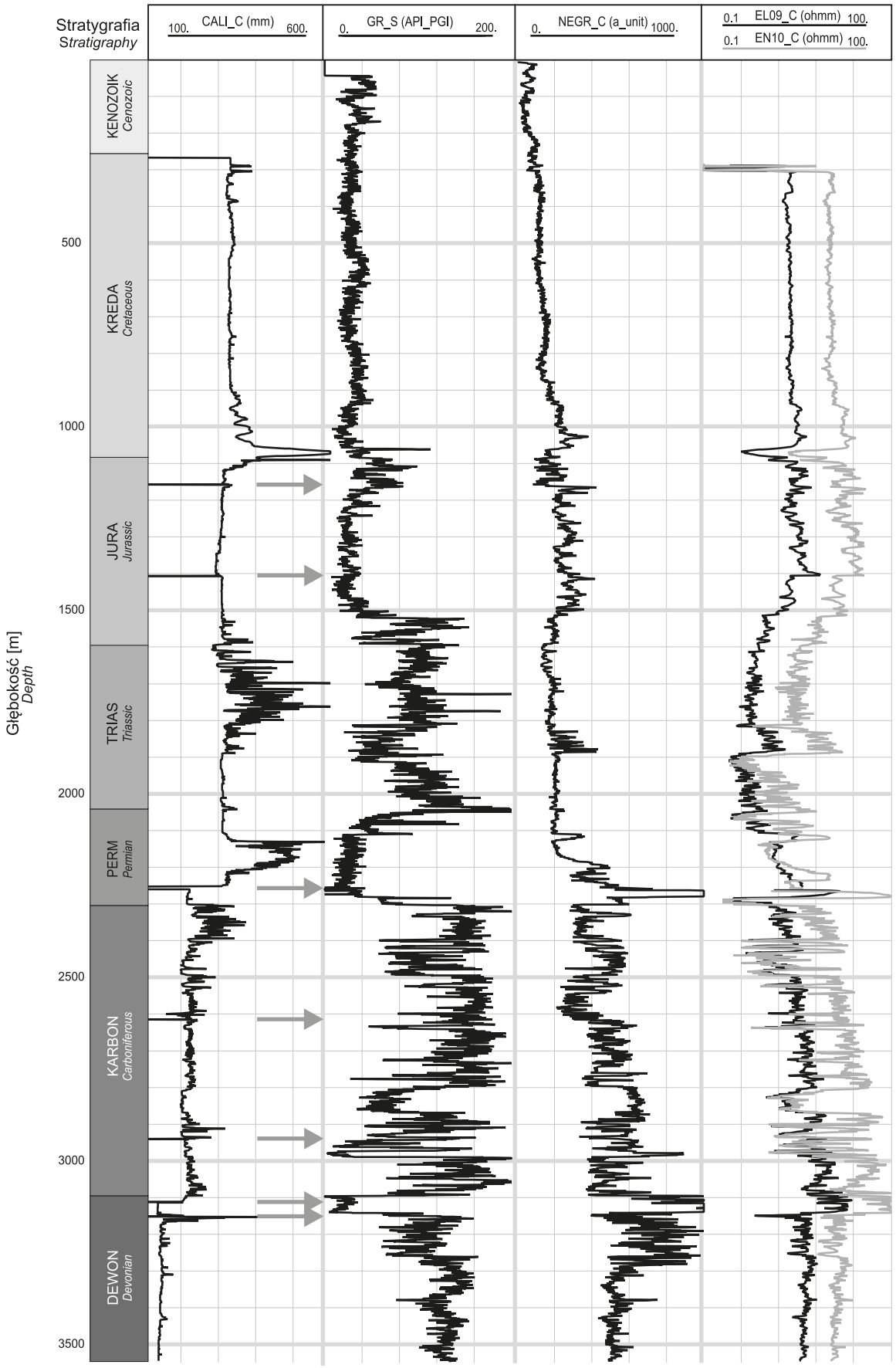
Schematic depth presentation of digitalized well logging measurements performed in the Wilga IG 1 borehole

Well logging types: CALI – caliper; GR – gamma ray log; NEGR – neutron-gamma log; GGDN – density log; NECN – epithermal neutron log; SP – spontaneous potential log; EL – lateral conventional electrical log (EL 02; EL 03; EL 09; EL 14; EL 26); EN 10 – normal conventional electrical log; LL3 – laterolog; T1 – interval time T1; T2 – interval time T2; DT – interval time

→

Fig. 58. Prezentacja profilowania średnicy (CALI_C) (strzałkami zaznaczono miejsca połączeń odcinków pomiarowych), unormowanego profilowania gamma (GR_S), profilowania neutron-gamma (NEGR_C) oraz profilowań oporności o krótkim (EN10_C) i długim (EL09_C) zasięgu radialnym

Display of caliper log (CALI_C) (arrows indicate connection points between individual log runs), normalized natural gamma ray log (GR_S), neutron-gamma ray log (NEGR_C) and conventional gradient resistivity logs shallow (EN10_C) and deep (EL09_C)


Stratygrafia
Stratigraphy
100. CALI_C (mm) 600.
0. GR_S (API_PGI) 200.
0. NEGR_C (a_unit) 1000.
0.1 EL09_C (ohmm) 100.
0.1 EN10_C (ohmm) 100.
KENOZOIK
Cenozoic
KREDA
Cretaceous
JURA
Jurassic
TRIAS
Triassic
PERM
Permian
KARBON
Carboniferous
DEWON
Devonian
Głębokość [m]
Depth
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500

OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

W trakcie wykonywania wiercenia oraz po jego zakończeniu wykonawcy pomiarów geofizycznych z Przedsiębiorstwa Poszukiwań Geofizycznych przeprowadzili prace interpretacyjne uzyskanych wyników badań. Interpretacja jakościowa i ilościowa danych geofizycznych pozwoliła zrealizować cele postawione przed badaniami geofizycznymi w otworze Wilga IG 1 i umożliwiła tym samym dokładniejsze poznanie przewierconych utworów. Rezultaty tych interpretacji są dostępne w dokumentacji wynikowej otworu (Niemczycka, Żelichowski, 1975). Prace interpretacyjne profilowań geofizyki wiertniczej wykonano również w latach 2009–2010 w PIG–PIB na potrzeby tematu „Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO_2 wraz z ich programem monitorowania". Ich celem była ocena zdolności formacji wodonośnych triasu i jury do zatłaczania CO_2. W celu zrealizowania tego zadania wydzielono formacje wodonośne oraz formacje, które stanowią dla nich uszczelnienie i określono ich właściwości petrofizyczne (Wójcicki i in., 2013).

