WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Sylwia KIJEWSKA

BADANIA SEJSMICZNE W OTOCZENIU OTWORU

Według podziału jednostek tektonicznych Polski pod pokrywą kenozoiczną (Żelaźniewicz i in., 2011) otwór Szwejki IG 3 jest zlokalizowany w obrębie antyklinorium śródpolskiego, we wschodniej części segmentu kujawskiego. Według analogicznego podziału poniżej pokrywy permsko-mezozoicznej, otwór znajduje się na platformie zachodnioeuropejskiej, w zasięgu orogenu waryscyjskiego, na przecięciu dużych stref uskokowych: uskoku Grójca i uskoku Nowego Miasta (Żelaźniewicz i in., 2011).

Badania sejsmiczne z zapisem cyfrowym w rejonie otworu Szwejki IG 3 są wykonywane od lat 70. XX w. W promieniu 5 km od otworu Szwejki IG 3 wykonano 10 profili sejsmicznych. Do interpretacji wybrano profil 20-8-77K o przebiegu SW–NE pomierzony przez Geofizykę Kraków w 1977 r. (fig. 30). W celu dowiązania danych sejsmicznych do otworu wykorzystano pomiary prędkości średnich oraz krzywej akustycznej. Wspomagano się również opisem litologii wykonanym na podstawie prób okruchowych i rdzeni. Ze względu na duży stopień skomplikowania budowy geologicznej wzięto pod uwagę także otwór Szwejki 1 z 1983 r. (https://otworywiertnicze.pgi.gov.pl/details/15971 [24.10.2024]) zlokalizowany na północny-wschód od otworu Szwejki IG 3.

Na tej podstawie wykonano korelację horyzontów sejsmicznych związanych ze stropem: syluru, dewonu, permu, triasu dolnego, środkowego i górnego, jury dolnej, środkowej i górnej oraz kredy dolnej. Ze względu na bardzo słaby zapis obrazu falowego oraz poziom odniesieniu profilu sejsmicznego (poziom 0 = 100 m n.p.m.), korelacja stropu kredy górnej była niemożliwa. W otworze Szwejki IG 3 głębokość stropu osadów kredy górnej oscyluje w pobliżu granicy zasięgu obrazu sejsmicznego.

Otwór Szwejki IG 3 jest zlokalizowany na południowy-zachód od strefy uskokowej Nowego Miasta w obrębie struktury Szwejki (Dziewińska, 2022). W otworze nawierconych zostało 1275 m osadów dewonu, bezpośrednio na których znajduje się warstwa permu. Na przekroju sejsmicznym w bezpośrednim sąsiedztwie otworu zidentyfikowano dwa uskoki zapadające w kierunku południowo-zachodnim (fig. 30), które rozcinają utwory dewonu, permu, triasu dolnego i wygasają w dolnej części osadów triasu górnego. Obecność jednego z tych uskoków, przechodzącego przez otwór w utworach permskich, potwierdzają również struktury widoczne na rdzeniu (patrz: Jarosiński, ten tom) oraz interpretowane na podstawie geofizyki otworowej na głęb. 4041,0 m (patrz: Szczegółowy profil litologiczno-stratygraficzny – ten tom).

Otwór Szwejki IG 3 odwiercono w pobliżu dużej strefy uskokowej Nowe Miasto, którą ograniczają dwa uskoki: „główny" uskok SW zlokalizowany pomiędzy otworami Szwejki IG 3 i Szwejki 1 oraz uskok NE położony po północno-wschodniej stronie otworu Szwejki 1. Aktywność uskoków można podzielić na kilka etapów związanych ze zmianą pola naprężeń, od utworzenia antykliny w okresie dolnego triasu (struktura Szwejki) i zapoczątkowania utworzenia uskoku, przez ekstensję po kompresję i w konsekwencji inwersję bruzdy śródpolskiej (Krzywiec, 2015). Główny uskok, jest wyraźnie zakorzeniony w utworach podpermskich w pierwszej fazie prawdopodobnie był uskokiem odwróconym o dużym zrzucie skrzydła SW. W skrzydle zrzuconym, poniżej utworów permu znajdują się utwory dewonu, a w skrzydle wiszącym utwory syluru. Jakość danych sejsmicznych oraz brak nawierconych głębszych partii górotworu uniemożliwia wyznaczenie zasięgu uskoku oraz kontaktu sylur–dewon. Uskok NE, antytetyczny do głównego uskoku, jest zakorzeniony w permie i również ma znaczny zrzut, jednak w pierwszej fazie powstawania był uskokiem normalnym. Po pierwszych intensywnych ruchach, dynamika aktywności uskoków spadła, a w czasie inwersji bruzdy doszło do zmiany zwrotu ruchu uskoków, co spowodowało, że warstwy na uskoku SW począwszy od jury środkowej mają zrzut normalny, a na uskoku NE odwrócony. Wewnątrz struktury powstały również uskoki drugorzędne o zrzucie normalnym.

Pierwszy etap powstawania struktury Szwejki, można datować na dolny trias, na co mogą wskazywać wyklinowania i wyraźny spadek miąższości osadów tego wieku. Jak wynika z profili stratygraficznych wybranych otworów oraz charakterystyki sygnału i interpretacji profilu sejsmicznego, warstwę osadów triasu środkowego stwierdzono jedynie w otworze Szwejki IG 3, natomiast w otworze Szwejki 1 bezpośrednio na utworach permu są zdeponowane osady triasu górnego. Przebieg warstw widoczny na interpretacji, pokazuje również ogólny trend spadku miąższości warstw w kierunku NE i równoczesny wzrost głębokości zalegania począwszy od utworów triasu górnego. Jedynie depozycja osadów kredy dolnej wydaje się być stosunkowo równomierna. Nie można natomiast ocenić czy i jak zmieniała się miąższość kredy górnej, gdyż po depozycji i wyniesieniu struktury znaczna część osadów po późnokredowej inwersji bruzdy środkowopolskiej została zerodowana.

Ostatnie ruchy uskoków miały miejsce na przełomie górnej kredy i paleogenu, jednak jednoznaczne określenie czasu jest utrudnione przez erozję, która usunęła część osadów kredy górnej, oraz słabą jakość sygnału sejsmicznego, a niekiedy jego braki, co spowodowane jest prawdopodobnie problemami technicznymi, np. przeszkodami na powierzchni ziemi. Analiza danych regionalnych wskazuje na obecność reżimu transpresyjnego w tej części bruzdy środpolskiej w trakcie późnokredowej reaktywacji uskoków co również może wskazywać na przesuwczy charakter uskoków znajdujących się w rejonie otworu Szwejki IG 3 (Krzywiec i in., 2009).

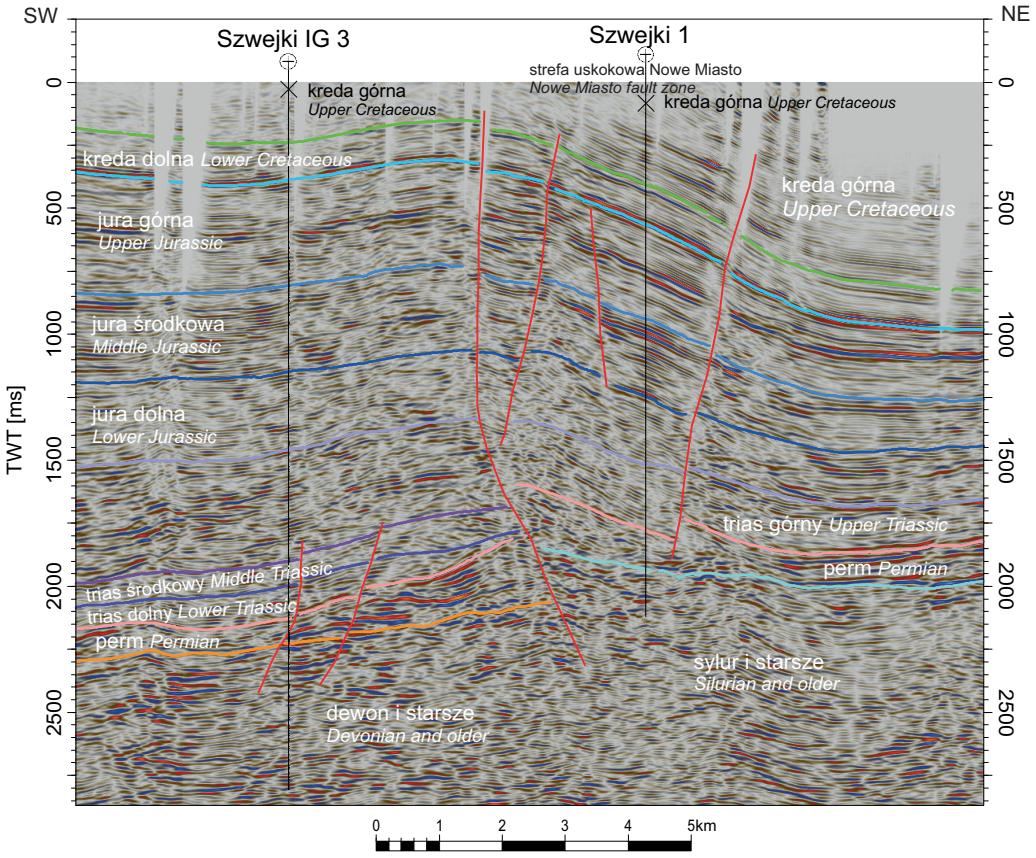


Fig. 30. Fragment czasowego profilu sejsmicznego 20-8-77K z interpretacją

A part of time seismic section 20-8-77K with interpretation

Kinga BOBEK

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

Analizę wyników profilowań z zakresu geofizyki wiertniczej opracowano na podstawie dokumentacji wynikowej otworu badawczego Szwejki IG 3 (Żelichowski i in., 1990) oraz danych cyfrowych zawartych w zbiorach CBDG i zapisanych w formacie LAS. Badania z zakresu geofizyki otworowej zostały wykonane w okresie 09.05.1986–28.08.1988 przez Geofizykę Toruń.

Do głównych celów przeprowadzonych badań geofizycznych zaliczono:
- określenie profilu litostratygraficznego
- wydzielenie poziomów zbiornikowych
- określenie nasycenia i parametrów zbiornikowych w wydzielonych poziomach
- określenie parametrów geotermicznych
- ocenę stanu technicznego otworu: w tym jakości zacementowania rur okładzinowych

ZAKRES WYKONANYCH BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Pomiary geofizyczne w otworze Szwejki IG 3 wykonano w interwale głęb. 0–5502 m w 14 odcinkach pomiarowych. Pomiary prowadzono sondami analogowymi produkcji radzieckiej typu SP – 62 dla profilowań radiometrycznych, SPAK – 4 dla profilowań akustycznych, KS – 3 dla profilowania średnicy, ABKT dla profilowań elektrycznych oraz TEG – 60 dla profilowania temperatury. Podstawowy zestaw pomiarowy obejmował:
- profilowanie oporności potencjałowe (POp);
- profilowanie oporności gradientowe (POg);
- profilowanie potencjałów naturalnych (grad PS);
- profilowanie średnicy otwory (PŚr);
- profilowanie krzywizny otworu (PK);
- profilowanie naturalnego promieniowania gamma (PG);
- profilowanie neutron – gamma (PNG, lgPNG);
- boczne profilowanie oporności (BSO);

Do kompletu pomiarów podstawowych dołączono także pomiary uzupełniające:
- sterowane profilowanie oporności (POst);
- mikroprofilowanie oporności (mPO);
- profilowanie temperatury (PT);
- profilowanie indukcyjne (PI);
- profilowanie gamma–gamma gęstościowe (PGG);
- profilowanie akustyczne (T1, T2, PA – DT).

Pomiary średnicy odwiertu Szwejki IG 3 były wykonywane przy średnicy nominalnej wynoszącej:
- 560 mm na głęb. 0–65 m;
- 438 mm na głęb. 65–194 m;
- 308 mm na głęb. 797–3993 m;
- 216 mm na głęb. 3993–4312 m;
- 143 mm na głęb. 4306–5502 m.

Pomiary w prawie wszystkich odcinkach pomiarowych były wykonane w dostatecznym zakresie, a uzyskane wyniki były zadowalającej jakości. Poza podstawowymi i uzupełniającymi pomiarami na głęb. 1500–2800 m wykonano również dodatkowe pomiary mikroprofilowania średnicy (mPŚr) oraz oporności krótką sondą gradientową (mPO) w celu określenia miejsca ewentualnego przerwania rur okładzinowych. W interpretacji uzyskanych wyników wykorzystano wszystkie krzywe pomiarowe w formie nieprzetworzonej lub w postaci znormalizowanej oraz pomiary laboratoryjne porowatości i przepuszczalności skał.

Dokładne interwały głębokościowe wykonanych profilowań geofizyki otworowej (wg spisu wykonanych badań z dokumentacji wynikowej (Żelichowski i in., 1990) i informacji zamieszczonych na stronie CBDG) wraz z datami ich wykonania oraz średnicą nominalną otworu podczas realizacji pomiarów wymieniono w Tabeli 14. Pogrubioną czcionką oznaczono profilowania, które są dostępne w CBDG w wersji cyfrowej (pliki w formacie LAS), pozostałe – w Narodowym Archiwum Geologicznym PIG-PIB są jedynie w formie papierowej. Posiadany zakres badań geofizycznych uniemożliwia szczegółowe rozpoznanie profilu wiercenia ze względu na możliwości sprzętowe urządzeń stosowanych w latach 80. XX w. Jakość takich pomiarów zdecydowanie odbiegała od tych, realizowanych współcześnie.

