

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Edyta NOWAK-KOSZLA, Sylwia KIJEWSKA

BADANIA SEJSMICZNE W REJONIE OTWORU MACIEJOWICE IG 1

W rejonie otworu wiertniczego Maciejowice IG 1 w latach 1975–1997 oraz w 2003 r. wykonano kilkanaście profili sejsmiki refleksyjnej 2D. W celu zilustrowania budowy geologicznej analizowanego obszaru wybrano profil sejsmiczny T0380491 (fig. 51), pozyskany w 1991 r. w ramach tematu Wilga–Abramów przez firmę Geofizyka Toruń na zlecenie Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa. Przekrój jest usytuowany w centralnej części północno-zachodniego rejonu basenu lubelskiego i prezentuje budowę geologiczną w bezpośrednim sąsiedztwie otworu Maciejowice IG 1, nie dochodząc do walnych stref dyslokacyjnych położonych dalej ku północnemu wschodowi, tj. nasunięcia Kocka i uskoku Ursynów–Kazimierz Dolny–Wysokie, będącego południowo-zachodnią granicą basenu. Głównym celem badań sejsmicznych 2D, było szczegółowe rozpoznanie budowy geologicznej utworów dewonu, karbonu, cechsztynu oraz mezozoiku (Jurek, 1994). Jakość sygnału prezentowanego profilu jest zadowalająca i pozwoliła na prześledzenie przebiegu wybranych granic refleksyjnych oraz identyfikację uskoków. Dane sejsmiczne dowiązano do danych z otworu Maciejowice IG 1. W ramach prac interpretacyjnych wykonano korelację granic refleksyjnych, związanych ze stropem utworów jury, triasu, permu, karbonu, dewonu i syluru.

Na interpretowanym profilu (fig. 51), w obrębie utworów syluru, dewonu i karbonu, widoczny jest synklinalny układ warstw. Osady syluru, reprezentowane głównie przez iłowce, są najstarszymi utworami nawierconymi w analizowanym rejonie. Przebieg horyzontu sejsmicznego związanego z ich stropem jest hipotetyczny, z uwagi na brak wyraźnego refleksu pochodzącego od tej granicy. W niższej części dewonu obserwuje się wzmocnione odbicia, powstające prawdopodobnie na granicach piaskowców i iłowców lub mułowców. Zinterpretowany strop dewonu górnego stanowi granicę refleksyjną i pokrywa się z powierzchnią erozyjną powstałą na tym obszarze od turneju po wizen środkowy. Górna część profilu dewonu jest wykształcona w postaci osadów marglisto-wapiennych. W profilu utworów karbonu deponowanych od turneju po moskow można zaobserwować liczne horyzonty sejsmiczne, pochodzące od granic związanych z kontaktem osadów piaskowcowo-mułowcowo-ilastych

z węglanowymi w wizeńskiej części profilu, a powyżej kontaktu piaskowców z iłowcami lub mułowcami.

Osady dewonu i karbonu charakteryzują się znacznym zaangażowaniem tektonicznym. Niektóre dyslokacje zidentyfikowane w tych utworach mają swoje założenia w osadach syluru, następnie przecinają dewon oraz niższą część karbonu. Inne są widoczne wyłącznie w dewonie czy karbonie lub w obrębie obu tych systemów. Uskoki przebiegają pod różnymi, czasami znacznymi, kątami upadu. Większość z nich ma charakter odwrócony, obserwuje się też dyslokacje przeciwstawne. Przy niektórych uskokach są widoczne niewielkie nasunięcia. Niektóre z tych uskoków, wchodzących w skład waryscyjskiego piętra strukturalnego, uległy późniejszej reaktywacji.

Utwory permu zalegają niezgodnie na utworach karbonu i nieznacznie zapadają w kierunku południowo-zachodnim. W osadach permu, triasu i jury stwierdzono obecność kilku dyslokacji, mających swoje założenia w piętrze waryscyjskim, obejmującym utwory przedpermicznego paleozoiku. Utwory mezozoiku w niewielkim stopniu zapadają w kierunku południowo-zachodnim. W obrębie utworów triasu widać kilka odbić, związanych m.in. z kontaktem utworów mułowcowo-ilasto-marglistych z wapieniami oraz wapieni z piaskowcami. W górnej części kompleksu utworów jurajskich widać kilka wyraźnych odbić, związanych z obecnością wapieni i margli. Obraz falowy w dolnej i środkowej części jury charakteryzuje się mniejszą dynamiką w porównaniu z zapisem obserwowanym w jej górnej części. Dające się prześledzić odbicie o zmiennej dynamice jest związane z kontrastem impedancji akustycznej, pojawiającym się na granicy wapieni i piaskowców. W obrębie utworów kredy widać kilka horyzontów sejsmicznych o różnym stopniu wzmocnienia amplitud. Granice refleksyjne powstały m.in. na kontakcie kredy piszącej i margli oraz margli i wapieni. W utworach kredy zidentyfikowano kilka uskoków.