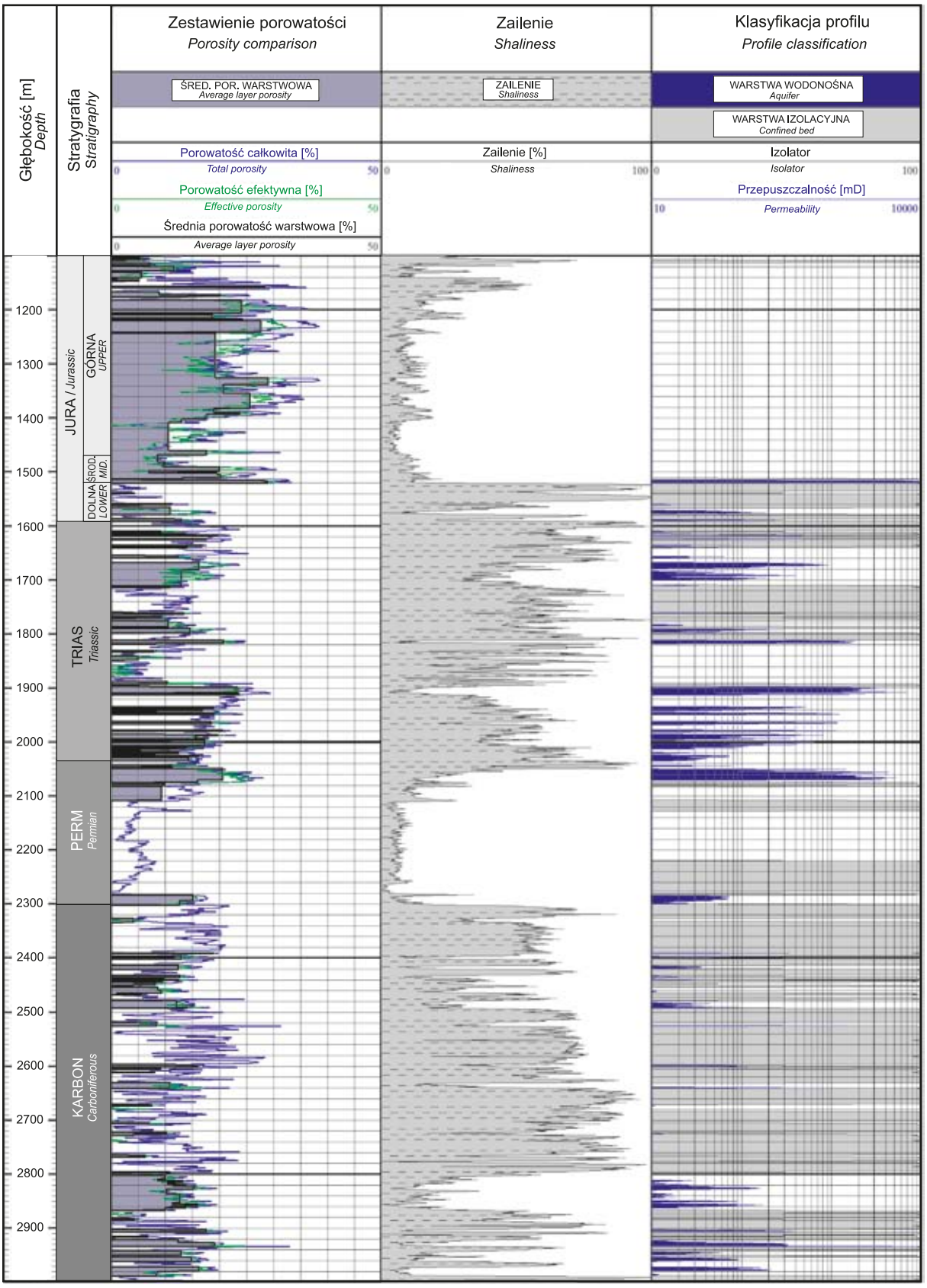
Na figurze 59 przedstawiono rezultaty ilościowej interpretacji profilowań geofizyki wiertniczej z otworu wiertniczego Wilga IG 1 w interwale głęb. 1100,0–3000,0 m. Zaprezentowano obliczony profil porowatości całkowitej, porowatości efektywnej, średniej porowatości warstwowej oraz profil zailenia. Ważną informacją wykorzystaną podczas kalibracji danych karotażowych oraz podczas oceny poprawności uzyskiwanych wyników interpretacji profilowań geofizyki wiertniczej stanowiły wyniki analiz laboratoryjnych rdzeni wiertniczych. Dla otworu Wilga IG 1 były to rezultaty pomiaru porowatości efektywnej i przepuszczalności (Sobień, ten tom). Badania geofizyczne przeprowadzone w otworze umożliwiły wydzielenie warstw wodonośnych i poziomów izolacyjnych (nieprzepuszczalnych). Do stwierdzenia warstwy o charakterze izolatora zastosowano łącznie kryterium litologiczne i petrofizyczne. Wysokimi wartościami porowatości wyróżnia się zbudowany z wapieni i margli kompleks jury górnej z głęb. 1090,0–1470,0 m (fig. 59). Obliczone dla niego porowatości całkowite osiągają wartości do 39%, a porowatości efektywne do 33%. Utwory te charakteryzują się jednocześnie przepuszczalnością rzędu 0,01 mD. Brak w nich warstw wodonośnych. W obrębie jury środkowej (głęb. 1470,0–1520,5 m) warstwa wodonośna zaznacza się na głęb. 1516,0–1520,0 m. Określone dla niej wartości przepuszczalności są rzędu tysięcy mD. W piaskowcowo-ilastym kompleksie jury dolnej (głęb. 1520,5–1591,0 m) brak miąższych warstw wodonośnych. Obecne w nim piaskowce charakteryzują się porowatościami całkowitymi od kilku do 20% i efektywnymi – ok. 18%. Obliczone dla nich przepuszczalności wynoszą od kilku do 150 mD. Trias w otworze Wilga IG 1 (głęb. 1591,0–?2034,5 m) jest zbudowany głównie z iłowców, mułowców, piaskowców i wapieni. W jego obrębie obserwuje się obecność warstw wodonośnych. Ich miąższość jest jednak stosunkowo niewielka (tylko jedna osiąga kilkadziesiąt metrów), a obliczone dla nich przepuszczalności wynoszą od kilku do kilkuset mD. Porowatości całkowite obliczone dla poziomów wodonośnych mieszczą się w przedziale 7–28%, a efektywne – w zakresie 6–26%. W kompleksie tym są obecne cienkie warstwy izolacyjne, z których najbardziej miąższa osiąga 45 m. W utworach permu wyróżnia się warstwa anhydrytu o miąższości 55 m o właściwościach izolacyjnych i kilkunastometrowe poziomy wodonośne piaskowców. Porowatości całkowite określone dla warstw wodonośnych wynoszą od 10 do ok. 28,5%, a efektywne są z przedziału 9–25%. W karbonie są obecne kilku- i kilkudziesięciometrowej miąższości warstwy uszczelniające. Zaznacza się również obecność warstw wodonośnych, ale o stosunkowo niewielkiej grubości. Najbardziej miąższa z nich (72 m) charakteryzuje się porowatościami całkowitymi rzędu kilkunastu procent (1–20%).

Zaprezentowane w niniejszej publikacji wyniki prac interpretacyjnych uzyskano z wykorzystaniem oprogramowania interpretacyjnego sytemu GEOFLOG oraz programu ProGeo.