DIGITALIZACJA I NORMALIZACJA PROFILOWAŃ GEOFIZYCZNYCH

Najważniejsze pomiary geofizyczne wykonane w otworze Szwejki IG 3 obejmujące profilowanie średnicy, profilowania radiometryczne, elektrometryczne i akustyczne poddano cyfryzacji w ramach prac interpretacyjnych PIG-PIB w latach 90. XX w., związanych z uzupełnianiem bazy CBDG o badania geofizyki otworowej. Wybrane po-

Tabela 14

Wykaz badań geofizyki otworowej

List of well logs

Data wykonania pomiaru Date of measurement	Rodzaj pomiaru (skrót) Type of measurment (abbreviated)	Interwał głębokościowy pomiaru Depth interval [m]	Średnica nominalna otworu Bit Size [mm]
09–10.05.1986	**PG**	0,00–190,00	do głęb. 65 m – 560 mm na głęb. 65–194 m – 438 mm
	PNG	0,00–190,00	
	PŚr	43,00–189,00	
	PO (EL09)	0,00–190,00	
	PO (EN10)	0,00–190,00	
	PS	0,00–190,00	
	PK	0,00–190,00	
30–31.05.1986	**PŚr**	170,00–790,00	na głęb. 194–797 m – 438 mm od głęb. 797 m – 308 mm
	PO (EL09)	170,00–790,00	
	PO (EN10)	170,00–790,00	
	PS	170,00–790,00	
	PG	140,00–795,00	
	PNG	140,00–795,00	
	PT	140,00–795,00	
01–02.07.1986	**PŚr**	791,00–1249,00	308
	BSO	797,00–1249,00	
	PK	797,00–1249,00	
	POst (LL3)	797,00–1249,00	
	PO (EL09)	797,00–1249,00	
	PO (EN10)	797,00–1249,00	
	PA: T1	735,00–1249,00	
	PA: T2	735,00–1249,00	
	PA: DT	775,00–1249,00	
	PS	797,00–1249,00	
	PG	735,00–1249,00	
	PNG	735,00–1249,00	
	PT	735,00–1249,00	
	PAc	0,00–797,00	
25–26.07.1986	**PŚr**	797,00–1840,00	308
	PK	1200,00–1840,00	
	BSO	1200,00–1840,00	
	PO (EL02)	1200,00–1840,00	
	PO (EL03)	1200,00–1840,00	
	PO (EL09)	1200,00–1840,00	
	PO (EL14)	1200,00–1840,00	
	PO (EL26)	1200,00–1840,00	
	PO (EN10)	1200,00–1840,00	
	POst (LL3)	1190,00–1840,00	
	PS	1180,00–1840,00	
	PG	1190,00–1840,00	
	PNG	1190,00–1840,00	
22–23.08.1986	**PŚr**	796,00–2397,00	308
	PK	1790,00–2400,00	
	BSO	1790,00–2400,00	
	mPO	1790,00–2400,00	
	PO (EL02)	1790,00–2390,00	
	PO (EL03)	1790,00–2390,00	
	PO (EL09)	1790,00–2390,00	
	PO (EL14)	1790,00–2390,00	
	PO (EL26)	1790,00–2390,00	
	PO (EN10)	1790,00–2390,00	
	POst (LL3)	1780,00–2390,00	
	PI (IL)	1780,00–2390,00	
	PA: T1	1190,00–2400,00	
	PA: T2	1190,00–2400,00	
	PA: DT	1190,00–2400,00	

Tabela 14 cd.

Data wykonania pomiaru Date of measurement	Rodzaj pomiaru (skrót) Type of measurment (abbreviated)	Interwał głębokościowy pomiaru Depth interval [m]	Średnica nominalna otworu Bit Size [mm]
22–23.08.1986	**PG**	1790,00–2400,00	308
	PNG	1790,00–2400,00	
	PGG (GGDN)	1190,00–2400,00	
	PT (TEMP)	2276,00–2400,00	
14–15 i 19.10.1986	**PŚr**	797,00–2921,00	308
	BSO	2340,00–2956,00	
	PK	2340,00–2956,00	
	PO (EL02)	2340,00–2956,00	
	PO (EL03)	2340,00–2956,00	
	PO (EL09)	2340,00–2956,00	
	PO (EL14)	2340,00–2956,00	
	PO (EL26)	2340,00–2956,00	
	PO (EN10)	2340,00–2956,00	
	POst (LL3)	2325,00–2921,00	
	PA: T1	2340,00–2921,00	
	PA: T2	2340,00–2921,00	
	PA: DT	2340,00–2921,00	
	PG	2340,00–2921,00	
	PNG	2340,00–2921,00	
	PGG (GGDN)	2340,00–2956,00	
	PT	2340,00–2956,00	
12–13.12.1986	**PŚr**	797,00–3365,00	308
	PS	797,00–3365,00	
	PK	2870,00–3365,00	
	BSO	2870,00–3365,00	
	PO (EL02)	2870,00–3365,00	
	PO (EL03)	2870,00–3365,00	
	PO (EL09)	2870,00–3365,00	
	PO (EL14)	2870,00–3365,00	
	PO (EL26)	2870,00–3365,00	
	PO (EN10)	2870,00–3365,00	
	POst (LL3)	2870,00–3365,00	
	PA: T1	2865,00–3365,00	
	PA: T2	2865,00–3365,00	
	PA: DT	2865,00–3365,00	
	PG	2870,00–3365,00	
	PNG	2870,00–3365,00	
	PT	2870,00–3365,00	
25–27.03.1987	**PŚr**	797,00–3718,00	308
	PS	797,00–3725,00	
	BSO	3300,00–3717,00	
	PK	3300,00–3717,00	
	PO (EL02)	3300,00–3717,00	
	PO (EL03)	3300,00–3717,00	
	PO (EL09)	3300,00–3717,00	
	PO (EL14)	3300,00–3717,00	
	PO (EL26)	3300,00–3717,00	
	PO (EN10)	3300,00–3717,00	
	POst (LL3)	3550,00–3717,00	
	PA: T1	3300,00–3717,00	
	PA: T2	3300,00–3717,00	
	PA: DT	3300,00–3717,00	
	PG	2275,00–3717,00	
	PNG	2275,00–3717,00	
	PT	2275,00–3717,00	
11–13 i 19.06.1987	**PŚr**	797,00–3993,00	308
	PS	797,00–3993,00	
	BSO	3665,00–3993,00	

Tabela 14 cd.

Data wykonania pomiaru Date of measurement	Rodzaj pomiaru (skrót) Type of measurment (abbreviated)	Interwał głębokościowy pomiaru Depth interval [m]	Średnica nominalna otworu Bit Size [mm]
11–13 i 19.06.1987	PK	3665,00–3993,00	308
	PO (EL02)	3665,00–3993,00	
	PO (EL03)	3665,00–3993,00	
	PO (EL09)	3665,00–3993,00	
	PO (EL14)	3665,00–3993,00	
	PO (EL26)	3665,00–3993,00	
	PO (EN10)	3665,00–3993,00	
	POst (LL3)	3700,00–3993,00	
	PA: T1	3650,00–3993,00	
	PA: T2	3650,00–3993,00	
	PA: DT	3650,00–3993,00	
	PG	3650,00–3993,00	
	PNG	3650,00–3993,00	
	PT	3665,00–3993,00	
01–02.10.1987	PAc	10,00–3179,00	560
	mPŚr	1500,00–2800,00	438
	POg	1500,00–2800,00	
	PT	5,00–3175,00	308
18–20.12.1987	**PŚr**	3993,00–4312,00	216
	PK	3993,00–4312,00	
	BSO	3993,00–4312,00	
	PO (EL09)	3993,00–4312,00	
	PO (EN10)	3993,00–4312,00	
	POst (LL3)	3993,00–4312,00	
	PA: T1	3910,00–4312,00	
	PA: T2	3910,00–4312,00	
	PA: DT	3910,00–4312,00	
	PG	3932,00–4312,00	
	PNG	3932,00–4312,00	
	PGG (GGDN)	3993,00–4312,00	
	PT	4006,00–4232,00	
24–25.01.1988	**PŚr**	4306,00–4540,00	143
	BSO	4306,00–4540,00	
	PK	4306,00–4540,00	
	PO (EL09)	4306,00–4540,00	
	PO (EN10)	4306,00–4540,00	
	POst (LL3)	4306,00–4540,00	
	PA: T1	4306,00–4540,00	
	PA: T2	4306,00–4540,00	
	PA: DT	4306,00–4540,00	
	PG	4260,00–4526,00	
	PNG	4260,00–4526,00	
	PGG (GGDN)	4306,00–4540,00	
	PT	4306,00–4540,00	
24.01.1988	PAc	3776,00–4313,00	216 143
12–14.04.1988	**PŚr**	4500,00–4975,00	143
	BSO	4493,00– 4975,00	
	PK	4493,00– 4975,00	
	PO (EL09)	4493,00– 4975,00	
	PO (EN10)	4493,00– 4975,00	
	PA: T1	4493,00– 4975,00	
	PA: T2	4493,00– 4975,00	
	PA: DT	4493,00– 4975,00	
	PG	4477,00– 4975,00	
	PNG	4477,00– 4975,00	
	PGG (GGDN)	4493,00– 4975,00	
	PT	4865,00–4950,00	

Tabela 14 cd.

Data wykonania pomiaru Date of measurement	Rodzaj pomiaru (skrót) Type of measurment (abbreviated)	Interwał głębokościowy pomiaru Depth interval [m]	Średnica nominalna otworu Bit Size [mm]
25–28.05.1988	**PŚr**	4950,00–5220,00	143
	BSO	4925,00–5280,00	
	PK	4925,00–5280,00	
	PO (EL09)	4950,00–5220,00	
	PO (EN10)	4950,00–5220,00	
	PA: T1	4917,00–5280,00	
	PA: T2	4917,00–5280,00	
	PA: DT	4917,00–5280,00	
	PG	4917,00–5280,00	
	PNG	4917,00–5280,00	
	PGG (GGDN)	4950,00–5220,00	
	PT	5112,00–5280,00	
01– 02.07.1988	**PŚr**	**5211,00–5495,00**	143
	BSO	5200,00–5495,00	
	PK	5200,00–5502,00	
	PO (EL09)	5211,00–5495,00	
	PO (EN10)	5211,00–5495,00	
	PG	5200,00–5502,00	
	PNG	5200,00–5502,00	
	PGG (GGDN)	5211,00–5495,00	
	PT	5200,00–5502,00	
	Profilomierz	4310,00–5497,00	
01–02.08.1988	**PT (TEMU)**	20,00–4625,00	143
09.08.1998	PAc	3100,00–3783,00	143
06.09.1988	PNG (reper)	4170,00–4300,00	

PK – profilowanie krzywizny otworu; BSO – boczne profilowanie oporności; PŚr – profilowanie średnicy; mPŚr – mikroporfilowanie średnicy; PG – profilowanie naturalnej promieniotwórczości gamma; PGG – profilowanie gamma–gamma gęstościowe; PNG – profilowanie neutron–gamma; PT – profilowanie temperatury; PS – profilowanie naturalnych potencjałów; PO – profilowanie oporności (EL – gradientowe [POg]; EN – potencjałowe [POp]); POst – sterowane profilowanie oporności; mPO – mikroprofilowanie oporności; PI – profilowanie indukcyjne; PA – profilowanie akustyczne (DT – czas interwałowy; T1, T2 – czasy dojścia fali P do nadajników 1 i 2); PAc – profilowanie cementomierzem akustycznym; Pogrubiono czcionkę w przypadku profilowań dostępnych w formie cyfrowej

PK – deviation log; BSO – lateral resistivity; PŚr – caliper; mPŚr – micro caliper; PG – gamma ray log; PGG – density log; PNG – neutron–gamma ray log; PT – thermal neutron log; PS – spontaneous potential log; PO – conventional electrical log (EL – lateral [POg]; EN – normal [POp]); POst – laterolog; mPO – microlaterolog (ML); PI – induction log; PA – sonic log (DT – delta T; T1, T2 – P wave travel time at detector 1 and 2); PAc – cement bond log. The font has been bolded in the case of digitalized curves

miary, w tym profilowanie naturalnego promieniowania gamma (PG) oraz neutron – gamma, połączono oraz poddano normalizacji. Zastosowana w trakcie prac metodyka standaryzacji profilowań radiometrycznych została opisana w pracach Szewczyka (1998, 2000). Scyfrowane odcinkowe i połączone (composite log) dane geofizyczne dla otworu Szwejki IG 3 w formacie LAS (Log ASCII Standard) znajdują się w Centralnej Bazie Danych Geologicznych (nr identyfikacyjny 15998). Graficzne zestawienie dostępnych, cyfrowych pomiarów geofizycznych dostępnych w CBDG zamieszczono na figurze 31. Analiza danych pobranych z bazy wykazała, że dostępna połączona, znormalizowana i przeliczona z jednostek cpm (counts per minute) do API (American Petroleum Institute) krzywa profilowania gamma zawiera liczne błędy. W związku z tym, w ramach niniejszego opracowania została ona ponownie przeliczona i połączona, w celu zniwelowania nieuzasadnionych skoków wartości widocznych na krzywej dostępnej w CBDG. Dostępne krzywe połączone dla profilowania średnicy (CALI), przeliczoną ponownie krzywą gamma (GR), profilowanie neutron-gamma (NEGR), profilowanie akustyczne (DT), oraz profilowania elektrometryczne (EL09 i EN10) wraz z uproszczonym profilem stratygraficznym zamieszczono na figurze 32.

OCENA JAKOŚCI DANYCH I STANU OTWORU

W otworze Szwejki IG 3 wiarygodna analiza danych geofizycznych jest znacząco utrudniona ze względu na zastosowanie nieskalibrowanej aparatury pomiarowej. Wynika to przede wszystkim z odmiennych parametrów technicznych urządzeń stosowanych w tamtym czasie oraz rejestracji pomiarów radiometrycznych (PG, PNG oraz GGDN) w niestandardowych jednostkach imp/min (impulsy na minutę) (cpm – *counts per minute*). Dlatego też, przed przystąpie-