Składamy serdeczne podziękowania firmie PGNiG S.A. za wyrażenie zgody na wykorzystanie profilu sejsmicznego T0380491 w celu zinterpretowania i zilustrowania budowy geologicznej rejonu otworu Maciejowice IG 1.

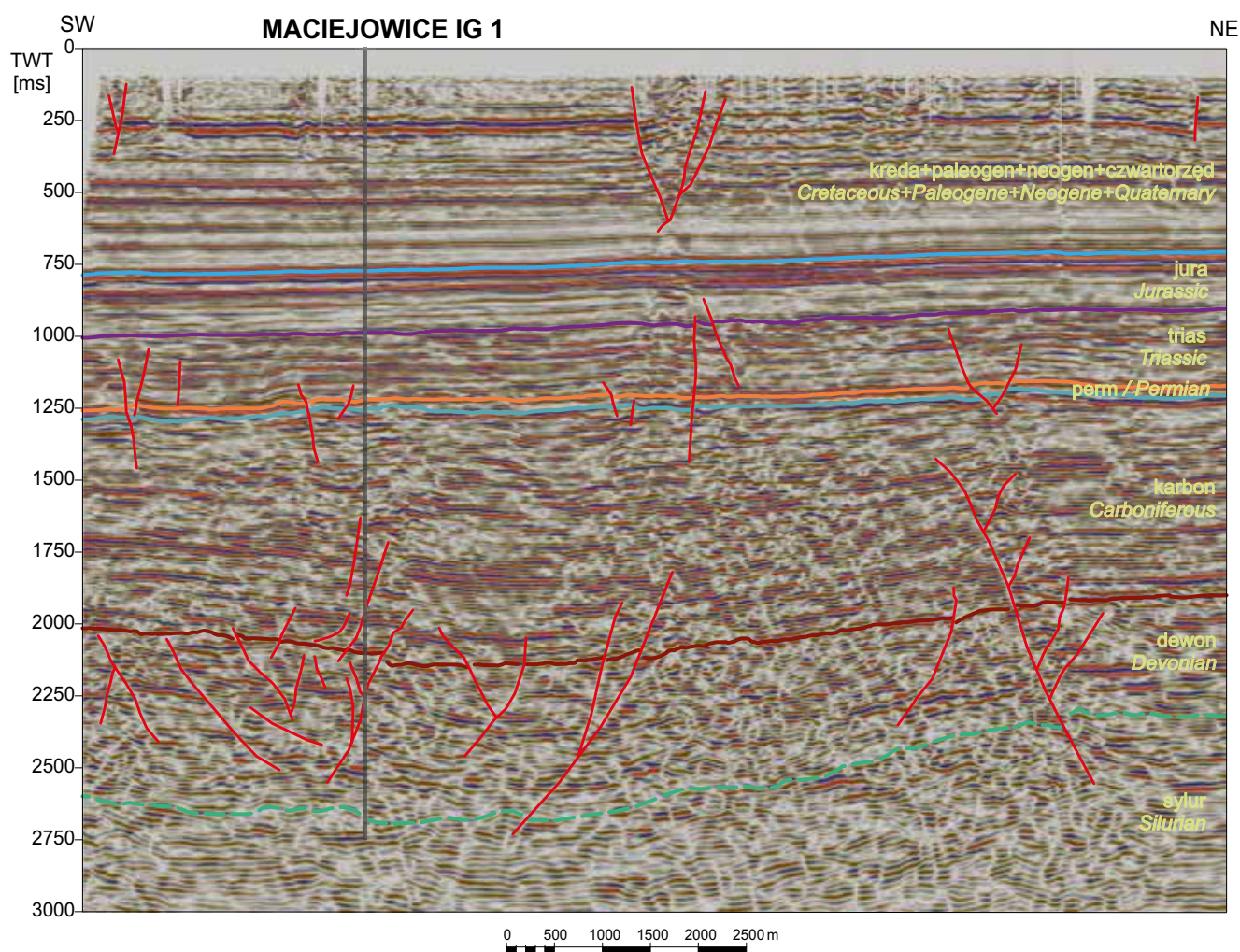


Fig. 51. Fragment czasowego profilu sejsmicznego T0380491 wraz z interpretacją

A part of 2D time seismic section T0380491 with interpretation

Sara WRÓBLEWSKA

GEOFIZYKA WIERTNICZA

Opracowanie pomiarów geofizyki wiertniczej wykonanych w otworze Maciejowice IG 1 przeprowadzono na podstawie dokumentacji wynikowej tego otworu badawczego (Żelichowski i in., 1977) oraz scyfrowanych danych geofizycznych w formacie LAS ze zbioru CBDG (Centralnej Bazy Danych Geologicznych, PIG-PIB). Pomiarów geofizycznych zostały wykonane w okresie od 22.09.1975 r. do 08.01.1977 r. przez Zakład Badań Geofizycznych PPG Warszawa (Kombinat Geologiczny „Północ”), I Zespół geofizy-