→

Fig. 59. Wyniki interpretacji parametrów petrofizycznych utworów karbonu, permu, triasu i jury w otworze Wilga IG 1

The results of log interpretation of petrophysical parameters of Carboniferous, Permian, Triassic and Jurassic deposits in the Wilga IG 1 borehole


Głębokość [m]
Depth
Stratygrafia
Stratigraphy
Zestawienie porowatości
Porosity comparison
ŚRED. POR. WARSTWOWA
Average layer porosity
Porowatość całkowita [%]
Total porosity
Porowatość efektywna [%]
Effective porosity
Średnia porowatość warstwowa [%]
Average layer porosity
Zailenie
Shaliness
ZAILENIE
Shaliness
Zailenie [%]
Shaliness
Klasyfikacja profilu
Profile classification
WARSTWA WODONOŚNA
Aquifer
WARSTWA IZOLACYJNA
Confined bed
Izolator
Isolator
Przepuszczalność [mD]
Permeability
JURA / Jurassic
GÓRNA UPPER
ŚRÓD. MID.
DOLNA LOWER
TRIAS Triassic
PERM Permian
KARBON Carboniferous
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
2100
2200
2300
2400
2500
2600
2700
2800
2900

Lidia DZIEWIŃSKA, Waldemar JÓŹWIAK

POMIARY SEJSMOMETRYCZNE

Sprawozdanie z pomiarów sejsmometrycznych w otworze Wilga IG 1 obejmuje profilowanie średnich prędkości i pionowe profilowanie sejsmiczne. Sprawozdanie zostało opracowane w październiku 1975 r. przez Wydział Sejsmometrii Wiertniczej Przedsiębiorstwa Geofizyki Górnictwa Naftowego Kraków (Kądzioła, Madej, 1975). Pomiary wykonała w czerwcu 1975 r. Grupa Sejsmometrii Wiertniczej 1D/KW. Maksymalna głębokość pomiaru wynosiła 3530,0 m, co pozwala na charakterystykę całego profilu otworu wykonanego do głęb. 3552,0 m. Stratygrafia poziomu, w którym kończy się pomiar, obejmuje część dewonu dolnego. Poziom odniesienia pomiarów wynosi 76,0 m n.p.m., natomiast wysokość wylotu otworu 96,0 m n.p.m. Litologię warstw przypowierzchniowych w interwale głęb. 0–16,0 m stanowią piaski sypkie, a na głęb. 16,0–40,0 m – piaski zailone. Prędkość poniżej strefy małych prędkości (VSMP) została określona wartością 1600 m/s. Prace pomiarowe w otworze wykonano aparaturą SS-24-61M oraz sondą pięciogeofonową produkcji PGGN-Kraków, przyjmując interwał pomiaru 20 m. W celu doboru optymalnych warunków strzelania wykonano mikroprofilowanie i dynamikę. Prace strzelnicze wykonano z jednego punktu strzałowego (PS), usytuowanego w odległości 150 m od wylotu otworu głębokiego (D) w azymucie 255° (A), przy niwelacji 0 (N) i poziomie odniesienia 20 m. Średni ładunek MW wynosił 2,5 kg. Rejestracji dokonano na taśmach magnetycznych oraz na bloku oscylograficznym. Rejestracje z bloku oscylograficznego wykorzystano do opracowania średnich prędkości.

Jakość materiału w całym interwale pomiarowym 50,0–3530,0 m określono jako dobrą. Obliczenia do wyznaczenia średnich prędkości wykonano z użyciem maszyny EMR-6135. Istotny etap interpretacji materiałów stanowi redukcja pomiarów.

Głębokość zredukowaną wyznaczono wg wzoru:

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

gdzie:
h – głębokość zanurzenia geofonu;
h_{odn} – głębokość poziomu odniesienia (z uwzględnieniem niwelacji i głębokości wzbudzania).

Redukcję czasów wykonano metodą, która zakłada jednorodność ośrodka od punktu wybuchu do głębokości zanurzenia geofonu wg wzoru:

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

gdzie:
t_p – czas poprawiony;
d – odległość PS od głębokiego otworu

Poprawki czasowe liczono wg wzoru:

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

gdzie:
h – głębokość strzelania poszczególnego pomiaru;
V_o – prędkość fali w utworach przypowierzchniowych.

Prędkość średnią liczono wg wzoru:

$$V_{śr} = \frac{h_r}{t_r}$$

Charakter zmian prędkości w funkcji głębokości zilustrowano w tabeli 28 i na figurach 60–61. Wartości h, t_r i V_s umieszczono w tabeli 28. Uzyskane wyniki stanowiły podstawę do konstrukcji krzywych prędkości średnich (fig. 60A) i hodografu pionowego (fig. 60B). Przedstawione wykresy wskazują na zależność między wzrostem głębokości a czasem rejestracji i prędkością średnią. Widać stały systematyczny wzrost prędkości wraz z głębokością.

W celu wyznaczenia poszczególnych kompleksów prędkościowych, a szczególnie ich wartości średnich, zastosowano wygładzanie wartości pomiarów geofizycznych. Metoda ta może być stosowana w przypadku, gdy wartości zmierzone zmieniają się przypadkowo z punktu na punkt w granicach błędu pomiarowego. Warunkiem jej wykorzystania jest stały odstęp miedzy 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, za pomocą splotu z odpowiednim filtrem. Przetwarzanie to polegało na przeliczaniu czasów i prędkości do poziomu odniesienia pomiaru i interpolacji tych wartości dla znormalizowanych przedziałów głębokości, tj. 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 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

Tabela 28

Zestawienie wartości głębokości (*h*), średniego czasu zredukowanego (t_r) i prędkości średnich (V_s)

Depth (*h*), reduced time (t_r) and average velocity (V_s) values

h [m]	t_r [s]	V_s [m/s]	*h* [m]	t_r [s]	V_s [m/s]
1	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
30	0,018000	1667	910	0,388000	2345
50	0,031000	1613	930	0,396000	2348
70	0,043000	1628	950	0,400000	2375
90	0,054000	1667	970	0,406000	2389
110	0,066000	1667	990	0,411000	2409
130	0,080000	1625	1010	0,416000	2428
150	0,090000	1667	1030	0,420000	2452
170	0,101000	1683	1050	0,425000	2471
190	0,112000	1696	1070	0,433000	2471
210	0,122000	1721	1090	0,439000	2483
230	0,130000	1769	1110	0,444000	2500
250	0,139000	1799	1130	0,453000	2494
270	0,146000	1849	1150	0,458000	2511
290	0,157000	1847	1170	0,464000	2522
310	0,165000	1879	1190	0,469000	2537
330	0,177000	1864	1210	0,474000	2553
350	0,186000	1882	1230	0,476000	2584
370	0,193000	1917	1250	0,480000	2604
390	0,202000	1931	1270	0,485000	2619
410	0,210000	1952	1290	0,489000	2638
430	0,218000	1972	1310	0,494000	2652
450	0,225000	2000	1330	0,500000	2660
470	0,232000	2026	1350	0,504000	2679
490	0,239000	2050	1370	0,509000	2692
510	0,246000	2073	1390	0,513000	2710
530	0,256000	2070	1410	0,517000	2727
550	0,263000	2091	1430	0,521000	2745
570	0,272000	2096	1450	0,525000	2762
590	0,280000	2107	1470	0,529000	2779
610	0,286000	2133	1490	0,533000	2795
630	0,294000	2143	1510	0,539000	2801
650	0,302000	2152	1530	0,549000	2787
670	0,307000	2182	1550	0,554000	2798
690	0,315000	2190	1570	0,560000	2804
710	0,321000	2212	1590	0,568000	2799
730	0,330000	2212	1610	0,576000	2795
750	0,336000	2232	1630	0,583000	2796
770	0,342000	2251	1650	0,589000	2801
790	0,350000	2257	1670	0,595000	2807
810	0,356000	2275	1690	0,601000	2812
830	0,364000	2280	1710	0,608000	2813
850	0,371000	2291	1730	0,619000	2795
870	0,376000	2314	1750	0,625000	2800
890	0,382000	2330	1770	0,630000	2810

Tabela 28 cd.