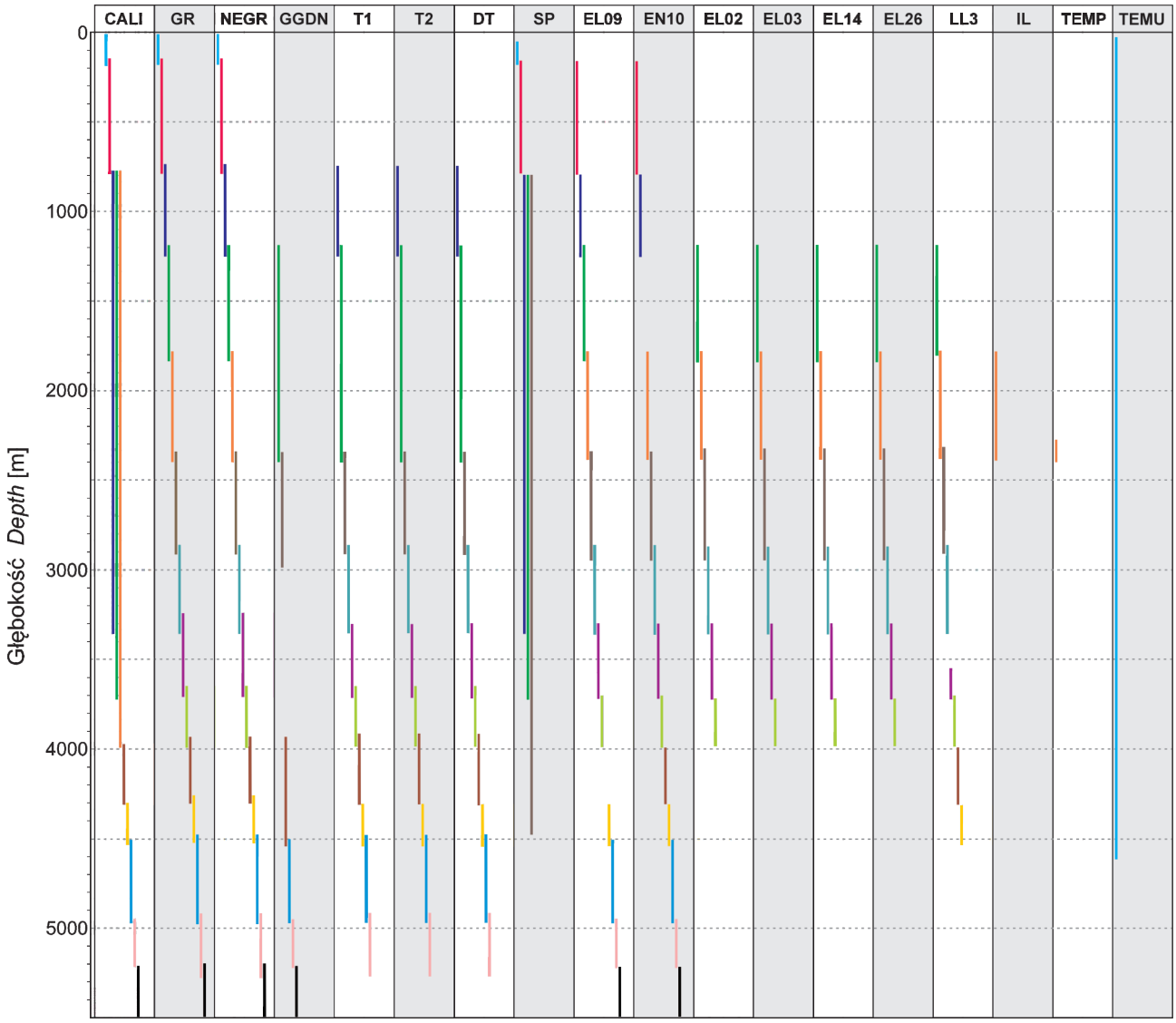


Fig. 31. Schematyczne zestawienie głębokościowe scyfrowanych badań geofizycznych

Rodzaje zestawionych profilowań geofizycznych: CALI – profilowanie średnicy otworu; GR – profilowanie naturalnej promieniotwórczości gamma; NEGR – profilowanie neutron-gamma; GGDN – profilowanie gamma-gamma gęstościowe; T1 – czas interwałowy T1; T2 – czas interwałowy T2; DT – profilowanie akustyczne czasu interwałowego; SP – profilowanie potencjałów naturalnych; EL – gradientowe profilowanie oporności (EL02; EL03; EL09; EL14; EL26); EN – potencjałowe profilowanie oporności (EN10); LL3 – sterowane profilowanie oporności; IL – profilowanie indukcyjne, TEMP – profilowanie temperatury w warunkach nieustalonych; TEMU – profilowanie temperatury w warunkach ustalonych

Schematic representation of digitalized well logging measurements

Well logging types: CALI – caliper; GR – gamma ray log; NEGR – neutron-gamma log; GGDN – density log; T1 – interval time T1; T2 – interval time T2; DT – compressional slowness; SP – spontaneous potential log; EL – lateral conventional electrical log (EL02; EL03; EL09; EL14; EL 26); EN 10 – normal conventional electrical log; LL3 – laterolog; IL – induction log, TEMP, TEMU – temperature logs

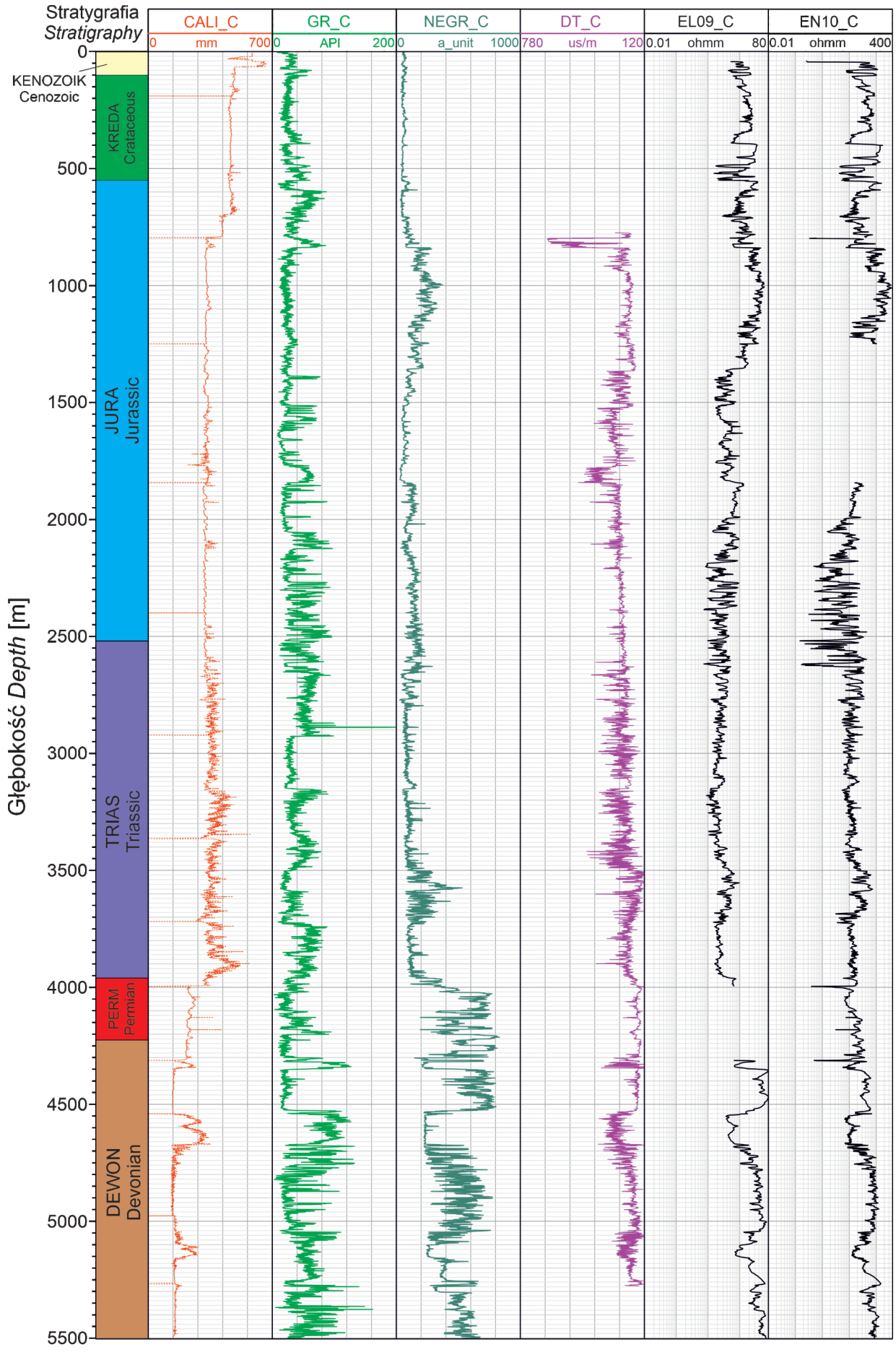
→

Fig. 32. Zestawienie dostępnych połączonych i znormalizowanych profilowań geofizycznych

CALI_C – profilowanie średnicy; GR_C – unormowane profilowanie gamma; NEGR_C – profilowanie neutron-gamma; DT_C – profilowanie akustyczne czasu interwałowego; EN10_C – potencjałowe profilowanie oporności; EL09_C – gradientowe profilowanie oporności

Presentation of merged and normalized geophysical well logs

CALI_C – caliper log; GR_C – normalized natural gamma ray log; NEGR_C –neutron-gamma ray log; DT_C – sonic – compressional slowness; EN10_C – normal conventional gradient resistivity; EL09_C – lateral conventional gradient resistivity


Stratygrafia
Stratigraphy
CALI_C
0 mm 700
GR_C
0 API 200
NEGR_C
0 a_unit 1000
DT_C
780 us/m 120
EL09_C
0.01 ohmm 80
EN10_C
0.01 ohmm 400
KENOZOIK
Cenozoic
KREDA
Cretaceous
JURA
Jurassic
TRIAS
Triassic
PERM
Permian
DEWON
Devonian
Głębokość Depth [m]
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
5500

niem do procedury interpretacyjnej konieczne było znormalizowanie i skalibrowanie krzywych radiometrycznych (w szczególności PG) i przeliczenie ich do standardowych, stosowanych współcześnie jednostek API (PG i PNG).

Odwiert Szwejki IG 3 osiągnął dość znaczną jak na ówczesne warunki głęb. 5501 m w trudnych warunkach otworowych (ciśnienia i temperatury), skutkujących uszkodzeniami rur okładzinowych, powstawaniem wyrębów i bardzo nieregularną średnicą. Stąd wiele z wykonanych profilowań geofizyki otworowej jest obarczone błędami wynikającymi ze złego stanu technicznego ścian otworu. Ocenę jakości ścian przeprowadzono na postawie profilowania średnicy (PŚr/CALI), które jest dostępne w całym profilu otworu. W najwyższym odcinku pomiarowym (0–65 m), średnica otworu jest regularnie wydłużona w zakresie od 20 do ponad 100 mm, co sugeruje znaczne wymycie ścian i znacząco obniża wiarygodność wyników pomiarów prowadzonych w tym interwale. W kolejnym odcinku, na głęb. 65–797 m, średnica otworu jest istotnie wydłużona tylko w najwyższych patiach górnej kredy. Poniżej, wydłużenie średnicy spada stopniowo do ok. 20 mm. Drobne kawerny w wapieniach jury górnej, gdzie średnica otworu wzrasta z 308 mm do maksymalnie 358 mm obserwuje się na głęb. 1040–1105 oraz 1260–1335 m. Niewielkie wymycia związane z występowaniem wkładek ilastych w obrębie piaszczystych formacji jury środkowej widoczne są na głęb. 1386–1398, 1467–1670 oraz 1767–1856 m, gdzie średnica otworu wzrasta z nominalnych 308 mm do maksymalnie 372 mm. Podobny efekt zaobserwowano w stropowej części jury dolnej, gdzie w wyniku wymycia materiału ilastego nastąpiło zwiększenie średnicy otworu o 80 mm na głęb. 1922–1926 m oraz o ok. 60 mm na głęb. 2090–2124 m. Znaczne zniszczenie ścian otworu spowodowane wymywaniem skał ilastych lub powstawaniem struktur typu breakout obserwuje się w całym interwale obejmującym utwory triasu, gdzie średnica odwiertu wynosi 320–546 mm, co oznacza wzrost w stosunku do średnicy nominalnej o wartości w zakresie od kilku do 238 mm. Na głęb. 4020–4132 m jest widoczne zwiększenie średnicy otworu z nominalnych 216 mm do maksymalnie 280 mm. Zaobserwowana zmiana średnicy na tej głębokości jest związana z wymywaniem silnie spękanych (strefa uskokowa) anhydrytów. W interwale obejmującym formacje górnego dewonu, średnica odwiertu jest w większości zbliżona do nominalnej. Wyjątek w tym przypadku stanowi interwał 4317–4347 m, gdzie następuje wydłużenie średnicy o nawet 100 mm, które wynika z wymywania materiału ilastego. Podobne zjawisko zaobserwowano również w dewonie środkowym, na dwóch głęb.: 4541–4674 oraz 5044–5161 m, gdzie średnicy otworu wzrasta z nominalnych 143 mm do 346 mm.

W celu ustalenia stopnia geotermicznego w otworze Szwejki IG 3 wykonano również profilowanie temperatury po trzytygodniowej stójce na głęb. 116,0–4625,0 m. Średni gradient geotermiczny dla otworu wynosi 2,22°C/100 m, a średni stopień geotermiczny Hśr =50,8 m/°C. Wartości gradientu i stopnia geotermicznego dla poszczególnych poziomów stratygraficznych przedstawiono w tabeli 15.

Tabela 15

Gradient i stopień geotermiczny dla poszczególnych wydzieleń stratygraficznych

Geothermal gradient and degree for individual stratigraphic intervals

Stratygrafia Stratigraphy	Interwał Depth interval [m]	Stopień geotermiczny Geothermal degree [m/°C]	Gradient geotermiczny Geothermal gradient [°C/100 m]
Kenozoik Cenozoik	0,00–116,00	–	–
Kreda Cretaceous	116,00–394,00	49,3	2,16
	394,00–551,00	44,9	2,22
Jura Jurassic	551,00–1522,00	53,4	1,87
	1522,00–2125,00	51,1	1,92
	2125,00–2652,00	58,5	1,70
Trias Triassic	2652,00–3502,00	42,5	2,35
	3502,00–3586,00	41,0	2,38
	3586,00–3961,0	41,9	2,10
Perm Permian	3961,0–4301,0	85,0	1,18
Dewon Devonian	4301,0–4625,0	40,5	2,47

OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ POD KĄTEM OKREŚLENIA LITOLOGII

Interpretację danych geofizyki wiertniczej przeprowadzono dla całego profilu otworu Szwejki IG 3 (głęb. 0–5502 m), w zakresie zgodnym z dostępnością krzywych koniecznych do osiągnięcia konkretnego celu jakim jestokreślenie litologii i stratygrafii przewiercanych skał – przeprowadzono dla pełnego profilu otworu na postawie CALI, GR, EL09, EN10 i DT.