ki wiertniczej w Lublinie, III Zespół Geofizyki Wiertniczej w Poznaniu, Przedsiębiorstwo Geofizyki Morskiej i Lądowej Górnictwa Naftowego Toruń oraz Przedsiębiorstwo Geofizyki Górnictwa Naftowego Kraków. Głównym celem wierceń Maciejowice IG 1 było zbadanie wykształcenia litologicznego skał karbonu oraz dewonu górnego i środkowego. Ponadto przeanalizowano perspektywiczność tych poziomów stratygraficznych pod kątem występowania w ich obrębie złóż ropy naftowej i gazu ziemnego.

ZAKRES WYKONANYCH BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Pomiary geofizyczne wykonano w siedmiu odcinkach pomiarowych w interwale głęb. 0,0–5057,0 m. Większość z nich zarejestrowano w skali 1 : 500. Wyjątek stanowią pojedyncze

odcinki profilowań PG, P0st, mP0st oraz PŚr. Pomiarów wykonywano przy użyciu aparatury produkcyjnej radzieckiej typu AKSŁ-7. Podstawowy zestaw pomiarowy obejmował:

- profilowanie oporności potencjałowe (POp),
- profilowanie oporności gradientowe (POg),
- profilowanie potencjałów naturalnych (grad PS),
- profilowanie naturalnego promieniowania gamma (PG),
- profilowanie neutron–gamma (PNG),
- profilowanie średnicy otworu (PŚr),
- profilowanie krzywizny otworu (PK),
- pomiar temperatury termometrem maksymalnym (T_{max}),
- powierzchniowe profilowanie oporności potencjałowe (POP).

Do kompletu pomiarów podstawowych dołączono także pomiary uzupełniające:

- sondowanie oporności gradientowe (SOg),
- sterowane profilowanie oporności (POst),
- mikroprofilowanie oporności sterowane (mPOst),
- profilowanie gamma–gamma gęstościowe (PGG),
- profilowanie neutron–neutron nadtermiczne (PNNnt),
- profilowanie upadu warstw (PUw),
- profilowanie akustyczne (T1, T2, PA – ΔT),
- profilowanie temperatury (PTn, PTu).

W interpretacji pomiarów geofizycznych wykorzystano również wyniki badań laboratoryjnych rdzeni, profilowanie gazowe oraz PM. W otworze wykonywano także pomiary kontrolne w najgłębszej części odcinków pomiarowych.

Średnica nominalna wiercenia Maciejowice IG 1 wynosiła 438,0 mm do głębokości 565,0 m, 308,0 mm w interwale 565,0–2820,0 m, 216,0 mm dla głębokości 2820,0–4208,0 m oraz 143,0 mm od 4208,0 do 5059,0 m. W tabeli 35 zestawiono dokładne interwały głębokościowe wykonanych profili geofizyki wiertniczej na podstawie spisu wykonanych badań z dokumentacji wynikowej (Żelichowski i in., 1977) oraz informacji dostępnych w CBDG. W tabeli 35 umieszczono również datę ich wykonania oraz średnicę nominalną otworu podczas realizacji pomiarów. Pozostałe pomiary są dostępne w Narodowym Archiwum Geologicznym jedynie w wersji analogowej. Możliwości sprzętowe urządzeń używanych w latach 70. XX w. oraz asortyment stosowanych wtedy badań uniemożliwiały szczegółowe rozpoznanie profilu wiercenia. Jakość pomiarów również zdecydowanie odbiegała od tych, realizowanych współcześnie.

Tabela 35

Wykaz badań geofizyki otworowej wykonanych w otworze Maciejowice IG 1

List of well logs performed in the Maciejowice IG 1 borehole

Data wykonania pomiaru Date of measurement	Rodzaj pomiaru (skrót) Type of measurement (abbreviated)	Interwał głębokościowy pomiaru Depth interval [m]	Średnica nominalna otworu Bit size [mm]
22–23.09.1975	PG	0,0–563,0	438,0
	PTn		
	PK		
	POg	35,0–563,0	
	POp		
	PŚr		
grad PS			
12.11.1975	POg	665,5–1589,5	308,0
	POp	650,0–1590,0	
	PS		
14.01.1976	PK	655,0–2350,0	
	POg		
	grad PS	1550,0–2350,0	
POp			
27.02.1976	PK	540,0–2825,0	
	PUw		
27.02–1.03.1976	POp	500,0–2815,0	
	SOg		
	grad PS		
	PŚr		
	PG		
	PK		2300,0–2815,0
	PG	1830,0–2815,0	
	PŚr		
	POst	557,0–2816,0	
	mPOst		
	mPOst	1830,0–2815,0	
	PG		
10–12.03.1976	PŚr	35,0–2820,0	
	PA		
1–3.07.1976	POg	2821,0–3950,0	216,0
	grad PS		
	SOg	3340,0–3950,0	
	POp		
	PG	3300,0–3947,0	
	PNG	3300,0–3950,0	
	PŚr	2821,0–3932,0	
	PK	2775,0–3945,0	
	POst	3340,0–3948,0	
mPOst			
28–29.08.1976	PA	2800,0–4200,0	

Tabela 35 cd.