1	2	3
1790	0,639000	2801
1810	0,644000	2811
1830	0,651000	2811
1850	0,655000	2824
1870	0,661000	2829
1890	0,667000	2834
1910	0,671000	2846
1930	0,677000	2851
1950	0,684000	2851
1970	0,690000	2855
1990	0,696000	2859
2010	0,701000	2867
2030	0,707000	2871
2050	0,712000	2879
2070	0,718000	2883
2090	0,724000	2887
2110	0,728000	2898
2130	0,735000	2898
2150	0,738000	2913
2170	0,742000	2925
2190	0,746000	2936
2210	0,751000	2943
2230	0,757000	2946
2250	0,760000	2961
2270	0,764000	2971
2290	0,769000	2978
2310	0,775000	2981
2330	0,783000	2976
2350	0,787000	2986
2370	0,791000	2996
2390	0,794000	3010
2410	0,799000	3016
2430	0,806000	3015
2450	0,811000	3021
2470	0,816000	3027
2490	0,821000	3033
2510	0,826000	3039
2530	0,829000	3052
2550	0,834000	3058
2570	0,841000	3056
2590	0,846000	3061
2610	0,851000	3067
2630	0,857000	3069
2650	0,861000	3078

1	2	3
2670	0,866000	3083
2690	0,872000	3085
2710	0,877000	3090
2730	0,881000	3099
2750	0,884000	3111
2770	0,890000	3112
2790	0,896000	3114
2810	0,900000	3122
2830	0,906000	3124
2850	0,909000	3135
2870	0,915000	3137
2890	0,918000	3148
2910	0,925000	3146
2930	0,927000	3161
2950	0,930000	3172
2970	0,934000	3180
2990	0,939000	3184
3010	0,944000	3189
3030	0,951000	3186
3050	0,956000	3190
3070	0,959000	3201
3090	0,965000	3202
3110	0,969000	3209
3130	0,974000	3214
3150	0,978000	3221
3170	0,984000	3222
3190	0,991000	3219
3210	0,994000	3229
3230	1,000000	3230
3250	1,004000	3237
3270	1,008000	3244
3290	1,013000	3248
3310	1,018000	3251
3330	1,022000	3258
3350	1,028000	3259
3370	1,033000	3262
3390	1,039000	3263
3410	1,044000	3266
3430	1,049000	3270
3450	1,055000	3270
3470	1,060000	3274
3490	1,066000	3274
3510	1,070000	3280

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 w. w Zakładzie Geofizyki PIG na potrzeby 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 są wyraźne 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), Vi (prędkości interwałowe) i V_k (prędkości kompleksowe), obliczonych z czasów wygładzonych, zawarto w tabeli 29. Krzywe prędkości wygładzonych, interwałowych i kompleksowych przedstawiono na figurze 61. Zestawienie wykresów prędkości z profilem geologicznym otworu umożliwia powiązanie zmian prędkości z kompleksami stratygraficzno-litologicznymi w otworze. Korelacja wymaga uwzględnienia podanych wcześniej różnic w poziomach odniesienia, tj.: wylotu głębokiego otworu (96,0 m n.p.m.) i załączonych wyników pomiarów prędkości sprowadzonych do 76,0 m n.p.m. Wykresy prędkości wygładzonych, interwałowych i kompleksowych odwzorowują złożony profil otworu Wilga 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 wydzieleń litologiczno-stratygraficznych. W rezultacie daje to możliwość określenia granic między nimi. Na krzywych można wyznaczyć szereg kompleksów o dosyć jednolitej i zbliżonej charakterystyce prędkościowej, które znajdują też odzwierciedlenie w pomiarze pionowego profilowania sejsmicznego (PPS), wykonanego w tym otworze do głęb. 3530,0 m.

Od początku profilu do głęb. ok. 1500 m występuje gwałtowny wzrost prędkości kompleksowych od wartości 1760 do 3840 m/s. Po lokalnym obniżeniu do ok. 3000 m/s, w interwale utworów jury dolnej oraz triasu górnego i środkowego, prędkość kompleksowa do końca głębokości pomiarowej utrzymuje zbliżoną wartość, oscylującą wokół 4100 m/s. Przebieg krzywych prędkościowych decyduje o wydzieleniu poszczególnych kompleksów prędkościowych.

Najwyższy odcinek profilu o prędkości kompleksowej 1760 m/s dotyczy utworów kenozoiku. Kontrast prędkości

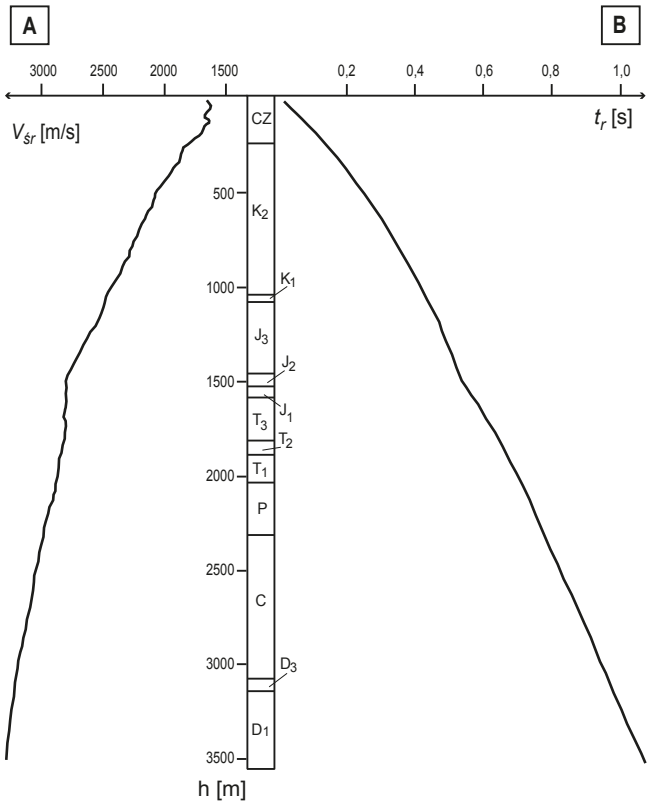


Fig. 60. Wykres prędkości średnich (A) i hodograf pionowy (B) (poziom odniesienia 76,0 m n.p.m.)

t_r – średni czas zredukowany, $V_{śr}$ – prędkość średnia, h – głębokość
D_1 – dewon dolny, D_3 – dewon górny, C – karbon, P – perm, T_1 – trias dolny, T_2 – trias środkowy, T_3 – trias górny, J_1 – jura dolna, J_2 – jura środkowa, J_3 – jura górna, K_1 – kreda dolna, K_2 – kreda górna, CZ – kenozoik

Average seismic velocity (A) and travel-time curve (B) (reference level 76.0 m a.s.l.)

t_r – average reduced time, $V_{śr}$ – average velocity, h – depth
D_1 – Lower Devonian, D_3 – Upper Devonian, C – Carboniferous, P – Permian, T_1 – Lower Triassic, T_2 – Middle Triassic, T_3 – Upper Triassic, J_1 – Lower Jurassic, J_2 – Middle Jurassic, J_3 – Upper Jurassic, K_1 – Lower Cretaceous, K_2 – Upper Cretaceous, CZ – Cenozoic