Każdy z analizowanych poziomów litostratygraficznych posiada odmienne właściwości geofizyczno – petrofizyczne. W najwyższej części profilu dominują czwartorzędowe piaski, żwiry i gliny zwałowe, które charakteryzują się niewielką zmiennością na krzywej PG oraz niestabilnym zapisem profilowania średnicy. W obrębie neogenu i paleogenu obserwuje się wzrost wartości na krzywej PG oraz spadek wartości profilowań oporności EL i EN na głęb. 62–67 oraz 78–89 m, co jest związane z występowaniem iłów piaszczystych. Spadek wartości krzywej PG i wzrost wartości na krzywych oporności obserwuje się natomiast w interwałach 66–78 i 89–101 m i jest to efekt występowania piasków drobnoziarnistych. Poniżej w interwale od 104 do 354 m, w obrębie górnej kredy krzywa PG utrzymuje stabilne, stosunkowo niskie wartości, co w zestawieniu z krzywymi oporności sugeruje występowanie ciągłego profilu węglanów (wapienie). Interwał głębokościowy odpowiadający formacjom kredy dolnej charakteryzuje się systematycznymi spadkami PG przy jednoczesnym wzroście wartości profilowań oporności na głęb.: 354–393,5, 450–459,6, 482,5–496 oraz 514,5–551 m, co wskazuje na występowanie warstw piaszczystych. Pomiędzy tymi interwałami na głęb. 393,5–449 m, 459,6–482,5 oraz 496–514,5 m wartości PG wrastają przy jednoczesnym spadku oporności sugerując występowanie wkładek ilastych. W stropowej części górnej jury, na głęb. 550–591 m widoczny jest spadek PG, niewielki wzrost PNG oraz wzrost profilowań oporności wskazujące na występowanie wapieni. Poniżej (interwał 591–709 m) widoczne są stosunkowo wysokie wartości zapisu PG, wyraźny spadek oporności i niewielki spadek PNG sugerujące istotny wzrost zailenia, wskazujący na występowanie mułowców lub/i margli. Wskazania profilowań geofizycznych na głęb. 709–795 m wskazują natomiast na wzrost zawartości węglanów w profilu i większy udział wapieni. Znaczny wzrost zailenia (krzywa PG) widoczny jest natomiast poniżej, na głęb. 795–839 m co jest zapewne związane z występowaniem większej ilości margli. Poniżej, do głęb. 1355 m, zapis krzywych PG, PA i PNG jest stosunkowo stabilny, a osiągane wartości wskazują na występowanie wapieni. Formacje jury środkowej (głęb. 1355–1927,5 m) charakteryzują się zmiennym zapisem wartości na krzywej PG, obniżonymi wartościami PNG oraz podwyższonymi i niestabilnymi wartościami profilowania akustycznego. Taki zapis wskazuje na występowanie kompleksów piaszczystych o zróżnicowanych, ale stosunkowo wysokich porowatościach, które przewarstwione są skałami o wyższym zaileniu (iłowce, mułowce). Zbliżony, ale bardziej stabilny w przypadku profilowań akustycznych zapis krzywych obserwowany jest w obrębie jury dolnej (do głęb. 2519 m). W tym interwale, zapis PG osiąga jednak widocznie wyższe wartości niż w jurze środkowej, co sugeruje większych udział materiału ilastego. Najwyższa partia górnego triasu, w zakresie głęb. 2519–2652 m charakteryzuje się dużą zmiennością wartości na krzywej PG oraz profilowaniach oporności EL09 i EN10, przy jednocześnie stabilnym zapisie PNG i krzywej DT. Taki układ sugeruje występowanie klastyków gruboziarnistych (piaskowce) o stosunkowo niskiej i stałej porowatości z licznymi przewarstwieniami klastyków drobnoziarnistych (mułowce, iłowce). Poniżej, na głęb. 2652–2926 m krzywa PG osiąga stabilne, stosunkowo wysokie wartości, w zakresie 50–200 API wskazując na dominację skał z dużą zawartością materiału ilastego. W interwale 2926–3152 m, wartości krzywych PG i PNG są generalnie niskie i słabo zmienne, natomiast zapis profilowania akustycznego jest stosunkowo wysoki, ale bardzo niestabilny. Widoczny zapis wymienionych krzywych wskazuje na występowanie piaskowców, o możliwie dobrych parametrach zbiornikowych, które jednak są trudne do określenia za względu na duże zniszczenie otworu w tym interwale, negatywnie wpływające na dokładność zapisu krzywej akustycznej. W dolnej partii górnego triasu, w zakresie głęb. 3152–3483 m widoczny jest ogólny wzrost wartości PG wskazujący na wzrost zailenia. Krzywa akustyczna podobnie jak w wyższych interwałach charakteryzuje się tutaj bardzo niestabilnym zapisem i osiąga stosunkowo wysokie wartości od 200 µs/m do 426 µs/m, co jest związane ze złym stanem otworu. W triasie środkowym (głęb. 3483–3586 m) widoczny jest spadek wartości PG oraz PA, przy jednoczesnym wzroście wartości na krzywych PNG i profilowaniach oporności, co sugeruje występowanie skał węglanowych w tym interwale. W górnej partii triasu dolnego, w interwale głęb. 3586–3728 m widoczna jest duża zmienność wartości krzywych na PG, PNG i PA, która wskazuje na występowanie poziomów piaszczystych z dodatkiem skał ilasto-mułowcowych o zmiennych parametrach petrofizycznych. W niższej partii dolnego triasu (głęb. 3728–3960 m), wartości krzywej PG znacząco wzrastają, natomiast krzywe PNG i PA stabilizują się na stosunkowo niskim poziomie, co wskazuje na zwiększenie się udziału materiału ilastego w obrębie tego interwału i znaczny spadek własności zbiornikowych. W najwyższej części permu, w interwale głęb. 3960–4023 m, krzywa PG osiąga wartości w zakresie 30–60 API, natomiast wartości krzywych PA i PNG systematycznie spadają wraz z głębokością. Taki zapis wskazuje na stopniowy spadek zailenia oraz własności zbiornikowych przewiercanych skał. Zgodnie z opisem litologicznym, związane jest to z występowaniem anhydrytów poziomu A2, których udział z głębokością maleje w stosunku do pojawiających się dolomitów. Na głęb. 4023–4102 m krzywe PG i PA osiągają stabilne i niskie wartości wskazując na występowanie ewaporatów nie posiadających własności zbiornikowych. W niższej partii cechsztynu, wartości PG

i PNG są zmienne wskazując na zróżnicowaną zawartość materiału ilastego w występujących tutaj dolomitach i anhydrytach. W dewonie górnym, w najwyższej partii (głęb. 4226–4300 m) wartości PG i PA są niskie i stabilne, wskazując na występowanie słabo przepuszczalnych węglanów. Na głęb. 4300–4350 m jest widoczny natomiast znaczący wzrost wartości PG i PŚr, oraz duże skoki wartości na krzywej PA. Taki stan rzeczy wynika z pojawieniem się w tym interwale kompleksu skał ilastych, które zostały wymyte podczas wiercenia, co spowodowało zwiększenie średnicy otworu i niestabilny zapis PA. W niższej partii górnego dewonu, na głęb. 4350–4528 m PA i PG ponownie osiągają stabilne i niskie wartości, natomiast wartości profilowania oporności wzrastają, wskazując na dominację wapieni w tym interwale. Dewon środkowy charakteryzuje się dużą zmiennością wartości PG i PNG oraz dużą niestabilnością zapisu PA skorelowaną ze zwiększonymi wartościami PŚr. Taki zapis krzywych wskazuje na występowanie grubych pokładów skał ilastych, które są przewarstwione węglanami o słabych własnościach zbiornikowych.

WYZNACZENIE PARAMETRÓW PETROFIZYCZNYCH SKAŁ NA PODSTAWIE KRZYWYCH GEOFIZYCZNYCH

Metodyka

Ważnym elementem interpretacyjnym było wyznaczenie wartości parametrów petrofizycznych, takich jak wielkość zailenia, porowatość całkowita, porowatość efektywna oraz przepuszczalność i tym samym wskazanie potencjalnych poziomów o własnościach zbiornikowych w zakresie głęb. 840–5275 m, na podstawie krzywych CALI, NEGR, DT i GR. W celu wyznaczenia objętościowego udziału frakcji ilastej w skałach najczęściej wykorzystuje się profilowanie gamma, co wynika z generalnie wyższej radioaktywności minerałów ilastych w porównaniu z innymi minerałami. W przypadku otworu Szwejki IG 3 parametr ten wyznaczono, stosując metodę odpowiedzi liniowej (Asquith i in., 2004):

gdzie:

$$V_{sh} = \frac{GR_{log} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}}$$

GR_{log} – wartość profilowania gamma zmierzona w danym punkcie

GR_{min} – minimalny odczyt wartości promieniowania gamma (czysty piaskowiec lub węglany)

GR_{max} – maksymalny odczyt wartości promieniowania gamma (100% frakcji ilastej)

Brak jakichkolwiek wartości tego parametru określonej z prób pobranych z rdzenia wiertniczego (np. poprzez analizę XRD) nie pozwala jednak na potwierdzenie wiarygodności otrzymanych wyników, stąd otrzymaną krzywą należy traktować wyłącznie orientacyjnie. Porowatość całkowitą dla wybranych otworów obliczono z wykorzystaniem krzywej akustycznej (DT) wykorzystując zależność (Wyllie i in., 1956):

gdzie:

$$\varphi_t = \frac{\Delta_t - \Delta_{tma}}{\Delta_{tf} - \Delta_{tma}}$$

Δ_t – wartość pomierzona czasu interwałowego

Δ_{tma} – wartość czasu interwałowego oczekiwana dla szkieletu skalnego w danej litologii

Δ_{tf} – wartość czasu interwałowego oczekiwana dla płynów złożowych

Wartości czasu interwałowego dla szkieletu skalnego przyjęto z uwzględnieniem wydzielonych jednostek litologicznych zgodnie z założeniami opisanymi przez Alford i in. (2012). Dla wody złożowej przyjęto natomiast wartość 620 µs/m. W obliczeniach uwzględniono również korektę na wielkość kompakcji dobierając odpowiednie wartości współczynnika korekcji, wahające się w przedziale 1–3. Otrzymaną krzywą porowatości całkowitej kalibrowano następnie do wartości otrzymanych z prób skalnych. Porowatość efektywną wyznaczono z krzywej akustycznej (DT) oraz krzywej wynikowej dla wielkości zailenia (Vsh) korzystając z serii równań (Wyllie i in., 1956):

gdzie:

$$\varphi_t = \frac{\Delta_t - \Delta_{tma}}{\Delta_{tf} - \Delta_{tma}}$$

$$\varphi_{t_{sh}} = \frac{\Delta_{sh} - \Delta_{tma}}{\Delta_{tf} - \Delta_{tma}}$$

$$\varphi_{ef} = \varphi_t - V_{sh} * \varphi_{t_{sh}}$$

Δ_t – wartość pomierzona czasu interwałowego

Δ_{tma} – wartość czasu interwałowego oczekiwana dla szkieletu skalnego w danej litologii

Δ_{tf} – wartość czasu interwałowego oczekiwana dla płynów złożowych

φ_t – porowatość całkowita

φ_{tsh} – porowatość formacji łupkowych

V_{sh} – udział minerałów ilastych (*shale volume*)

Podobnie jak w przypadku wyznaczania wartości porowatości całkowitej, wartości czasu z krzywej akustycznej dobierano osobno dla każdej jednostki litologicznej kalibrując otrzymane wartości do danych laboratoryjnych. Przepuszczalność analizowanych formacji wyznaczono wykorzystując metodę Coatesa (Coates and Dumanoir, 1973), gdzie wartość tego parametru obliczana jest za pomocą wzoru:

$$PERM = k_c * PHI_{ef}{}^4 * \left(\frac{1 - S_{wirr}}{S_{wirr}}\right)^2$$

dla stref przepuszczalnych (*clean zone*) lub

$$PERM = k_c * PHI_{ef}{}^4 * \left(\frac{PHI_t - PHI_{ef} * S_{wirr}}{PHI_{ef} * S_{wirr}}\right)^2$$

dla formacji o niskiej przepuszczalności,

gdzie:
k_c – stała zależna od gęstości węglowodorów
PHI_{ef} – porowatość efektywna
PHI_t – porowatość całkowita
S_{wirr} – zawartość wody nieredukowalnej

WYNIKI I INTERPRETACJA

Zestawienie otrzymanych wyników dla wybranych parametrów petrofizycznych przedstawiono na figurze 33. W piaszczystych utworach kredy dolnej brak istotnych krzywych geofizycznych uniemożliwia pełną interpretację tych poziomów pod kątem określenia własności zbiornikowych. W formacjach jurajskich obecność cech zbiornikowych uwarunkowana jest występowaniem skał ilasto-mułowcowych i wielkością zailenia. W interwałach o zmniejszonej zawartości materiału ilastego, parametry zbiornikowe polepszają się. Najlepszymi własnościami zbiornikowymi charakteryzują się tutaj poziomy piaskowców jury środkowej i dolnej o porowatości całkowitej w zakresie od kilkunastu do ponad 30% i przepuszczalności ponad 1000 mD. Słabszymi własnościami zbiornikowymi o porowatościach do kilkunastu procent i przepuszczalności do kilku mD charakteryzują się natomiast węglany jury górnej. W utworach triasowych, własności zbiornikowe poziomów piaszczystych są generalnie słabsze i trudniejsze do określenia, ze względu na zły stan otworu, niż w przypadku nadległych utworów jurajskich. Wartość porowatości całkowitej sięga tutaj maksymalnie 10%, efektywnej ok. 8%, natomiast wiarygodne oznaczenia przepuszczalności wskazują na wartości poniżej 1 mD w większości badanych kompleksów piaszczystych. Utwory cechsztyńskie według wskazań geofizyki wiertniczej wskazują niskie porowatości – rzędu maksymalnie kilku procent – oraz bardzo niskie przepuszczalności – poniżej 0,1 mD. Istnieje prawdopodobieństwo występowania poziomów zeszczelinowanych w obrębie dolomitów, ale nie jest to możliwe do stwierdzenia metodami geofizyki wiertniczej. Węglanowe i ilaste utwory dewonu są natomiast praktycznie pozbawione własności zbiornikowych.

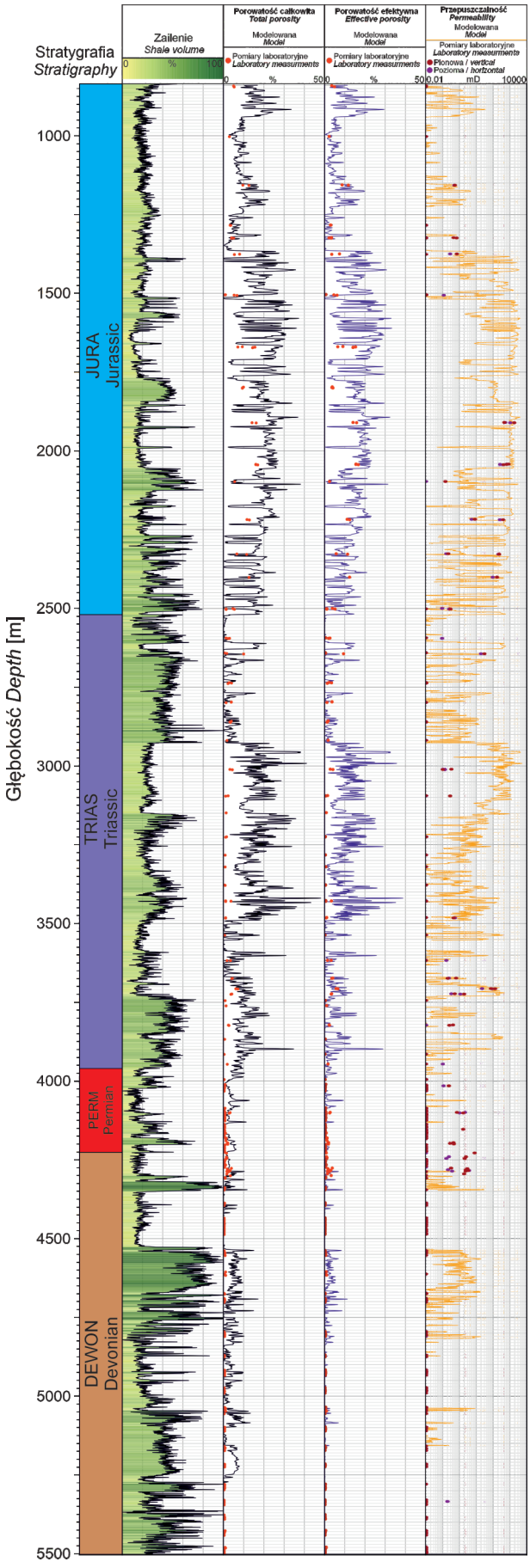


Fig. 33. Profile wielkości zailenia, porowatości całkowitej, porowatości efektywnej i przepuszczalności obliczone na postawie danych geofizyki otworowej

Profiles of shale volume, total porosity, effective porosity, and permeability calculated from well logs

PODSUMOWANIE

Badania geofizyczne wykonane w otworze Szwejki IG 3 spełniły planowane założenia. Wykonana analiza właściwości geofizycznych skał pozwoliła uszczegółowić profil litologiczny, wytypować potencjalne horyzonty zbiornikowe oraz określić warunki termiczne w rejonie. W wyniku przeprowadzonych badań ustalono, że w profilu otworu Szwejki IG 3 najlepsze parametry zbiornikowe wykazują piaskowce jury dolnej i środkowej. Nie stwierdzono natomiast poziomów z potencjałem do eksploatacji węglowodorów.