Data wykonania pomiaru Date of measurement	Rodzaj pomiaru (skrót) Type of measurement (abbreviated)	Interwał głębokościowy pomiaru Depth interval [m]	Średnica nominalna otworu Bit size [mm]
24–26.08.1976	POg	2821,0–4200,0	216,0
	gradPS		
	SOg		
	POp	3900,0–4200,0	
	PNG		
	PG		
	PŚr	3900,0–4195,0	
	PNNnt	2821,0–4192,0	
	PK	3390,0–3550,0	
	POst	3900,0–4205,0	
	mPOst	3900,0–4200,0	
	PGG	2821,0–4195,0	
PŚr			
1–2.09.1976	PUw	2500,0–4000,0	143,0
3–4.11.1976	POg	2821,0–4195,0	
	POp		
	gradPS		
	PŚr	4150,0–4605,0	
	PG		
	PNG		
28–29.12.1976	PK	4200,0–5021,0	
	PŚr		
	POg		
	POp	4200,0–5057,0	
	gradPS		
	PG		
8.01.1977	PNG	4550,0–5050,0	
	PK		
5–6.01.1997	PK	4550,0–5000,0	
	PA		
5–6.01.1997	PTu	2630,0–3990,0	438,0; 308,0; 216,0; 143,0
5–6.01.1997	PTu	50,0–5057,0	

PŚr (CALI) – profilowanie średnicy, PG (GR) – profilowanie gamma, PK – profilowanie krzywizny odwiertu, POg (EL09) – profilowanie oporności gradientowe, POp (EN10) – profilowanie oporności potencjałowe, POst (LL3) – profilowanie oporności sondą 3 – elektr. sterowaną, SOg – sondowanie oporności gradientowe, PNNnt (NECN) – profilowanie neutron-neutron nadtermiczne, PS (SP) – profilowanie naturalnych potencjałów, PA (DT) – profilowanie akustyczne, PNG (NEGR) – profilowanie neutron-gamma, mPOst – mikroprofilowanie oporności sterowane, PT – profilowanie temperatury, PUw – profilowanie upadu warstw

PŚr (CALI) – caliper, PG (GR) – gamma ray log, PK – deviation log, POg (EL09) – lateral electrical log, POp (EN10) – normal electrical log, POst (LL3) – laterolog, SOg – set of resistivity measurements, PNNnt (NECN) – epithermal neutron log, PS (SP) – spontaneous potential log, PA (DT) – acoustic log, PNG (NEGR) – neutron-gamma log, mPOst – microlaterolog (ML), PT – temperature log, PUw – dipmeter

DIGITALIZACJA I NORMALIZACJA PROFILOWAŃ GEOFIZYCZNYCH

Część pomiarów, wykonanych w otworze Maciejowice IG 1, obejmujących w głównej mierze profilowania średnicy, radiometryczne, akustyczne oraz elektrometryczne, poddano cyfryzacji w ramach prac interpretacyjnych PIG-PIB w latach 90. XX w., związanych z uzupełnianiem bazy CBDG o badania geofizyki otworowej. Wybrane pomiary, głównie profilowanie naturalnego promieniowania gamma (PG), połączono oraz poddano normalizacji. Zastosowana w trakcie