550 m/s wydziela następną część profilu, reprezentowaną przez niższy kenozoik i utwory najwyższego piętra kredy – mastrychtu górnego. Charakteryzują się one prędkością kompleksową o wartości ok. 2310 m/s. Kreda, wykształcona ogólnie w postaci utworów wapienno-marglistych, na krzywych prędkości odznacza się dużymi zmianami rejestrowanych wartości, co należy tłumaczyć zmianami zachodzącymi w składzie litologicznym między poszczególnymi wydzieleniami, w zależności od procentowego udziału danej skały. Niższy odcinek kredy górnej, o prędkości kompleksowej 2830 m/s, wydzielony następnym kontrastem prędkości o dużej wartości 520 m/s i podkreślony też na wykresie prędkości interwałowych, obejmuje utwory mastrychtu dolnego, kampanu, santonu oraz koniaku. Kolejny skok prędkości o bardzo wysokiej wartości ok. 770 m/s

Tabela 29

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

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

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
1	**2**	**3**	**4**
20,0	2096	1763	1905
40,0	2096	1763	1661
60,0	2096	1763	1673
80,0	2096	1763	1692
100,0	2096	1763	1720
120,0	1839	1763	1758
140,0	1839	1763	1806
160,0	1839	1763	1865
180,0	1839	1763	1931
200,0	1839	2310	1997
220,0	2120	2310	2059
240,0	2120	2310	2110
260,0	2120	2310	2149
280,0	2120	2310	2179
300,0	2120	2310	2206
320,0	2310	2310	2238
340,0	2310	2310	2279
360,0	2310	2310	2331
380,0	2310	2310	2392
400,0	2310	2310	2454
420,0	2554	2831	2510
440,0	2554	2831	2553
460,0	2554	2831	2579
480,0	2554	2831	2589
500,0	2554	2831	2589
520,0	2608	2831	2587
540,0	2608	2831	2592
560,0	2608	2831	2607
580,0	2608	2831	2635
600,0	2608	2831	2673
620,0	2771	2831	2716
640,0	2771	2831	2758
660,0	2771	2831	2794
680,0	2771	2831	2824
700,0	2771	2831	2847
720,0	2899	2831	2866
740,0	2899	2831	2885
760,0	2899	2831	2907
780,0	2899	2831	2935
800,0	2899	2831	2972
820,0	3118	2831	3020
840,0	3118	2831	3078

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
1	**2**	**3**	**4**
860,0	3118	2831	3148
880,0	3118	2831	3227
900,0	3118	2831	3313
920,0	3503	2831	3402
940,0	3503	3595	3487
960,0	3503	3595	3556
980,0	3503	3595	3597
1000,0	3503	3595	3601
1020,0	3492	3595	3570
1040,0	3492	3595	3515
1060,0	3492	3595	3459
1080,0	3492	3595	3421
1100,0	3492	3595	3422
1120,0	3669	3595	3471
1140,0	3669	3595	3574
1160,0	3669	3595	3724
1180,0	3669	3595	3907
1200,0	3669	3595	4094
1220,0	4349	3595	4254
1240,0	4349	3595	4362
1260,0	4349	3595	4414
1280,0	4349	3595	4423
1300,0	4349	3595	4415
1320,0	4436	3834	4412
1340,0	4436	3834	4425
1360,0	4436	3834	4448
1380,0	4436	3834	4460
1400,0	4436	3834	4432
1420,0	4021	3834	4339
1440,0	4021	3834	4176
1460,0	4021	3834	3960
1480,0	4021	3834	3722
1500,0	4021	3834	3494
1520,0	3122	3009	3301
1540,0	3122	3009	3151
1560,0	3122	3009	3045
1580,0	3122	3009	2977
1600,0	3122	3009	2937
1620,0	2898	3009	2916
1640,0	2898	3009	2902
1660,0	2898	3009	2891
1680,0	2898	3009	2883

Tabela 29 cd.

1	2	3	4
1700,0	2898	3009	2882
1720,0	2977	3009	2896
1740,0	2977	3009	2931
1760,0	2977	3009	2991
1780,0	2977	3009	3073
1800,0	2977	3009	3171
1820,0	2977	3009	3271
1840,0	2977	3834	3362
1860,0	2977	3834	3431
1880,0	2977	3834	3473
1900,0	3376	3834	3489
1920,0	3492	3834	3489
1940,0	3492	3834	3485
1960,0	3492	3834	3486
1980,0	3492	3834	3501
2000,0	3492	3834	3531
2020,0	3691	3834	3577
2040,0	3691	3834	3641
2060,0	3691	3834	3722
2080,0	3691	3834	3819
2100,0	3691	3834	3930
2120,0	4174	3874	4047
2140,0	4174	4210	4157
2160,0	4174	4210	4243
2180,0	4174	4210	4292
2200,0	4174	4210	4299
2220,0	4165	4210	4265
2240,0	4165	4210	4204
2260,0	4165	4210	4132
2280,0	4165	4210	4067
2300,0	4165	3957	4022
2320,0	4008	3957	4000
2340,0	4008	3957	4000
2360,0	4008	3957	4009
2380,0	4008	3957	4018
2400,0	4008	3957	4020
2420,0	4013	3957	4017
2440,0	4013	3957	4014
2460,0	4013	3957	4011
2480,0	4013	3957	4008
2500,0	4013	3957	4000
2520,0	3942	3957	3980
2540,0	3942	3957	3953
2560,0	3942	3957	3925
2580,0	3942	3957	3906
2600,0	3942	3957	3902

1	2	3	4
2620,0	3977	3957	3917
2640,0	3977	3957	3950
2660,0	3977	3957	3994
2680,0	3977	3957	4043
2700,0	3977	3957	4087
2720,0	4149	4100	4120
2740,0	4149	4100	4142
2760,0	4149	4100	4158
2780,0	4149	4100	4177
2800,0	4149	4100	4207
2820,0	4370	4100	4257
2840,0	4370	4100	4327
2860,0	4370	4100	4410
2880,0	4370	4100	4491
2900,0	4370	4100	4552
2920,0	4475	4100	4571
2940,0	4475	4100	4540
2960,0	4475	4100	4464
2980,0	4475	4100	4365
3000,0	4475	4100	4267
3020,0	4138	4100	4190
3040,0	4138	4100	4140
3060,0	4138	4100	4111
3080,0	4138	4100	4095
3100,0	4138	4100	4081
3120,0	4058	4100	4066
3140,0	4058	4100	4053
3160,0	4058	4100	4047
3180,0	4058	4100	4056
3200,0	4058	4100	4080
3220,0	4120	4100	4109
3240,0	4120	4100	4134
3260,0	4120	3781	4140
3280,0	4120	3781	4120
3300,0	4120	3781	4076
3320,0	3918	3781	4014
3340,0	3918	3781	3945
3360,0	3918	3781	3881
3380,0	3918	3781	3830
3400,0	3918	3781	3793
3420,0	3762	3781	3771
3440,0	3762	3781	3760
3460,0	3762	3781	3757
3480,0	3762	3781	3757
3500,0	3762	3781	3757