Kinga BOBEK

OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW PRĘDKOŚCI ŚREDNICH

METODYKA

Prace pomiarowe prędkości średnich w otworze Szwejki IG 3 przeprowadzono przez Grupę Sejsmometrii Wiertniczej Geofizyki Toruń w roku 1988 metodą bezdynamitową, za pomocą aparatury CS-5 oraz sondy jedno-geofonowej typu NT. Pomiary wykonano w zakresie głęb. 2–5372 m, z interwałem pomiarowym wynoszącym 15 metrów. Prace strzałowe przeprowadzono z trzech punków wzbudzenia (PW) rozmieszczonych względem głębokiego otworu w następujący sposób:

PW1	d = 50 m	A = 20°	N = 0 m
PW2	d = 60 m	A = 120°	N = 0 m
PW3	d = 100 m	A = 240°	N = 0 m

gdzie:

d – odległość punktu wzbudzenia od głębokiego odwiertu

A – azymut mierzony w punkcie głębokiego odwiertu w kierunku PW

N – niwelacja PW w stosunku do wylotu głębokiego odwiertu

Ze względu na zerową niwelację punktów strzałowych i brak konieczności kontroli głębokości strzelania, w przypadku tego otworu geofonów korekcyjnych nie zastosowano. Po wyeliminowaniu zakłóceń na sejsmogramach, przeprowadzono analizę jakości uzyskanych wyników na podstawie dokładności i pewności odczytanych czasów zerwań pierwszych impulsów oraz intensywności fal odbitych. Przeprowadzona analiza wykazała, że pomiary akustyczne są ogólnie dość dobrej jakości, za wyjątkiem odcinka 3345–3490 m. Do obliczenia krzywej prędkości średnich przyjęto poziom odniesienia wynoszący 150 m n.p.m., przy wysokości wylotu otworu wynoszącej 178 m n.p.m. Głębokość zredukowaną do przyjętego poziomu (h_r) odniesienia obliczono za pomocą równania:

$$h_r = h - h_{po} \pm N \pm \Delta h$$

gdzie:

h_r – głębokość zredukowanego punktu pomiarowego do poziomu odniesienia [m]

h – głębokość zanurzenia geofonu głębinowego [m]

h_{po} – głębokość poziomu odniesienia

Δh – różnica głębokości pomiędzy h_{po} i poziomem odniesienia [m]

W kolejnym etapie obliczeń wykonana została redukcja czasu do pionu dla każdego z punktów wzbudzania: t_r *1*, t_r *2* oraz t_r *3*. Niezbędne obliczenia wykonano przy pomocy programu emc, przy założeniu jednorodności ośrodka, a więc prostoliniowy przebieg promienia sejsmicznego. Czas zredukowany obliczono za pomocą wzoru:

$$t_r = \frac{H + N}{\sqrt{(H + N)^2 + d^2}} \times t_o - Cs$$

gdzie:

$$Cs = \frac{H_o}{V_o} + \frac{H_1}{V_1} + \frac{H_2}{V_2}$$

oraz

t_r – czas zredukowany

t_o – czas obserwowany

H – głębokość rejestracji

d – odległość punktu wzbudzenia od głębokiego odwiertu dla danego PW

H_0, H_1, H_2 – miąższość strefy małych prędkości (SMP)

V_0, V_1, V_2 – prędkość fali w obrębie strefy małych prędkości (SMP)

Uzyskane wartości h_r oraz t_r finalnie posłużyły do obliczenia prędkości średnich ($V_{śr}$) zgodnie ze wzorem:

$$V_{śr} = \frac{h_r}{t_r}$$

WYNIKI I INTERPRETACJA

Otrzymane wartości obliczonej prędkości średniej $V_{śr}$ oraz wejściowych wartości czasów zredukowanych t_r *1*, t_r *2*, t_r *3* wraz z ich wartością średnią oznaczoną symbolem t_r zestawiono w tabeli 1 (tabela 16).

Zestaw otrzymanych wyników stanowił podstawę konstrukcji krzywych prędkości średnich (fig. 34A) oraz hodografu pionowego (fig. 34B). Krzywa prędkości średnich została dodatkowo wygładzona metodą średniej ruchomej, w celu zredukowania wpływu wartości odstających. Uzyskany hodograf pionowy wskazuje na liniową zależność między wzrostem głębokości a czasem rejestracji.

W następnym kroku obliczeniowym w celu wyznaczenia poszczególnych kompleksów prędkościowych, a szczególnie ich średnich wartości zastosowano sposób wygładzenia wartości pomiarów geofizycznych. Metoda ta może być stosowana jeśli wartości pomierzone zmieniają się przypad-

Tabela 16

Zestawienie wartości czasów pomierzonych z trzech punków wzbudzenia (t_r *1*, t_r *2* i t_r *3*), średniej wartości czasu zredukowanego (t_r) oraz odpowiadającej mu wartości prędkości średniej ($V_{śr}$) dla danej głębokości (h)

Time measured from three shot points (t_r *1*, t_r *2* i t_r *3*), reduced time (t_r) and values of the average velocity ($V_{śr}$) for a measured depth (h)

h [m]	t_r *1* [s]	t_r *2* [s]	t_r *3* [s]	t_r [s]	$V_{śr}$ [m/s]
2	0,002	0,000	0,000	0,002	1533,090
17	0,011	0,010	0,007	0,009	1590,437
32	0,020	0,018	0,016	0,018	1626,636
47	0,028	0,027	0,025	0,027	1784,775
62	0,037	0,035	0,033	0,035	1781,261
77	0,045	0,042	0,042	0,043	1788,417
92	0,054	0,049	0,050	0,051	1801,920
107	0,062	0,058	0,057	0,059	1821,272
122	0,070	0,067	0,063	0,067	1841,557
137	0,076	0,074	0,070	0,073	1864,681
152	0,083	0,082	0,076	0,080	1893,367
167	0,090	0,087	0,084	0,087	1926,692
182	0,096	0,093	0,090	0,093	1956,863
197	0,102	0,098	0,096	0,099	1988,678
212	0,109	0,104	0,102	0,105	2020,817
227	0,114	0,110	0,108	0,111	2053,047
242	0,119	0,116	0,114	0,116	2082,070
257	0,124	0,121	0,119	0,121	2112,015
272	0,129	0,127	0,125	0,127	2139,456
287	0,135	0,132	0,130	0,132	2165,736
302	0,141	0,137	0,136	0,138	2182,815
317	0,146	0,142	0,142	0,143	2195,572
332	0,153	0,150	0,149	0,151	2203,281
347	0,157	0,158	0,157	0,157	2208,262
362	0,162	0,165	0,165	0,164	2208,041
377	0,168	0,172	0,171	0,170	2208,128
392	0,176	0,178	0,178	0,177	2205,087
407	0,185	0,185	0,184	0,185	2200,623
422	0,194	0,193	0,191	0,193	2193,975
437	0,202	0,199	0,199	0,200	2186,961

Tabela 16 cd.

h [m]	t_r *1* [s]	t_r *2* [s]	t_r *3* [s]	t_r [s]	$V_{śr}$ [m/s]
452	0,210	0,206	0,206	0,207	2181,710
467	0,217	0,213	0,214	0,215	2180,893
482	0,223	0,220	0,221	0,221	2184,007
497	0,229	0,226	0,227	0,227	2190,850
512	0,234	0,232	0,232	0,233	2200,627
527	0,239	0,237	0,238	0,238	2212,474
542	0,245	0,243	0,243	0,244	2225,034
557	0,250	0,249	0,248	0,249	2235,303
572	0,256	0,255	0,252	0,254	2242,259
587	0,262	0,261	0,259	0,261	2247,208
602	0,268	0,268	0,267	0,268	2249,640
617	0,275	0,275	0,273	0,274	2251,231
632	0,282	0,281	0,280	0,281	2253,239
647	0,288	0,286	0,286	0,287	2258,808
662	0,293	0,292	0,293	0,293	2266,763
677	0,298	0,296	0,298	0,297	2278,028
692	0,303	0,301	0,303	0,302	2290,941
707	0,307	0,306	0,307	0,307	2305,006
722	0,311	0,311	0,311	0,311	2318,160
737	0,316	0,316	0,316	0,316	2331,420
752	0,321	0,321	0,321	0,321	2344,752
767	0,326	0,326	0,325	0,326	2356,737
782	0,330	0,330	0,329	0,330	2369,338
797	0,336	0,335	0,333	0,335	2383,957
812	0,340	0,340	0,337	0,339	2400,569
827	0,343	0,344	0,340	0,342	2418,209
842	0,346	0,347	0,343	0,345	2437,838
857	0,349	0,350	0,346	0,348	2458,970
872	0,352	0,353	0,350	0,352	2480,194
887	0,355	0,356	0,353	0,355	2501,051
902	0,358	0,359	0,356	0,358	2522,021
917	0,361	0,362	0,359	0,361	2543,114
932	0,364	0,364	0,362	0,363	2563,865
947	0,367	0,367	0,365	0,366	2584,284
962	0,370	0,370	0,368	0,369	2604,379
977	0,373	0,373	0,371	0,372	2623,687

Tabela 16 cd.

h [m]	t_r *1* [s]	t_r *2* [s]	t_r *3* [s]	t_r [s]	$V_{śr}$ [m/s]
992	0,376	0,376	0,374	0,375	2642,685
1007	0,379	0,379	0,377	0,378	2661,382
1022	0,382	0,382	0,380	0,381	2679,785
1037	0,385	0,385	0,383	0,384	2697,900
1052	0,388	0,388	0,386	0,387	2715,735
1067	0,391	0,391	0,389	0,390	2733,296
1082	0,394	0,394	0,392	0,393	2750,588
1097	0,397	0,397	0,395	0,396	2767,619
1112	0,400	0,400	0,398	0,399	2783,468
1127	0,403	0,403	0,401	0,402	2799,068
1142	0,407	0,406	0,405	0,406	2814,425
1157	0,410	0,409	0,408	0,409	2829,544
1172	0,413	0,412	0,411	0,412	2844,432
1187	0,416	0,415	0,414	0,415	2859,560
1202	0,419	0,418	0,417	0,418	2874,466
1217	0,423	0,421	0,420	0,421	2889,154
1232	0,426	0,424	0,423	0,424	2903,628
1247	0,429	0,427	0,426	0,427	2917,894
1262	0,432	0,430	0,429	0,430	2931,959
1277	0,435	0,433	0,432	0,433	2945,824
1292	0,438	0,436	0,436	0,437	2959,492
1307	0,441	0,439	0,439	0,440	2972,521
1322	0,444	0,442	0,442	0,443	2984,917
1337	0,447	0,446	0,445	0,446	2997,138
1352	0,450	0,450	0,448	0,449	3008,737
1367	0,453	0,453	0,452	0,453	3019,722
1382	0,456	0,456	0,456	0,456	3030,545
1397	0,459	0,460	0,459	0,459	3040,773
1412	0,462	0,463	0,463	0,463	3051,286
1427	0,466	0,466	0,467	0,466	3061,647
1442	0,469	0,469	0,470	0,469	3071,429
1457	0,472	0,472	0,474	0,473	3080,209
1472	0,475	0,476	0,478	0,476	3088,434
1487	0,479	0,480	0,482	0,480	3094,818
1502	0,483	0,484	0,486	0,484	3099,817
1517	0,487	0,489	0,490	0,489	3103,880
1532	0,491	0,494	0,494	0,493	3107,037
1547	0,495	0,499	0,498	0,497	3109,713
1562	0,499	0,504	0,503	0,502	3112,747
1577	0,503	0,508	0,508	0,506	3115,323
1592	0,508	0,512	0,511	0,510	3117,451
1607	0,512	0,516	0,517	0,515	3119,553
1622	0,517	0,520	0,522	0,520	3120,824
1637	0,522	0,524	0,527	0,524	3120,873
1652	0,528	0,528	0,532	0,529	3120,529

Tabela 16 cd.

h [m]	t_r *1* [s]	t_r *2* [s]	t_r *3* [s]	t_r [s]	$V_{śr}$ [m/s]
1667	0,533	0,533	0,537	0,534	3119,798
1682	0,538	0,538	0,542	0,539	3117,931
1697	0,543	0,543	0,547	0,544	3115,719
1712	0,549	0,548	0,553	0,550	3113,537
1727	0,555	0,553	0,558	0,555	3112,117
1742	0,560	0,558	0,563	0,560	3111,084
1757	0,565	0,562	0,567	0,565	3111,187
1772	0,570	0,566	0,572	0,569	3111,670
1787	0,575	0,571	0,576	0,574	3113,581
1802	0,581	0,576	0,580	0,579	3115,812
1817	0,584	0,580	0,584	0,583	3118,724
1832	0,588	0,584	0,588	0,587	3122,309
1847	0,592	0,588	0,592	0,591	3126,568
1862	0,596	0,592	0,596	0,595	3130,413
1877	0,601	0,596	0,600	0,599	3134,549
1892	0,605	0,600	0,604	0,603	3138,630
1907	0,608	0,604	0,608	0,607	3142,316
1922	0,612	0,608	0,612	0,611	3145,620
1937	0,616	0,613	0,616	0,615	3148,876
1952	0,621	0,618	0,620	0,620	3151,741
1967	0,625	0,622	0,624	0,624	3154,560
1982	0,629	0,626	0,628	0,628	3158,010
1997	0,633	0,630	0,632	0,632	3162,093
2012	0,636	0,634	0,636	0,635	3166,126
2027	0,640	0,638	0,640	0,639	3170,112
2042	0,644	0,642	0,644	0,643	3173,724
2057	0,648	0,646	0,648	0,647	3176,959
2072	0,652	0,650	0,653	0,652	3179,831
2087	0,656	0,654	0,657	0,656	3182,662
2102	0,660	0,658	0,662	0,660	3185,455
2117	0,664	0,662	0,666	0,664	3188,852
2132	0,668	0,666	0,670	0,668	3192,525
2147	0,671	0,670	0,674	0,672	3196,793
2162	0,675	0,673	0,678	0,675	3201,016
2177	0,679	0,676	0,682	0,679	3205,821
2192	0,683	0,680	0,686	0,683	3210,263
2207	0,687	0,683	0,689	0,686	3214,655
2222	0,691	0,687	0,693	0,690	3218,690
2237	0,695	0,691	0,696	0,694	3222,685
2252	0,699	0,695	0,700	0,698	3226,321
2267	0,703	0,699	0,704	0,702	3230,224
2282	0,706	0,703	0,708	0,706	3234,083
2297	0,709	0,707	0,712	0,709	3238,509
2312	0,712	0,711	0,716	0,713	3243,195
2327	0,716	0,714	0,719	0,716	3248,437