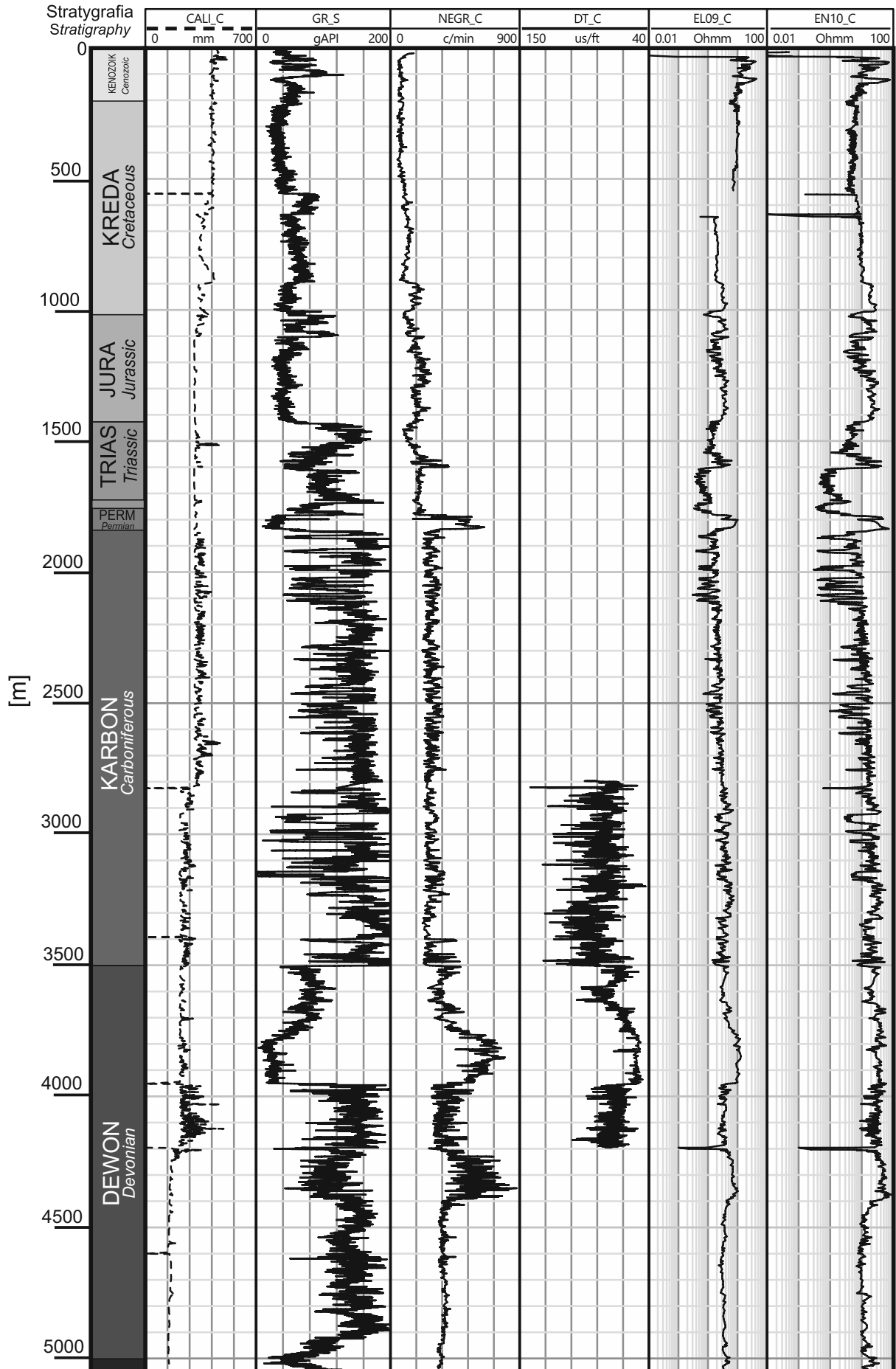
prac metodyka standaryzacji profilowań radiometrycznych została opisana w pracach Szewczyka (1998, 2000). Scyfrowane odcinkowe i połączone dane geofizyczne (ang. *composite log*) dla otworu Maciejowice IG 1 w formacie LAS (ang. *Log ASCII Standard*) są dostępne w CBDG (nr identyfikacyjny 43514). Graficzne zestawienie dostępnych, zdigitalizowanych pomiarów geofizycznych wraz z uproszczonym profilem stratygraficznym zamieszczono na figurze 52.

Fig. 52. Zestawienie dostępnych połączonych i znormalizowanych profilowań geofizycznych w otworze Maciejowice IG 1

profilowanie średnicy (CALI_C), unormowane profilowanie gamma (GR_S), profilowanie neutron-gamma (NEGR_C), profilowanie akustyczne czasu interwałowego (DT_C) oraz profilowań oporności o krótkim (EN10_C) i długim (EL09_C) zasięgu radialnym

Presentation of merged and normalized geophysical well logs available for Maciejowice IG 1 borehole

caliper log (CALI_C), normalized natural gamma ray log (GR_S), neutron-gamma ray log (NEGR_C), sonic – compressional slowness (DT_C) and conventional gradient resistivity logs shallow (EN10_C) and deep (EL09_C)