dotyczy piaszczysto-marglistych warstw turonu i cenomanu. Ta anomalia wyznacza niżej leżący dwudzielny interwał pomiaru o prędkościach kompleksowych, tj.: pierwszy ok. 3600 m/s i po ponownym kontraście prędkości 240 m/s oraz drugi o wartości ok. 3840 m/s. Na podstawie danych otworowych, górny odcinek, obok utworów turonu i cenomanu, obejmuje piaszczyste i mułowcowe osady kredy dolnej oraz margliste i wapienne osady jury górnej z przedziału kimeryd–oksford górny. W dole górnego oksfordu następuje wyraźny wzrost prędkości kompleksowej do wymienionej wyżej wartości 3840 m/s, która utrzymuje się w interwale wyznaczonym przez utwory oksfordu środkowego i dolnego oraz jury środkowej. Dwudzielność przedziału głębokościowego, korelującego się z utworami oksfordu, podkreśla jeszcze wyraźniej krzywa prędkości interwałowych, na której wartości w dolnym odcinku dochodzą do 4436 m/s, co poświadcza zmianę charakteru osadów. Raptowny spadek wartości prędkości kompleksowej i interwałowej o 830 m/s zaznacza się na głębokości utożsamianej z granicą jury środkowej i dolnej. Towarzyszy temu zmiana gradientu na krzywej prędkości wygładzonej. W konsekwencji wyznaczono odcinek o prędkości kompleksowej ok. 3010 m/s, który, oprócz jury dolnej, obejmuje ilasto-piaszczyste osady triasu górnego i węglanowe osady triasu środkowego. Ponowny znaczny wzrost prędkości o 825 m/s do wartości ok. 3835 m/s wydziela piaszczysto-mułowcowe warstwy triasu dolnego i cechsztyńską stropową serię terygeniczną (Pzt) cyklotemu (PZ4). Zmiana gradientu na krzywej prędkości wygładzonej obrazuje ten wzrostowy trend. Krzywa prędkości interwałowych, wskazując wartości pośrednie, przedstawia na wykresie tego parametru bardziej łagodne i stopniowe przejście utworów triasowych do cechsztyńskich. Kompleks cechsztyński, zdominowany przez utwory solne i anhydryty, wyróżnia się w stosunku do pozostałych utworów największą prędkością kompleksową, wynoszącą ok. 4210 m/s.

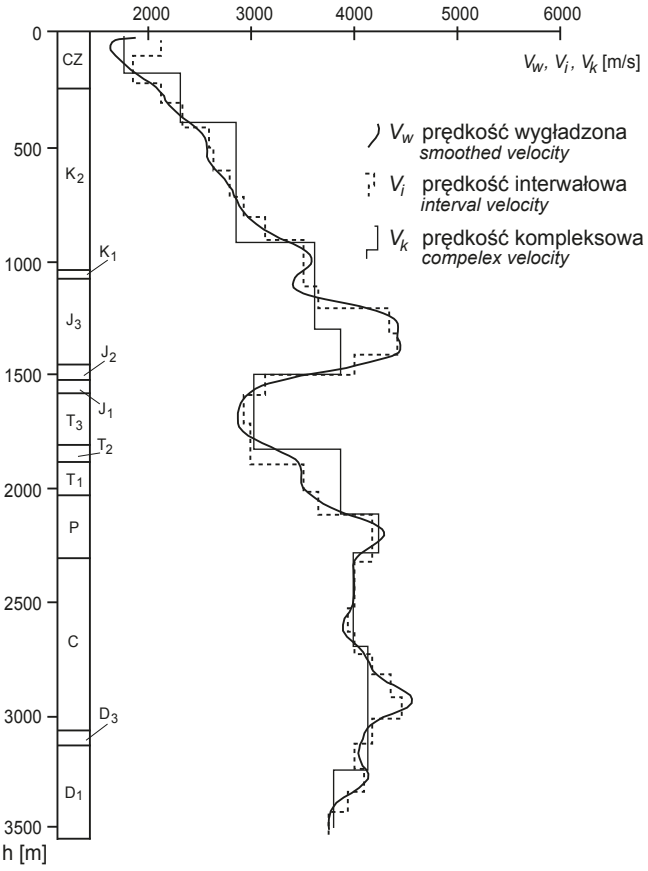


Fig. 61. Wykresy prędkości wygładzonych (V_w), interwałowych (V_i) i kompleksowych (V_k) (poziom odniesienia 76,0 m n.p.m.)

Objaśnienia symboli jak na figurze 60

Smoothed velocity (V_w), interval velocity (V_i) and complex velocity (V_k) (reference level 76.0 m a.s.l.)

Explanations of symbols as in Figure 60

Następna zmiana zaznacza się w spągu permu – wydziela ona dość monotonny i ciągły kompleks prędkościowy utworów karbonu. W tych mułowcowo-piaszczystych utworach o dużej miąższości zanotowano dwie prędkości kompleksowe o małej różnicy z trendem wzrastającym wraz z głębokością. Wartości te, wynoszące w części górnej ok. 3960 m/s, a w dolnej ok. 4100 m/s, stanowią odbicie zmienności litologicznej utworów w obrębie profilu karbonu. W wyższej części profilu wkładki piaskowców są małej miąższości, w niższej natomiast jest obserwowany zwiększony ich udział. Należy zwrócić uwagę na duże zróżnicowanie zarejestrowanych wartości na krzywej prędkości interwałowych w dolnej części kompleksu karbońskiego. Największe różnice zanotowane na tym wykresie i zobrazowane dwukrotną zmianą gradientu w dolnym odcinku krzywej prędkości wygładzonych mają związek, jak wynika z danych otworowych, z obecnością piaskowców formacji Dęblina.

Prędkość kompleksowa 4100 m/s cechuje również górną cześć dewonu dolnego. Ogólnie w obrębie piaskowcowo-mułowcowego dewonu dolnego w obrazie prędkości kompleksowych wydzielają się dwa podkompleksy, tj.: wyżej wymieniony i niższy, o prędkości mniejszej, wynoszącej ok. 3780 m/s. Zróżnicowanie litologiczne utworów dewońskich odwzorowuje krzywa prędkości interwałowych, wydzielając poszczególne warstwy, w tym granicę kontaktu dewonu górnego i dolnego. Podsumowując powyższą analizę wyników pomiarów prędkości sejsmicznych w otworze Wilga IG 1, zmienność średnich wartości prędkości kompleksowych dla poszczególnych wydzieleń stratygraficznych przedstawia się następująco:

- kenozoik: 1760 m/s;
- kreda: 2310–2830–3600 m/s;
- jura górna: 3600–3840 m/s;
- jura środkowa: 3840 m/s;
- jura dolna, środkowa i górna: 3010 m/s;
- trias dolny, cechsztyńska stropowa seria terygeniczna: 3835 m/s;
- cechsztyn: 4210 m/s;
- karbon: 3960–4100 m/s;
- dewon dolny: 4100 m/s;
- dewon dolny: 4100–3780 m/s.

Otrzymane wyniki stanowią istotny wkład do uaktualnienia modelu prędkości, niezbędnego do prawidłowego głębokościowego opracowania materiałów sejsmicznych z rejonu otworu Wilga IG 1. Uwzględnienie w rozkładach prędkości wyników z pomiarów w tym otworze, sięgających 3530,0 m, ułatwi korelację i przyporządkowanie poziomów refleksyjnych na przekrojach do poszczególnych wydzieleń permo-mezozoiku, karbonu i dewonu.