Tabela 16 cd.

h [m]	t_r *1* [s]	t_r *2* [s]	t_r *3* [s]	t_r [s]	$V_{śr}$ [m/s]
2342	0,720	0,717	0,723	0,720	3254,230
2357	0,723	0,720	0,726	0,723	3260,572
2372	0,726	0,723	0,729	0,726	3266,561
2387	0,729	0,726	0,732	0,729	3272,502
2402	0,732	0,730	0,736	0,733	3277,202
2417	0,736	0,734	0,739	0,736	3281,848
2432	0,740	0,739	0,743	0,741	3286,149
2447	0,743	0,742	0,746	0,744	3290,995
2462	0,746	0,745	0,750	0,747	3295,799
2477	0,749	0,748	0,753	0,750	3301,154
2492	0,753	0,751	0,757	0,754	3305,876
2507	0,757	0,755	0,760	0,757	3310,262
2522	0,761	0,759	0,763	0,761	3314,312
2537	0,765	0,763	0,766	0,765	3318,038
2552	0,768	0,767	0,769	0,768	3321,728
2567	0,772	0,771	0,773	0,772	3324,813
2582	0,776	0,775	0,776	0,776	3327,583
2597	0,781	0,779	0,780	0,780	3330,033
2612	0,786	0,782	0,784	0,784	3332,741
2627	0,790	0,785	0,788	0,788	3335,699
2642	0,794	0,788	0,792	0,791	3339,755
2657	0,798	0,791	0,795	0,795	3344,619
2672	0,801	0,794	0,798	0,798	3350,283
2687	0,804	0,797	0,801	0,801	3356,185
2702	0,806	0,800	0,804	0,803	3362,323
2717	0,809	0,804	0,807	0,807	3367,861
2732	0,811	0,808	0,810	0,810	3372,803
2747	0,814	0,812	0,814	0,813	3376,872
2762	0,817	0,816	0,818	0,817	3380,358
2777	0,820	0,820	0,822	0,821	3382,714
2792	0,824	0,824	0,826	0,825	3384,773
2807	0,828	0,828	0,831	0,829	3386,538
2822	0,832	0,832	0,835	0,833	3388,012
2837	0,836	0,836	0,839	0,837	3389,737
2852	0,840	0,840	0,843	0,841	3391,719
2867	0,844	0,844	0,846	0,845	3393,417
2882	0,849	0,847	0,850	0,849	3395,100
2897	0,854	0,851	0,854	0,853	3396,767
2912	0,858	0,855	0,858	0,857	3398,151
2927	0,862	0,859	0,862	0,861	3398,998
2942	0,866	0,863	0,866	0,865	3400,879
2957	0,870	0,869	0,870	0,870	3403,263
2972	0,873	0,871	0,874	0,873	3406,146
2987	0,876	0,874	0,878	0,876	3409,525
3002	0,880	0,877	0,881	0,879	3413,918

Tabela 16 cd.

h [m]	t_r *1* [s]	t_r *2* [s]	t_r *3* [s]	t_r [s]	$V_{śr}$ [m/s]
3017	0,883	0,880	0,885	0,883	3417,507
3032	0,886	0,884	0,888	0,886	3420,555
3047	0,890	0,888	0,892	0,890	3423,320
3062	0,894	0,892	0,896	0,894	3425,804
3077	0,898	0,896	0,899	0,898	3428,010
3092	0,902	0,900	0,902	0,901	3430,451
3107	0,906	0,903	0,906	0,905	3432,876
3122	0,910	0,906	0,910	0,909	3435,030
3137	0,914	0,910	0,914	0,913	3436,666
3152	0,918	0,914	0,918	0,917	3437,788
3167	0,923	0,918	0,922	0,921	3438,895
3182	0,928	0,922	0,926	0,925	3440,236
3197	0,932	0,926	0,929	0,929	3442,057
3212	0,936	0,929	0,933	0,933	3444,358
3227	0,939	0,933	0,936	0,936	3446,892
3242	0,942	0,937	0,940	0,940	3449,163
3257	0,946	0,941	0,944	0,944	3451,416
3272	0,950	0,945	0,948	0,948	3453,404
3287	0,953	0,949	0,952	0,951	3455,857
3302	0,956	0,953	0,956	0,955	3458,775
3317	0,959	0,956	0,959	0,958	3462,155
3332	0,962	0,959	0,963	0,961	3465,753
3347	0,965	0,963	0,966	0,965	3469,806
3362	0,968	0,966	0,970	0,968	3473,831
3377	0,971	0,969	0,973	0,971	3478,068
3392	0,974	0,972	0,976	0,974	3482,517
3407	0,977	0,975	0,979	0,977	3487,177
3422	0,980	0,978	0,982	0,980	3491,808
3437	0,983	0,981	0,985	0,983	3496,411
3452	0,986	0,984	0,988	0,986	3500,751
3467	0,989	0,987	0,991	0,989	3505,063
3482	0,993	0,990	0,994	0,992	3509,348
3497	0,996	0,993	0,997	0,995	3513,371
3512	0,999	0,996	1,000	0,998	3517,368
3527	1,003	0,999	1,003	1,002	3521,575
3542	1,006	1,002	1,006	1,005	3525,755
3557	1,009	1,005	1,009	1,008	3529,212
3572	1,012	1,008	1,012	1,011	3532,185
3587	1,016	1,012	1,016	1,015	3534,904
3602	1,020	1,016	1,020	1,019	3537,138
3617	1,024	1,019	1,023	1,022	3539,352
3632	1,028	1,022	1,027	1,026	3542,012
3647	1,031	1,025	1,030	1,029	3545,344
3662	1,034	1,029	1,033	1,032	3548,200
3677	1,037	1,032	1,036	1,035	3551,267

Tabela 16 cd.

h [m]	t_r *1* [s]	t_r *2* [s]	t_r *3* [s]	t_r [s]	$V_{śr}$ [m/s]
3692	1,041	1,036	1,040	1,039	3554,311
3707	1,044	1,040	1,043	1,042	3557,789
3722	1,047	1,043	1,046	1,045	3561,245
3737	1,050	1,045	1,049	1,048	3565,136
3752	1,053	1,048	1,052	1,051	3569,232
3767	1,056	1,051	1,056	1,054	3573,305
3782	1,059	1,054	1,059	1,057	3576,902
3797	1,062	1,057	1,062	1,060	3580,030
3812	1,065	1,061	1,065	1,064	3583,139
3827	1,069	1,064	1,069	1,067	3585,781
3842	1,073	1,067	1,072	1,071	3588,403
3857	1,077	1,070	1,076	1,074	3591,230
3872	1,080	1,073	1,079	1,077	3594,485
3887	1,083	1,076	1,082	1,080	3597,721
3902	1,086	1,079	1,085	1,083	3601,383
3917	1,090	1,082	1,088	1,087	3604,803
3932	1,093	1,085	1,091	1,090	3608,203
3947	1,096	1,089	1,094	1,093	3611,582
3962	1,099	1,092	1,097	1,096	3615,821
3977	1,102	1,095	1,100	1,099	3620,916
3992	1,105	1,096	1,102	1,101	3626,867
4007	1,107	1,098	1,103	1,103	3633,014
4022	1,109	1,100	1,105	1,105	3639,355
4037	1,111	1,103	1,108	1,107	3645,014
4052	1,113	1,106	1,111	1,110	3650,428
4067	1,116	1,109	1,114	1,113	3655,160
4082	1,118	1,111	1,116	1,115	3659,870
4097	1,121	1,114	1,119	1,118	3664,339
4112	1,123	1,117	1,122	1,121	3668,570
4127	1,126	1,120	1,125	1,124	3672,125
4142	1,129	1,123	1,129	1,127	3675,661
4157	1,132	1,126	1,132	1,130	3679,176
4172	1,135	1,129	1,135	1,133	3683,322
4187	1,138	1,131	1,138	1,136	3688,097
4202	1,140	1,133	1,140	1,138	3693,501
4217	1,142	1,136	1,142	1,140	3699,532
4232	1,144	1,138	1,144	1,142	3705,324
4247	1,146	1,140	1,146	1,144	3710,445
4262	1,149	1,143	1,149	1,147	3715,113
4277	1,152	1,146	1,152	1,150	3718,898
4292	1,155	1,149	1,155	1,153	3721,588
4307	1,158	1,153	1,158	1,156	3724,049
4322	1,161	1,157	1,162	1,160	3726,066
4337	1,164	1,161	1,165	1,163	3727,857
4352	1,168	1,164	1,169	1,167	3729,636

Tabela 16 cd.

h [m]	t_r *1* [s]	t_r *2* [s]	t_r *3* [s]	t_r [s]	$V_{śr}$ [m/s]
4367	1,172	1,167	1,172	1,170	3731,828
4382	1,175	1,170	1,176	1,174	3734,009
4397	1,178	1,173	1,179	1,177	3736,601
4412	1,181	1,176	1,183	1,180	3739,180
4427	1,184	1,179	1,186	1,183	3741,326
4442	1,188	1,182	1,189	1,186	3743,459
4457	1,192	1,186	1,193	1,190	3745,996
4472	1,195	1,189	1,196	1,193	3748,519
4487	1,198	1,192	1,198	1,196	3751,030
4502	1,201	1,195	1,201	1,199	3753,947
4517	1,204	1,199	1,204	1,202	3756,434
4532	1,207	1,203	1,207	1,206	3758,284
4547	1,210	1,207	1,211	1,209	3759,915
4562	1,213	1,211	1,215	1,213	3761,329
4577	1,216	1,214	1,219	1,216	3762,940
4592	1,220	1,217	1,223	1,220	3764,747
4607	1,223	1,220	1,226	1,223	3766,342
4622	1,226	1,224	1,229	1,226	3767,723
4637	1,230	1,228	1,233	1,230	3768,894
4652	1,234	1,232	1,236	1,234	3770,053
4667	1,238	1,236	1,240	1,238	3771,406
4682	1,241	1,239	1,243	1,241	3772,755
4697	1,244	1,242	1,246	1,244	3774,096
4712	1,248	1,246	1,250	1,248	3775,836
4727	1,252	1,249	1,254	1,252	3777,162
4742	1,256	1,252	1,257	1,255	3778,277
4757	1,259	1,256	1,261	1,259	3779,987
4772	1,263	1,259	1,264	1,262	3782,087
4787	1,266	1,262	1,267	1,265	3784,376
4802	1,269	1,265	1,270	1,268	3787,053
4817	1,272	1,268	1,273	1,271	3789,519
4832	1,275	1,271	1,276	1,274	3791,973
4847	1,279	1,275	1,279	1,278	3794,020
4862	1,282	1,278	1,282	1,281	3796,055
4877	1,285	1,282	1,286	1,284	3797,882
4892	1,288	1,285	1,289	1,287	3800,093
4907	1,292	1,288	1,292	1,291	3802,292
4922	1,295	1,291	1,295	1,294	3804,873
4937	1,298	1,294	1,298	1,297	3807,441
4952	1,301	1,297	1,301	1,300	3810,194
4967	1,304	1,300	1,304	1,303	3812,934
4982	1,307	1,303	1,307	1,306	3815,274
4997	1,310	1,306	1,310	1,309	3817,214
5012	1,313	1,310	1,314	1,312	3818,951
5027	1,316	1,314	1,318	1,316	3820,098

Tabela 16 cd.

h [m]	t_r *1* [s]	t_r *2* [s]	t_r *3* [s]	t_r [s]	$V_{śr}$ [m/s]
5042	1,319	1,318	1,321	1,319	3821,236
5057	1,323	1,322	1,325	1,323	3822,751
5072	1,326	1,325	1,328	1,326	3824,644
5087	1,329	1,328	1,331	1,329	3826,337
5102	1,332	1,331	1,334	1,332	3828,406
5117	1,336	1,334	1,338	1,336	3830,083
5132	1,339	1,338	1,341	1,339	3831,750
5147	1,342	1,342	1,345	1,343	3833,218
5162	1,345	1,345	1,348	1,346	3834,680
5177	1,349	1,348	1,351	1,349	3836,134
5192	1,353	1,351	1,355	1,353	3837,394
5207	1,357	1,354	1,358	1,356	3838,645
5222	1,361	1,358	1,362	1,360	3840,076
5237	1,364	1,361	1,365	1,363	3841,876
5252	1,367	1,364	1,368	1,366	3843,480
5267	1,370	1,367	1,371	1,369	3845,640
5282	1,373	1,371	1,375	1,373	3847,789
5297	1,376	1,374	1,378	1,376	3849,928
5312	1,379	1,377	1,381	1,379	3851,870
5327	1,382	1,380	1,384	1,382	3854,177
5342	1,386	1,383	1,387	1,385	3856,474
5357	1,389	1,386	1,390	1,388	3857,575
5372	1,392	1,389	1,393	1,391	3858,581

kowo z punktu na punkt w granicach błędu pomiarowego, a odstęp między punktami pomiarowymi jest stały. Wskazana metoda pozwoliła na wygładzenie odczytów czasu z pomiarów prędkości średnich, w celu obliczenia prędkości interwałowych bez przypadkowych skoków wartości wywołanych błędami pomiarowymi. Krzywe wygładzone prędkości interwałowych obliczono w celu wyznaczenia stref maksymalnych gradientów prędkości, które odpowiadają granicom prędkościowym poszczególnych kompleksów. Wartości prędkości średniej obliczono wyrównując zredukowane pomiary czasu za pomocą splotu z odpowiednim filtrem przetwarzając wartości czasu i prędkości dla znormalizowanych przedziałów głębokości co 20 m, w zakresie głęb. 20–5360 m. Uzyskane wartości zostały następnie wygładzone stosując kilkukrotnie splot z filtrem trójkątnym. Wymienione przekształcenia zastosowano w celu wyeliminowania przypadkowych odchyleń wartości wynikających z niedokładności pomiarów oraz zaokrąglania wartości czasu pomierzonego do 1 ms i przygotowanie uzyskanych wartości do dalszych obliczeń prędkości interwałowych. W ten sposób uzyskano dodatkowe zbiory danych zawierające pomiary czasu zredukowane do poziomu odniesienia i odpowiadające im wartości prędkości średniej.