OCENA JAKOŚCI DANYCH I STANU OTWORU

Krzywe uzyskane za pomocą niekalibrowanej aparatury pomiarowej sprawiają często wiele problemów interpretacyjnych i tym samym utrudniają wiarygodną analizę danych geofizycznych. Jest to spowodowane odmiennymi parametrami technicznymi stosowanych przed rokiem 1990 sond oraz z rejestracji pomiarów radiometrycznych (PG, PNG, GGDN) w niestandardowych jednostkach (imp/min). Istotną różnicą zauważalną podczas interpretacji krzywych niekalibrowanych, szczególnie gęstościowych, jest spadek wartości (imp/min) w skałach o wyższych gęstościach objętościowych i odpowiednio jej wzrost w skałach mniej gęstych. Tego typu wskazania są wynikiem procedury pomiarowej sond gęstościowych, których działanie jest oparte na pomiarze różnicy pomiędzy promieniowaniem gamma wygenerowanym przez sondę, a promieniowaniem wtórnym, docierającym do umieszczonego w niej detektora. Uzyskana różnica jest wynikiem pochłaniania energii, powstałej w wyniku procesu, zwanego rozpraszaniem Comptonowskim, który zachodzi wskutek kolizji cząstek gamma z elektronami zawartymi w skale. Ubytek energii cząstek gamma jest więc tym wyższy, im wyższa jest gęstość elektronowa skały, która jest ściśle związana z jej gęstością objętościową. Procedura pomiarowa stosowana w sondach współczesnych jest tożsama, jednak wynik uzyskiwany przez detektor jest konwertowany do wartości standardowych 2–3 g/cm³. Podobna zależność dotyczy również profilowania neutron–gamma, gdzie podwyższona zawartość wodoru w skale wywołuje obniżone wartości na krzywej NEGR, odwrotnie do współcześnie stosowanych profilowań neutronowych.

Wiele z profilowań jest również obciążone błędami wynikającymi ze złego stanu technicznego ścian otworu. Ocenę jakości ścian przeprowadzono na podstawie profilowania średnicy (PŚr/CALI), które jest dostępne dla znaczącej części analizowanego otworu (35,0–5021,0 m). Największe skawernowanie zaobserwowano w marglisto-wapiennych utworach kredy (max 465,0 mm) oraz ilastych utworach karbonu (330,0–490,0 mm) przy średnicy nominalnej 308,0 mm. W głębszym odcinku, gdzie średnica nominalna wynosiła 216,0 mm, największe wymycia, poza wcześniej wspomnianymi skałami ilastymi karbonu (230,0–320,0 mm), występują również w ilastych, piaszczystych i węglanych

nowych skałach dewonu (230–400 mm) w interwale 3957,0–4155,0 m.

Profilowanie krzywizny w otworze Maciejowice IG 1 wykonano na odcinku 0,0–5000,0 m. Do głęb. 2925,0 m krzywizna otworu jest nieznaczna i osiąga maksymalnie 1°30'. Azymut skrzywienia w tym odcinku zmienia się w przedziale SW–S–SE, a maksymalne odejście od pionu wynosi 27 m w kierunku południowym. Poniżej krzywizna osi wiercenia wzrasta do 2° na głęb. 2925,0 m i 4° na głęb. 3225,0 m. Największe skrzywienie otworu, wynoszące od 4°30' do 5°, zarejestrowano w interwale 3350,0–3600,0 m. Niżej krzywizna otworu maleje i nie przekracza 2–4°. Kierunek odchylenia osi odwiertu zmienia się jedynie nieznacznie. W interwale 2925,0–4350,0 m odchyła się w kierunku SSW, a na odcinku 4350,0–4750,0 m oraz 4750,0–5055,0 m odpowiednio na S i SW. Całkowite odejście od pionu osi otworu wynosi 148 m przy azymucie 191°.

Stan zacementowania rur okładzinowych w otworze Maciejowice IG 1 różni się w poszczególnych odcinkach pomiarowych. W interwale 35,0–1125,0 m, w rurach 9 5/8", profilowanie akustyczne nie wykazało obecności cementu. Na głębokości 1125,0–2820,0 m jedynie w kilku krótkich odcinkach stan zacementowania można uznać jako dostateczny. Sumaryczna miąższość tych interwałów sięga 52,0 m. Na pozostałym odcinku stan zacementowania oceniono jako słaby (brak cementu) lub śladowy. W interwale 2630,0–3050,0 m orurowania 7" nie zarejestrowano obecności cementu. Na niewielkich odcinkach w interwałach: 3098,0–3495,0; 3495,0–3765,0; 3906,0–3913,0 oraz 3850,0–3990,0 m stopień zacementowania uznano jako dostateczny. Pozostałe odcinki z interwału 3050,0–3990,0 m wykazują śladowe związanie cementu z rurami okładzinowymi. Ocenę stanu zacementowania przeprowadzono przy pomocy profilownia akustycznego.

W celu ustalenia stopnia geotermicznego w otworze Maciejowice IG 1 wykonano również profilowanie temperatury po 7-dobowej stójce w interwale 50,0–5057,0 m. Średni gradient geotermiczny dla otworu wynosi 2,04°C/100 m, a średni stopień geotermiczny $H_{sr} = 48,9$ m/°C. Wartości gradientu i stopnia geotermicznego dla poszczególnych poziomów stratygraficznych przedstawiono w tabeli 36.

OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

Interpretację pomiarów geofizyki wiertniczej w otworze Maciejowice IG 1 wykonano dla całego otworu (0,0–5057,0 m) w celu:

- określenia litologii i stratygrafii przewierczanych skał,
- wyróżnienia poziomów posiadających potencjał zbiornikowy,

- wydzielenia warstw węgla kamiennego,

- wytypowania horyzontów do opróbowania.