Dodatkowych, istotnych informacji dotyczących istnienia granic refleksyjnych dostarczają wyniki wykonanego w otworze Wilga IG 1 pomiaru pionowego profilowania sejsmicznego (PPS). Taśmy magnetyczne z pomiaru PPS opracowano na centrali cyfrowej MS-421. Opracowanie to składa się z dwóch części. Pierwsza zawiera obróbkę wstępną, polegającą na konwersji analogowo-cyfrowej przy parametrach 0,0. Wykonano tu dwie taśmy zbiorcze, taśmę zbiorczą rejestracji i taśmę zbiorczą momentów wybuchu T_B. Druga część obejmuje obróbkę właściwą w systemie SYSIS. Jest to następujący cykl prac:

- sejsmogram zbiorczy w zapisie „prostym”;
- wprowadzenie poprawki T_B na momenty wybuchu;
- uporządkowanie rejestracji (usunięcie zbędnych rekordów, względnie tras);
- wykonanie centrowania zapisu (F. CENTRAGE);
- wykonanie normalizacji zapisu (F. NORMALIS);
- zastosowanie dwukrotnie filtru wycinającego 50Hz (F. FILTRE);
- wyrównanie dynamiki (F. EGADYN).

W wyniku powyższych operacji otrzymano właściwie opracowany sejsmogram zbiorczy. W celu dokładniejszej korelacji fal odbitych jedno- i wielokrotnie wykonano sumowanie kierunkowe na podstawie hodografu pionowego z głębokiego odwiertu. Sumowanie wykonano na bazie czterech kanałów z zastosowaniem filtracji kierunkowej (wielokanałowej). Sumowanie wykonano w kierunkach „+” i „–” oraz nałożenia tych kierunków. Zastosowany zestaw funkcji do filtracji kierunkowej obejmuje: LIRE FMC, EXE FMC, ECRI FMC. Wyniki analiz PPS wykonanych w otworze przedstawiono w dokumentacji otworowej na sekcji czasowej sumowanej kierunkowo oraz na sekcji zbiorczej. Wyznaczone na sekcji zbiorczej fale odbite znajdują potwierdzenie w danych z sekcji kierunkowego sumowania. Dla każdej fali odbitej na profilu stratygraficznym określono przedziały głębokościowe, z którymi wiązane jest powstawanie refleksów. Długość poszczególnych przedziałów przyjęto umownie jako 50–75-metrowe odcinki, odpowiadające różnicy czasów między dwoma sąsiednimi fazami na sekcji czasowej. Jakość materiałów oceniono jako dobrą, także dla przedziału głębokościowego większego niż 2000,0 m, a więc dla jednostek stratygraficznych starszych od triasu. W szczególności dobrze scharakteryzowano granice odbijające w utworach karbonu i dewonu, co stanowi ważny materiał uzupełniający do danych otrzymanych w wyniku interpretacji pomiaru prędkości średnich.

Na podstawie uzyskanego obrazu falowego stwierdzono, że w całym kompleksie osadowym istnieje bardzo dużo granic odbijających (fig. 62 z zaznaczonymi głównymi granicami odbijającymi). Przedział użytecznego zapisu wynosi 2,1 s. Dobra jakość materiałów pozwala na stosunkowo dokładne określenie głębokości granic odbijających i powiązanie ich z profilem stratygraficznym. Wydzielono tu szereg grup fal odbitych. Otrzymane wyniki zaprezentowano w tabeli 30.

W wyniku przeprowadzonych badań wyinterpretowano wiele realnych granic odbijających. W przedziale czasowym 0,90–1,45 s, związanym z kompleksem permsko-mezozoicznym, występuje grupa granic odbijających wyróżniających się intensywnością zapisu. Jak wynika z danych zawartych w tabeli 30, fale odbite, rejestrujące się przy powierzchni na czasie 0,900–0,930 s, odpowiadają utworom jury górnej, oraz rejestrujące się na czasie 1,060–1,130 s, pochodzą od spągu jury dolnej i stropu triasu górnego. Dynamiką zapisu wyróżnia się 2–3-fazowy refleks dowiązany do przystropowej części jury. Poniżej wymienionego refleksu obserwujemy strefę impulsów zakończoną dość wyraźnym refleksem, który można wiązać ze spągową partią jury lub podścielającymi ją utworami triasu. Odbicia od utworów kredy są mało intensywne. Pojedynczy refleks na czasie 1,350 s przypisano utworom dolnego triasu.

W analizowanym otworze utwory paleozoiczne rozpoczynają się refleksem, stosunkowo dobrze korelującym się na sekcji PPS, związanym z przystropową częścią cechsztynu. Zaznacza się on w postaci 4 faz o wyróżniającej się dynamice, zależnie od zmian miąższości i wykształcenia litologicznego poszczególnych cyklotemów. Grupa fal, rejestrująca się w przedziale czasowym 1,480–1,550 s, wiąże się z granicą odbijającą perm–karbon. W przystropowej części karbonu, bezpośrednio pod permem, zaznacza się refleks, nakładający się na ostatnie fazy impulsu od cechsztynu. Następna grupa refleksów w przedziale od 1,670–1,890 s pochodzi od poszczególnych warstw odbijających w kompleksie karbońskim, zwłaszcza w jego części spągowej. Najbardziej wyróżnia się, dobrze korelujący się na sekcji PPS, refleks powstający w przedziale występowania miąższych serii piaskowców formacji Dęblina, w niższym baszkirze. W pozostałym przedziale baszkiru i moskowu również istnieją refleksy rzeczywiste o wyróżniającej się dynamice, jak np. odbicie zarejestrowane z przedziału głęb. 2650,0–2700,0 m. W utworach serpuchowu i wizenu nie udało się wydzielić silnych fal odbitych. Ostatnia grupa fal, występująca w przedziale 1,940–2,070 s, wiąże się z granicą karbon–dewon i z utworami dewonu, w tym najwyraźniejsza występuje w dewonie górnym (franie). W obrębie dewonu dolnego wyznaczona granica charakteryzuje się słabszą dynamiką.

W całym przedziale czasowym rejestrują się również fale wielokrotne. Powstawanie ich można wiązać z granicą odbijającą ziemia–powietrze i granicą odbijającą w obrębie utworów dewonu dolnego na głęb. ok. 3200,0 m. Przykładem tego może być też fala wielokrotna od utworów jury górnej (na czasie ok. 1 s). Należy podkreślić, że wszystkie odbicia rejestrujące się powyżej czasu użytecznego zapisu, który nie przekracza 2,1 s, uznano za odbicia wielokrotne.

Podsumowując, można stwierdzić, że w profilu otworu Wilga IG 1 istnieją bardzo dobre warunki powstawania fal zarówno jednokrotnie odbitych, zwłaszcza na granicach

jura–trias, perm–karbon, karbon–dewon, jak i fal wielokrotnych. Powyższe wyniki potwierdzają dane uzyskane na podstawie interpretacji pomiarów prędkości średnich. Na sekcji PPS wyznaczono refleksy, które korelują się z granicami wydzielonymi na krzywych prędkościowych, co szczególnie dobrze ilustruje wykres prędkości interwałowych. Są to granice wewnątrz jury górnej, w strefie kontaktu jury dolnej i triasu górnego, w triasie dolnym i cechsztynie oraz szereg odbić w karbonie i dewonie.