Wymienione wyżej informacje, obejmujące wartości filtrów wybrane dla tego otworu oraz pliki .las z wymienionymi wyżej zbiorami danych, zawarte są w banku danych prędkościowych utworzonych w latach 90. XX w. w Zakładzie Geofizyki PIG na potrzeby interpretacji refleksyjnych prac sejsmicznych. Bank ten znajduje się obecnie w CBDG.

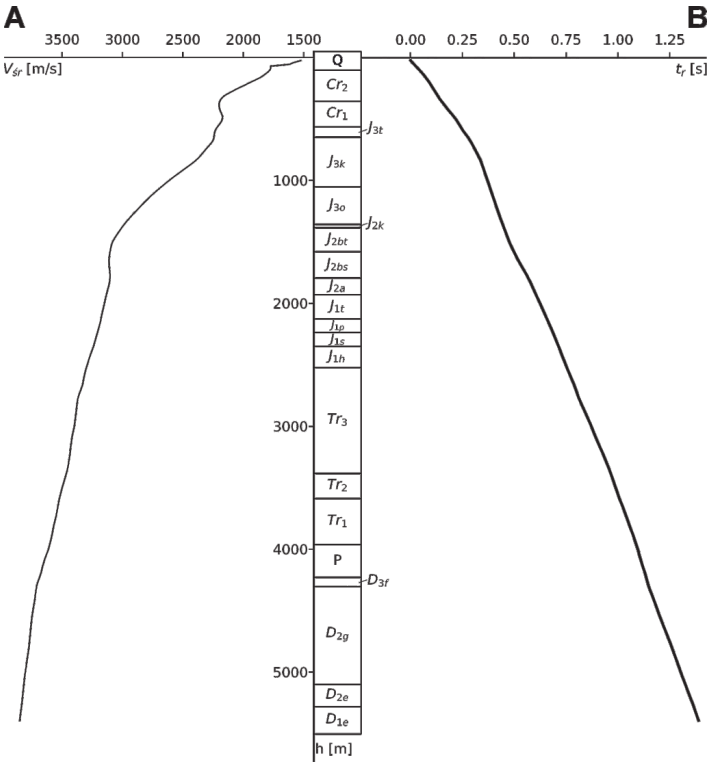


Fig. 34. Wykres prędkości średnich (A) i hodograf pionowy (B) otrzymane (poz. odn. 150 m n.p.m.)

t_r – średni czas zredukowany; $V_{śr}$ – prędkość średnia; h – głębokość; stratygrafia: Q – czwartorzęd, Cr_2 – kreda górna, Cr_1 – kreda dolna, J_{3t} – tyton, J_{3k} – kimeryd, J_{3o} – oksford, J_{2k} – kelowej, J_{2bt} – baton, J_{2bs} – bajos, J_{2a} – aalen, J_{1t} – toark, J_{1p} – pliensbachu, J_{1s} – synemur, J_{1h} – hetang, Tr_3 – trias górny, Tr_2 – trias środkowy, Tr_1 – trias dolny, P – perm, D_{3f} – fran, D_{2g} – żywet, D_{2e} – eifel, D_{1e} – ems

Plots of average seismic velocity (A) and travel-time curve (B) (reference level 150 m a.s.l.)

t_r – average reduced time; $V_{śr}$ – average velocity; h – depth; stratigraphy: Q – Quaternary, Cr_2 – Upper Cretaceous, Cr_1 – Lower Cretaceous, J_{3t} – Tithonian, J_{3k} – Kimmeridgian, J_{3o} – Oxfordian, J_{2k} – Callovian, J_{2bt} – Bathonian, J_{2bs} – Bajocian, J_{2a} – Aalenian, J_{1t} – Toarcian, J_{1p} – Pliensbachian, J_{1s} – Sinemurian, J_{1h} – Hettangian, Tr_3 – Upper Triassic, Tr_2 – Middle Triassic, Tr_1 – Lower Triassic, P – Permian, D_{3f} – Frasnian, D_{2g} – Givetian, D_{2e} – Eifelian, D_{1e} – Emsian

Wykryte różnice czasów pomiędzy kolejnymi wygładzeniami spowodowane są zamianami prędkości fali sejsmicznej w kolejnych warstwach, związanymi ze zmiennością litologiczną poszczególnych kompleksów skalnych. Zjawisko to wykorzystano w celu wyznaczenia granic kompleksów prędkościowych w miejscach maksymalnych bezwzględnych różnic czasu wygładzonego n i n + 1 razy. Granice te wyznaczono poprzez obliczenie maksymalnych gradientów średniej prędkości. Otrzymane wartości prędkości średniej w interwałach pomiędzy kolejnymi punktami przegięcia, odpowiadają uśrednionym wartościom kompleksów o prędkościach istotnie różnych od tych uzyskanych dla warstw sąsiednich.

Wyniki wymienionych wyżej obliczeń zawierające zestaw wartości prędkości wygładzonych (V_w), prędkości interwałowych (V_i) oraz prędkości kompleksowych (V_k) zestawiono w tabeli 17, natomiast uzyskane krzywe tych prędkości przedstawiono w formie graficznej na figurze 35. W celu powiązania otrzymanych różnic prędkości średniej z poszczególnymi kompleksami odpowiadającymi jednostkom stratygraficznym rozpoznanym w otworze Szwejki IG 3, otrzymane wyniki zestawiono z profilem stratygraficznym badanego otworu.

Pierwszą wyraźną granicę kompleksów prędkościowych zaobserwowano na głęb. 200 m, gdzie widoczny jest wyraźny wzrost prędkości fali z 1992 do 2465 m/s. Zaobserwowana zmiana jest efektem przechodzenia fali sejsmicznej z czwartorzędowych piasków i iłów, poprzez margle i opoki koniaku do białych i białoszarych wapieni turonu, które charakteryzują się prędkościami wyższymi od wymienionych skał nadległych. Spadek wspomnianej prędkości średniej o 215 m/s zaobserwowano natomiast na granicy pomiędzy kredą górną i dolną (cenoman–górny alb), gdzie jasne wapienie graniczą z marglami i marglami piaszczystymi o relatywnie niższej prędkości średniej. Granica pomiędzy dolną kredą i górną jurą (tyton) zaznacza się wzrostem prędkości kompleksowej z 2250 do 2490 m/s, co jest związane ze zmianą litologii z marglistych piaskowców do szarych wapieni z anhydrytami. Wyraźny wzrost średniej prędkości obserwuje się na granicy pomiędzy formacjami kcyńską i pałucką, gdzie prędkość średnia wzrasta o 704 m/s (z 2490 do 3194 m/s) i ma związek z występowaniem wysokoprędkościowych jasnoszarych wapieni. Najwyższy wzrost średniej prędkości kompleksowej jaki można zaobserwować w całym profilu otworu następuje na głęb. 860 m, gdzie prędkość kompleksowa wzrasta z 3194 do 4929 m/s i gdzie dochodzi do zmiany litologii z jasnoszarych wapieni i margli formacji wapienno-marglisto-muszlowcowej do wysokoporowych wapieni mikrytowych formacji oolitowej. Poniżej, na głęb. 1100 m, gdzie znajduje się dolna granica formacji oolitowej, następuje powolny spadek średniej prędkości kompleksowej z 4929 do 4863 m/s na głęb. 1120–1200 m, poprzez 4491 m/s na głęb. 1220–1480 m aż do 3273 m/s na głęb. 1500–1820 m, co jest efektem zmian litologicznych i przejścia wapieni do piaskowców i kolejno do utworów ilastych, które dominują w bajosie i batonie. Poniżej głęb. 1840 m, na granicy pomiędzy jurą środkową i dolną, obserwuje się natomiast wyraźny wzrost prędkości kompleksowej

Tabela 17

Zestawienie wartości głębokości (h), prędkości interwałowej (V_i), prędkości kompleksowej (V_k) oraz prędkości wygładzonej (V_w)

Values of the measured depth (h), interval velocity (V_i), complex velocity (V_k) and smoothed velocity (V_w)

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_W [m/s]
20	0,01	1878,60	1992,80
40	0,02	1878,60	1992,80
60	0,03	1878,60	1992,80
80	0,04	1878,60	1992,80
100	0,05	1878,60	1992,80
120	0,06	2198,24	1992,80
140	0,07	2198,24	1992,80
160	0,08	2198,24	1992,80
180	0,09	2198,24	1992,80
200	0,10	2198,24	2465,05
220	0,11	2496,32	2465,05
240	0,11	2496,32	2465,05
260	0,12	2496,32	2465,05
280	0,13	2496,32	2465,05
300	0,14	2496,32	2465,05
320	0,15	2303,51	2465,05
340	0,16	2303,51	2465,05
360	0,16	2303,51	2250,19
380	0,17	2303,51	2250,19
400	0,18	2303,51	2250,19
420	0,19	2259,73	2250,19
440	0,20	2259,73	2250,19
460	0,21	2259,73	2250,19
480	0,22	2259,73	2250,19
500	0,23	2259,73	2250,19
520	0,23	2484,41	2489,94
540	0,24	2484,41	2489,94
560	0,25	2484,41	2489,94
580	0,26	2484,41	2489,94
600	0,27	2484,41	3194,18
620	0,27	2729,26	3194,18
640	0,28	2729,26	3194,18
660	0,29	2729,26	3194,18
680	0,30	2729,26	3194,18
700	0,30	2729,26	3194,18
720	0,31	3327,90	3194,18
740	0,32	3327,90	3194,18
760	0,32	3327,90	3194,18
780	0,33	3327,90	3194,18
800	0,33	3327,90	3194,18
820	0,34	4275,33	3194,18

Tabela 17 cd.

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_W [m/s]
840	0,34	4275,33	3194,18
860	0,35	4275,33	3194,18
880	0,35	4275,33	4929,31
900	0,36	4275,33	4929,31
920	0,36	4950,00	4929,31
940	0,36	4950,00	4929,31
960	0,37	4950,00	4929,31
980	0,37	4950,00	4929,31
1000	0,38	4950,00	4929,31
1020	0,38	4957,12	4929,31
1040	0,38	4957,12	4929,31
1060	0,39	4957,12	4929,31
1080	0,39	4957,12	4929,31
1100	0,40	4957,12	4929,31
1120	0,40	4868,31	4862,93
1140	0,41	4868,31	4862,93
1160	0,41	4868,31	4862,93
1180	0,41	4868,31	4862,93
1200	0,42	4868,31	4862,93
1220	0,42	4815,56	4490,81
1240	0,43	4815,56	4490,81
1260	0,43	4815,56	4490,81
1280	0,43	4815,56	4490,81
1300	0,44	4815,56	4490,81
1320	0,44	4568,09	4490,81
1340	0,45	4568,09	4490,81
1360	0,45	4568,09	4490,81
1380	0,46	4568,09	4490,81
1400	0,46	4568,09	4490,81
1420	0,46	4063,55	4490,81
1440	0,47	4063,55	4490,81
1460	0,47	4063,55	4490,81
1480	0,48	4063,55	4490,81
1500	0,48	4063,55	3272,89
1520	0,49	3480,32	3272,89
1540	0,50	3480,32	3272,89
1560	0,50	3480,32	3272,89
1580	0,51	3480,32	3272,89
1600	0,51	3480,32	3272,89
1620	0,52	3135,19	3272,89
1640	0,53	3135,19	3272,89
1660	0,53	3135,19	3272,89
1680	0,54	3135,19	3272,89
1700	0,55	3135,19	3272,89
1720	0,55	3193,56	3272,89
1740	0,56	3193,56	3272,89

Tabela 17 cd.

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_W [m/s]
1760	0,56	3193,56	3272,89
1780	0,57	3193,56	3272,89
1800	0,58	3193,56	3272,89
1820	0,58	3552,78	3272,89
1840	0,59	3552,78	3641,00
1860	0,59	3552,78	3641,00
1880	0,60	3552,78	3641,00
1900	0,61	3552,78	3641,00
1920	0,61	3681,07	3641,00
1940	0,62	3681,07	3641,00
1960	0,62	3681,07	3641,00
1980	0,63	3681,07	3641,00
2000	0,63	3681,07	3783,48
2020	0,64	3735,66	3783,48
2040	0,64	3735,66	3783,48
2060	0,65	3735,66	3783,48
2080	0,65	3735,66	3783,48
2100	0,66	3735,66	3783,48
2120	0,66	3875,52	3783,48
2140	0,67	3875,52	3783,48
2160	0,67	3875,52	3783,48
2180	0,68	3875,52	3960,00
2200	0,68	3875,52	3960,00
2220	0,69	4054,49	3960,00
2240	0,69	4054,49	4127,54
2260	0,70	4054,49	4127,54
2280	0,70	4054,49	4127,54
2300	0,71	4054,49	4127,54
2320	0,71	4303,48	4127,54
2340	0,72	4303,48	4290,82
2360	0,72	4303,48	4290,82
2380	0,73	4303,48	4290,82
2400	0,73	4303,48	4290,82
2420	0,74	4285,59	4290,82
2440	0,74	4285,59	4290,82
2460	0,75	4285,59	4290,82
2480	0,75	4285,59	4290,82
2500	0,76	4285,59	4290,82
2520	0,76	4127,29	4290,82
2540	0,77	4127,29	4179,58
2560	0,77	4127,29	4179,58
2580	0,78	4127,29	4179,58
2600	0,78	4127,29	4179,58
2620	0,79	4303,67	4179,58
2640	0,79	4303,67	4179,58
2660	0,79	4303,67	4179,58

Tabela 17 cd.