Analiza pomogła uszczegółowić profil geologiczny oraz wydzielić horyzonty perspektywiczne pod kątem poszuki-

wania węglowodorów oraz węgla kamiennego, a tym samym pomogła spełnić podstawowe cele badawcze.

Każdy z analizowanych interwałów stratygraficznych posiada odmiennie właściwości geofizyczno-petrofizyczne. W najwyższej części profilu dominują czwartorzędowe piaski, żwiry i gliny oraz neogeńskie mułki i ropy miejscami przewarstwione piaskiem. Interwał ten wykazuje zmienne właściwości geofizyczne, związane najprawdopodobniej ze składem mineralogicznym piasków oraz stopniem zailenia osadów. Charakterystycznym interwałem widocznym na

Tabela 36

Gradient i stopień geotermiczny dla poszczególnych wydziałów stratygraficznych w otworze Maciejowice IG 1

Geothermal gradient and degree for individual stratigraphic intervals in the Maciejowice IG 1 borehole

Stratygrafia Stratigraphy	Interwał Depth interval [m]	Stopień geotermiczny Geothermal degree [m ^o C]	Gradient geotermiczny Geothermal gradient [°C/100 m]
Czwartorzęd / Quaternary	20,0–45,0	4,4	22,70
Neogen–paleogen / Neogene–Paleogene	45,0–201,5	25,6	3,90
Kreda / Cretaceous	201,5–297,5	91,2	1,10
	297,5–556,0	103,0	0,97
	556,0–1025,5	100,0	1,00
Jura / Jurassic	1025,5–1225,0	56,3	1,78
	1225,0–1427,5	80,0	1,25
Trias Triassic Perm Permian	1427,5–1546,0	44,0	2,27
	1546,0–1612,5	61,8	1,62
	1612,5–1735,0	67,8	1,48
	1735,0–1774,5	75,0	1,33
	1774,5–1846,0	111,0	0,90
Karbon / Carboniferous	1846,0–2122,0	56,0	1,77
	2122,0–2616,0	42,2	2,37
	2616,0–2928,0	41,2	2,43
	2928,0–3360,0	46,2	2,21
	3360,0–3468,0	34,2	2,92
Dewon / Devonian	3468,0–3504,5	41,7	2,40
	3504,5–3952,5	53,6	1,87
	3952,5–4415,0	50,2	1,66
Dewon–sylur / Devonian–Silurian	4415,0–4825,0	35,6	2,80
	4825,0–5057,0	24,3	4,10

krzywej naturalnego promieniowania gamma jest warstwa oligocenijskiego piasku i mułu glaukonitowego na głębokości 85,7–116,0 m. Występowanie glaukonitu, zawierającego w swym składzie znaczne ilości potasu, zaznacza się poprzez wzrost naturalnego promieniowania gamma. Porowata struktura piasków glaukonitowych jest ponadto przyczyną niskich wartości oporności w ich obrębie. W sukcesji paleocenu i najwyższej kredy dominują skały wapienno-krzemionkowe (gezy i opoki) o zmiennej zawartości węgla wapnia, krzemionki, glaukonitu i łuszczyków.

W kredzie górnej występują skały węglanowe: margle, wapienie i wapienie margliste przechodzące stopniowo ku górze w kredę piszącą i opokę. Najwyższe wartości naturalnego promieniowania gamma posiadają skały najsilniej zailone – margle i wapienie margliste. Najniższe wartości przyjmują wapienie, opoki i kreda pisząca. Skały węglanowe kredy górnej ze względu na wysoki stopień zailenia i lub dość wysoką porowatość wykazują niskie wskazania na krzywej oporności i neutron–gamma. Jedynym wyjątkiem są występujące w spągu profilu (poniżej 898,5 m) zbitte wapienie, których obecność zaznacza spadek na krzywej gamma oraz wzrost wartości neutron–gamma i oporności. W serii marglistej kredy zarejestrowano znaczne powiększenia średnicy otworu.

Wyraźny wzrost wartości na krzywej promieniowania gamma zaznacza się w miejscu występowania warstwy piasków glaukonitowych na głębokości 1005,2–1007,5 m, która stanowi regionalny, reperowy horyzont korelacyjny, będący górną granicą profilu klastycznej kredy dolnej. Reprezentują ją w głównej mierze słabo scementowane piaskow-

ce o podwyższonych wskazaniach naturalnego promieniowania gamma, spowodowanych najprawdopodobniej podrzędnie występującym glaukonitem, muskowitem oraz podwyższonym stopniem zailenia.