Wyniki pionowych profilowań sejsmicznych w otworze Wilga IG 1 charakteryzują obraz falowy w północno-zachodniej części basenu lubelskiego. Analiza w zakresie głębokości i dowiązania stratygraficznego poszczególnych refleksów wyznacza położenie granic odbijających, możliwych do śledzenia powierzchniowymi sejsmicznymi badaniami refleksyjnymi, w tym szczególnie utworów kompleksu paleozoicznego. Na podstawie przedstawionych wyników pomiarów sejsmometrycznych w omawianym otworze

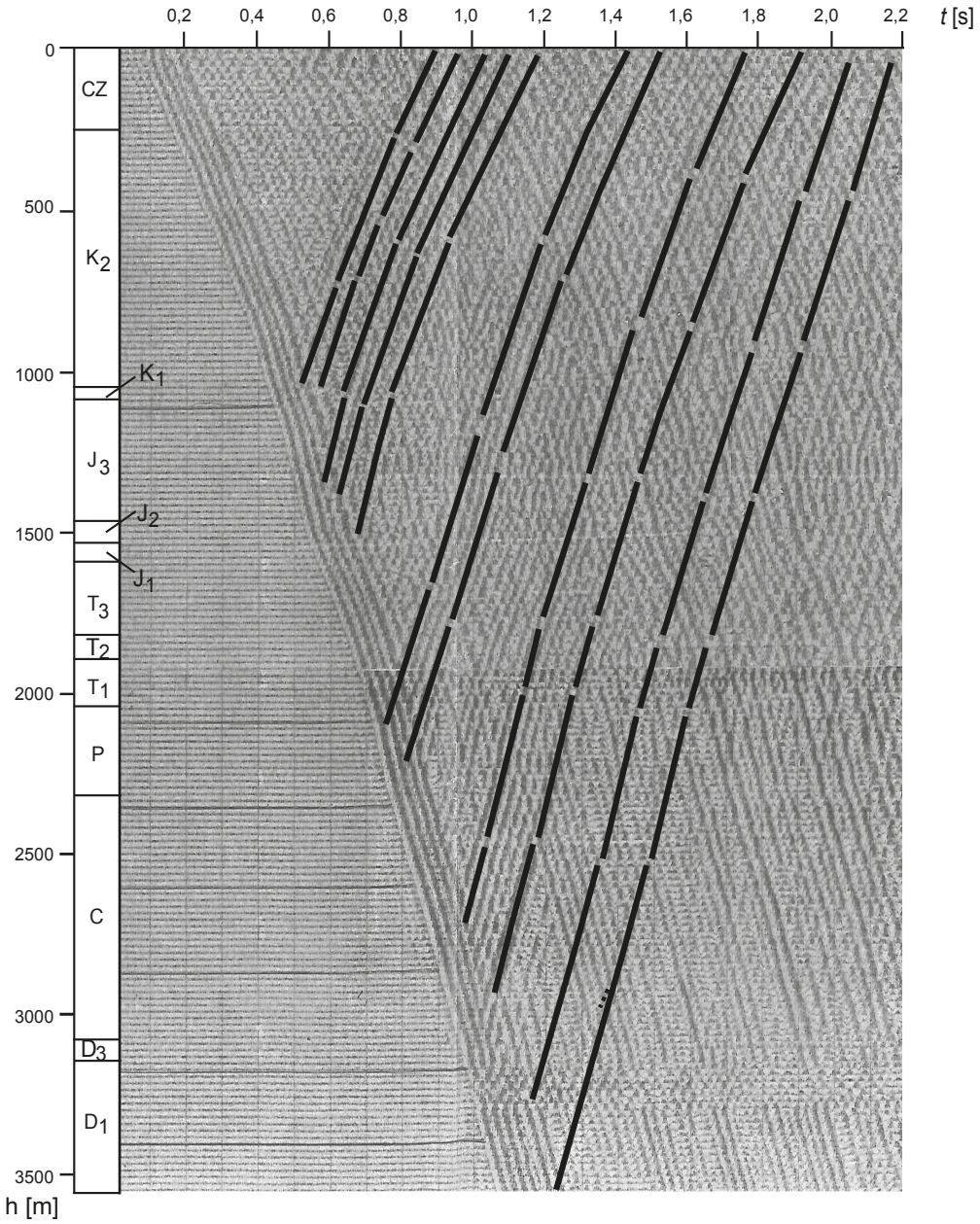


Fig. 62. Pionowe profilowanie sejsmiczne (PPS) (poziom odniesienia 76,0 m n.p.m.)

Objaśnienia symboli stratygraficznych jak na figurze 60

Vertical Seismic Profiling (VSP) (reference level 76.0 m a.s.l.)

Explanations of stratigraphic symbols as in Figure 60

Tabela 30

Pionowe profilowanie sejsmiczne (PPS)

Vertical Seismic Profiling (VSP)

Przybliżona głębokość położenia granic odbijających [m] Approximate depth of seismic reflection boundaries	Czas przyjścia fali na powierzchnię [s] Time of arrival of the wave to the surface	Czas na jakim występuje refleks na profilu sejsmicznym [s] Time of reflection on the seismic line	Stratygrafia Stratigraphy	Współczynnik odbicia Reflection coefficient
1190,0	0,900		jura górna	0,271
1250,0	0,930	0,930		
1530,0	1,060	1,075	jura dolna – część przyspągowa	–0,218
1570,0	1,090	1,100		
1630,0	1,130	1,130	trias górny – część przystropowa	
1970,0	1,350	1,320	trias dolny	0,104
2190,0	1,450		perm – cechsztyn	–0,079
2270,0	1,480			
2310,0	1,510	1,540	karbon – moskow	–0,165
2370,0	1,550	1,545		0,211
2650,0	1,670	1,665	karbon – baszkir	
2710,0	1,690			0,085
2750,0	1,720			
2870,0	1,800			
2950,0	1,830	1,815		0,146
3010,0	1,870		karbon – serpuchow	–0,229
3070,0	1,890		karbon – wizen	0,107
3090,0	1,940	1,930	granica dewon–karbon	–0,080
3230,0	1,980	1,955	dewon dolny	0,091
3370,0	2,070	2,050		

można w obrębie utworów paleozoicznych wyznaczyć trzy charakterystyczne granice odbijające, stanowiące poziomy przewodnie. Zaliczają się do nich: strop cechsztynu, seria piaskowców w niższym baszkirze i granica w strefie kontaktu franu i dewonu dolnego. W nawiązaniu do wyników prac sejsmicznych z otoczenia otworu Wilga IG 1, można potwierdzić, że charakterystyczny refleks powstający w strefie kontaktu franu i dewonu dolnego, obok rejestracji związanych z utworami cechsztynu, należy do najbardziej wyróżniających się w obrębie utworów paleozoicznych. Uzyskane wyniki wskazują, że stanowi on przewodni horyzont w pracach powierzchniowych, którego śledzenie wyznacza obszar występowania dewonu górnego w północno-zachodniej części basenu lubelskiego. Poza tym w utworach podcechsztyńskich, w środkowej części baszkiru i w obrębie dewonu dolnego (lochkowu), zanotowano granice o słabszej dynamice, co wiąże się z drobnowarstwowym wykształceniem tych utworów.