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_W [m/s]
2680	0,80	4303,67	4256,41
2700	0,80	4303,67	4256,41
2720	0,81	4170,84	4256,41
2740	0,81	4170,84	4256,41
2760	0,82	4170,84	4256,41
2780	0,82	4170,84	4256,41
2800	0,83	4170,84	3855,79
2820	0,83	3830,54	3855,79
2840	0,84	3830,54	3855,79
2860	0,84	3830,54	3855,79
2880	0,85	3830,54	3855,79
2900	0,85	3830,54	3855,79
2920	0,86	3951,63	3855,79
2940	0,86	3951,63	3855,79
2960	0,87	3951,63	3855,79
2980	0,87	3951,63	4042,45
3000	0,88	3951,63	4042,45
3020	0,88	4039,75	4042,45
3040	0,89	4039,75	4042,45
3060	0,89	4039,75	4042,45
3080	0,90	4039,75	4042,45
3100	0,90	4039,75	4042,45
3120	0,91	3915,12	4083,91
3140	0,91	3915,12	4083,91
3160	0,92	3915,12	4083,91
3180	0,92	3915,12	4083,91
3200	0,93	3915,12	4083,91
3220	0,93	4102,23	4083,91
3240	0,94	4102,23	4083,91
3260	0,94	4102,23	4083,91
3280	0,95	4102,23	4083,91
3300	0,95	4102,23	4083,91
3320	0,96	4575,40	4083,91
3340	0,96	4575,40	4083,91
3360	0,97	4575,40	4747,77
3380	0,97	4575,40	4747,77
3400	0,98	4575,40	4747,77
3420	0,98	4818,58	4747,77
3440	0,98	4818,58	4747,77
3460	0,99	4818,58	4747,77
3480	0,99	4818,58	4747,77
3500	1,00	4818,58	4747,77
3520	1,00	4589,47	4747,77
3540	1,00	4589,47	4747,77
3560	1,01	4589,47	4747,77
3580	1,01	4589,47	4508,40

Tabela 17 cd.

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_W [m/s]
3600	1,02	4589,47	4508,40
3620	1,02	4513,86	4508,40
3640	1,03	4513,86	4508,40
3660	1,03	4513,86	4508,40
3680	1,04	4513,86	4508,40
3700	1,04	4513,86	4508,40
3720	1,04	4672,90	4681,10
3740	1,05	4672,90	4681,10
3760	1,05	4672,90	4681,10
3780	1,06	4672,90	4681,10
3800	1,06	4672,90	4681,10
3820	1,07	4725,23	4970,64
3840	1,07	4725,23	4970,64
3860	1,07	4725,23	4970,64
3880	1,08	4725,23	4970,64
3900	1,08	4725,23	4970,64
3920	1,09	5306,45	4970,64
3940	1,09	5306,45	4970,64
3960	1,09	5306,45	4970,64
3980	1,10	5306,45	4970,64
4000	1,10	5306,45	5741,35
4020	1,10	5711,02	5741,35
4040	1,11	5711,02	5741,35
4060	1,11	5711,02	5741,35
4080	1,12	5711,02	5741,35
4100	1,12	5711,02	5545,93
4120	1,12	5558,33	5545,93
4140	1,13	5558,33	5545,93
4160	1,13	5558,33	5545,93
4180	1,13	5558,33	5545,93
4200	1,14	5558,33	5308,98
4220	1,14	5308,98	5308,98
4240	1,14	5308,98	5308,98
4260	1,15	5308,98	5308,98
4280	1,15	5308,98	5308,98
4300	1,16	5308,98	5308,98
4320	1,16	4660,92	4609,18
4340	1,16	4660,92	4609,18
4360	1,17	4660,92	4609,18
4380	1,17	4660,92	4609,18
4400	1,18	4660,92	4609,18
4420	1,18	4577,50	4609,18
4440	1,19	4577,50	4609,18
4460	1,19	4577,50	4506,94
4480	1,19	4577,50	4506,94
4500	1,20	4577,50	4506,94

Tabela 17 cd.

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_W [m/s]
4520	1,20	4422,04	4506,94
4540	1,21	4422,04	4506,94
4560	1,21	4422,04	4506,94
4580	1,22	4422,04	4355,31
4600	1,22	4422,04	4355,31
4620	1,23	4298,12	4355,31
4640	1,23	4298,12	4355,31
4660	1,24	4298,12	4355,31
4680	1,24	4298,12	4355,31
4700	1,25	4298,12	4355,31
4720	1,25	4461,50	4355,31
4740	1,25	4461,50	4355,31
4760	1,26	4461,50	4355,31
4780	1,26	4461,50	4355,31
4800	1,27	4461,50	4671,71
4820	1,27	4675,30	4671,71
4840	1,28	4675,30	4671,71
4860	1,28	4675,30	4671,71
4880	1,28	4675,30	4671,71
4900	1,29	4675,30	4671,71
4920	1,29	4688,45	4671,71
4940	1,30	4688,45	4671,71
4960	1,30	4688,45	4671,71
4980	1,31	4688,45	4671,71
5000	1,31	4688,45	4671,71
5020	1,31	4515,28	4671,71
5040	1,32	4515,28	4512,21
5060	1,32	4515,28	4512,21
5080	1,33	4515,28	4512,21
5100	1,33	4515,28	4512,21
5120	1,34	4468,87	4512,21
5140	1,34	4468,87	4512,21
5160	1,35	4468,87	4512,21
5180	1,35	4468,87	4512,21
5200	1,35	4468,87	4512,21
5220	1,36	4609,57	4512,21
5240	1,36	4609,57	4512,21
5260	1,37	4609,57	4512,21
5280	1,37	4609,57	4512,21
5300	1,38	4609,57	4777,45
5320	1,38	4777,52	4777,45
5340	1,38	4777,52	4777,45
5360	1,39	4777,52	4777,45

z 3273 do 3641 m/s. Wyższe wartości prędkości średniej w stropowej części jury dolnej najpewniej mają związek ze zwiększaniem się miąższości utworów piaszczystych względem wkładek materiału ilastego i mułowcowego, który dominuje w niższych partiach jury środkowej. W obrębie formacji dolnojurajskich następuje schodkowy wzrost średniej prędkości kompleksowej, osiągając maksimum równe 4291 m/s na głęb. 2340 m, co odpowiada granicy pomiędzy synemurem a hetangiem. Granica pomiędzy jurą i triasem zaznacza się niewielkim spadkiem prędkości kompleksowej z 4291 do 4180 m/s, co może być związane ze zwiększonym udziałem materiału ilastego w górnym kajprze. W obrębie górnego triasu nie stwierdzono występowania wyraźnych kontrastów prędkościowych i zmienność krzywej prędkości wygładzonej oraz interwałowej jest relatywnie niewielka. Znaczący wzrost średniej prędkości kompleksowej (z 4084 do 4748 m/s) zaobserwowano natomiast na głęb. 3380 m, na granicy pomiędzy triasem górnym i środkowym, gdzie następuje zmiana litologii z utworów piaszczysto-ilasto-mułowcowych do dolomitów występujących w spągowej części dolnego kajpru. Kolejna granica kompleksów prędkościowych widoczna jest na głęb. 3580 m, gdzie prędkość średnia spada z 4748 do 4508 m/s i jest ona związana z granicą pomiędzy wapieniem muszlowym i pstrym piaskowcem. Poniżej tej głębokości, w obrębie utworów dolnego triasu następuje stopniowy wzrost średniej prędkości kompleksowej z 4508 do 4681 m/s na głęb. 3720 m oraz z 4681 do 4971 m/s na głęb. 3820 m, co najprawdopodobniej jest związane ze zwiększającym się wraz z głębokością udziałem piaskowców w stosunku do skał ilasto-mułowcowych. Na granicy pomiędzy triasem a permem dochodzi do wyraźnego wzrostu średniej prędkości kompleksowej z 4971 do 5741 m/s, co jest efektem zmiany litologii z piaskowców występujących w dolnym triasie do anhydrytu (A2) w stropie górnego permu. Stopniowy spadek średniej prędkości kompleksowej z 5741 do 5546 m/s zaobserwowano następnie na granicy pomiędzy anhydrytem podstawowym (A2) a dolomitem głównym (Ca2) oraz z 5546 do 5309 m/s na granicy pomiędzy anhydrytem dolnym (A1d) a wapieniem cechsztyńskim (Ca1) i górnym franem. Poniżej, na głęb. 4320 m (granica fran–żywet) dochodzi do znacznego spadku prędkości średniej z 5309 do 4609 m/s. co jest najprawdopodobniej związane z pojawiającymi się w tym interwale wkładkami iłowców i iłowców marglistych w obrębie wysokoprędkościowych wapieni i dolomitów. Niżej w profilu, średnie wartości prędkości kompleksowej stopniowo spadają wraz ze wzrostem zawartości materiału ilastego. Wyraźny kompleks prędkościowy w utworach dewońskich widoczny jest na głęb. 4800–5020 m, w obrębie wapiennych i marglistych utworów żywetu. Poniżej tej głębokości w utworach eiflu dochodzi do spadku prędkości kompleksowej z 4672 do 4512 m/s, co jest najprawdopodobniej efektem zwiększonej zawartości margli w iłowców. Wyraźny wzrost prędko-

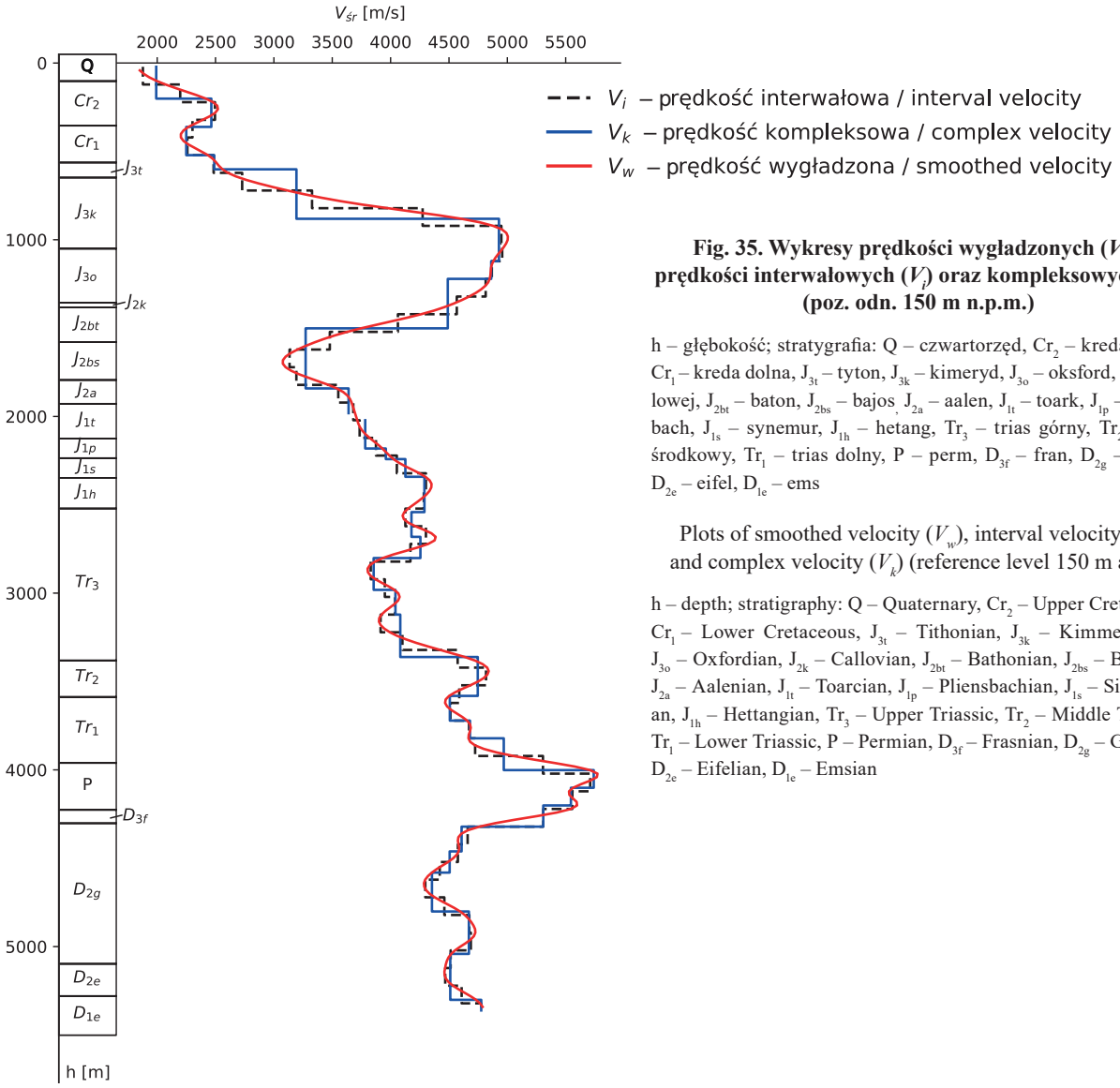


Fig. 35. Wykresy prędkości wygładzonych (V_w), prędkości interwałowych (V_i) oraz kompleksowych (V_k) (poz. odn. 150 m n.p.m.)

h – głębokość; stratygrafia: Q – czwartorzęd, Cr_2 – kreda górna, Cr_1 – kreda dolna, J_{3t} – tyton, J_{3k} – kimeryd, J_{3o} – oksford, J_{2k} – kelowej, J_{2bt} – baton, J_{2bs} – bajos, J_{2a} – aalen, J_{1t} – toark, J_{1p} – pliensbach, J_{1s} – synemur, J_{1h} – hetang, Tr_3 – trias górny, Tr_2 – trias środkowy, Tr_1 – trias dolny, P – perm, D_{3f} – fran, D_{2g} – żywet, D_{2e} – eifel, D_{1e} – ems

Plots of smoothed velocity (V_w), interval velocity (V_i) and complex velocity (V_k) (reference level 150 m a.s.l.)

h – depth; stratigraphy: Q – Quaternary, Cr_2 – Upper Cretaceous, Cr_1 – Lower Cretaceous, J_{3t} – Tithonian, J_{3k} – Kimmeridgian, J_{3o} – Oxfordian, J_{2k} – Callovian, J_{2bt} – Bathonian, J_{2bs} – Bajocian, J_{2a} – Aalenian, J_{1t} – Toarcian, J_{1p} – Pliensbachian, J_{1s} – Sinemurian, J_{1h} – Hettangian, Tr_3 – Upper Triassic, Tr_2 – Middle Triassic, Tr_1 – Lower Triassic, P – Permian, D_{3f} – Frasnian, D_{2g} – Givetian, D_{2e} – Eifelian, D_{1e} – Emsian

ści średniej widoczny jest natomiast na głęb. 5300 m (ems), gdzie następuje zmiana litologii z niskoprędkościowych iłowców na wapienie i wapienie margliste, które charakteryzują znacznie wyższe prędkościami.

Wykonana interpretacja pomiarów średnich prędkości fal sejsmicznych w otworze Szwejki IG 3 umożliwia określenie prędkości rozchodzenia się tych fal w ośrodku skalnym, a w konsekwencji wyznaczenie głębokości granic na przekrojach sejsmicznych w tym rejonie. Na postawie otrzymanych wyników można wnioskować, że najwyraźniejszymi refleksami będę te odpowiadające wapieniom mikrytowym w obrębie górnej jury, wapieniowi muszlowemu oraz anhydrytowi podstawowemu w utworach cechsztynu.