System jurajski jest reprezentowany przez skały węglanowe jury górnej oraz klastyczno-węglanowe jury środkowej. Najwyższe wskazania na krzywej naturalnego promieniowania gamma (do 115 API) wykazują skały margliste w najwyższej części profilu (1025,5–1102,5 m). Podwyższone zawartości minerałów ilastych w tym interwale zaznaczają się również spadkiem na krzywych oporności oraz neutron–gamma. Niższa część wapiennego profilu górnourajskiego oraz wapieni jury środkowej wykazuje zbliżone własności na krzywych geofizycznych. Spadek oporności oraz nieznacznie podwyższone wskazania na krzywej gamma w dolnej części profilu (1420,0–1433,7 m) odpowiadają obecnym w spągu profilu piaskowcom i zlepioncom jury środkowej oraz najwyższego triasu. Zróznicowany skład mineralny tych skał z licznymi toczącami ilastymi i okrucami skał żelazistych jest najprawdopodobniej powodem podwyższonych (~70 API) wartości naturalnego promieniowania gamma.

Utwory ilasto-mułowcowe kajpru środkowego zaznaczają się w profilu otworu Maciejowice IG 1 wyraźnym wzrostem wartości na krzywej naturalnego promieniowania gamma, połączonym ze spadkiem oporności i wartości neutron–gamma. Jest to odpowiedź na podwyższoną zawartość lamin ilastych w obrębie tego wydziału, która nieznacznie różni się od silniej zapiaszczonych leżących niżej skał kajpru dolnego. Profil wapienia muszlowego

występujący poniżej jest dość zróżnicowany. Skały węglanowe w tym interwale stratygraficznym przewarstwiają się z piaskowcami wapnistymi, wykazującymi zbliżone właściwości geofizyczne. Na głęb. 1601,5–1612,0 m poniżej wapieni występuje warstwa piaskowca o zmiennych właściwościach petrofizycznych, należąca do pstrego piaskowca. Poniżej wyraźnym wzrostem na krzywej promieniowania gamma i NEGR oraz spadkiem na krzywych oporności zaznacza się pakiet mułowców piaszczystych, które w spągu graniczą z piaskowcami o zmiennych właściwościach petrofizycznych zalegającymi na głęb. 1737,5–1774,5 m. Skały piaszczyste triasu oraz strefy przejściowej między permem i triasem o miąższości od kilku do kilkunastu metrów mogą stanowić potencjalne podrzędne zbiorniki dla złóż węglowodorów.

Granica pomiędzy piaszczystymi skałami pogranicza pstrego piaskowca i cechsztynu a węglanami cechsztynu w otworze Maciejowice IG 1 zaznacza się dość niewyraźnie na krzywych geofizyki otworowej. Najlepiej widoczna jest leżąca poniżej wapienia dolomitycznego warstwa mułowców wykazująca podwyższone wartości na krzywych gamma i neutron–gamma oraz zalegający niżej anhydryt, którego charakteryzują najwyższe wskazania oporności i neutron–gamma, przy najniższych wartościach GR (1784,0–1837,0 m). W spągu cechsztynu występuje warstwa dolomitu oraz łupek miedzionośny. Skały węglanowe cechsztynu nie wykazują korzystnych właściwości zbiornikowych.

Skały karbonu w otworze Maciejowice IG 1 są reprezentowane przez miąższy, prawie 1660-metrowy pakiet skał ilasto-piaszczystych ze wzrastającym w dół profilu udziałem skał węglanowych (formacja Huczwy). Wyznaczono w jego obrębie horyzonty piaszczyste o miąższości zwykle od kilku do kilkunastu metrów, wykazujące korzystne właściwości zbiornikowe (np. na głęb. 2925,0–2950,0 m, [fig. 53](#); por. Sokołowski, ten tom). Porowatości tych interwałów wynoszą średnio kilkanaście procent przy przepuszczalności od kilku do kilku tysięcy mD. Horyzon-

ty piaszczyste charakteryzują obniżone wartości na krzywych naturalnego promieniowania gamma i oporności oraz podwyższone wartości na krzywej neutron–gamma. Poza warstwami piaszczystymi charakterystyczne wskazania na krzywych geofizycznych odpowiadają pokładom węgla kamiennego lub łupków węglistych. Skały te wykazują silne zróżnicowanie zawartości pierwiastków promieniotwórczych. Od bardzo niskich dla czystego węgla kamiennego po bardzo wysokie dla zailonych łupków węglistych bogatych w uran pochodzenia organicznego. Obecność materii organicznej może być przyczyną anomalnie wysokich wskazań na krzywych: neutronowej, oporności oraz akustycznej (czasu interwałowego – DT).

W profilu dewonu górnego dominują skały węglanowe (wapienie, wapienie margliste i wapienie dolomityczne) o rosnącym ku górze stopniu zailenia osadów ([fig. 53](#)). Wzrost zawartości minerałów ilastych jest obserwowany zarówno poprzez stopniowy wzrost wartości na krzywej naturalnego promieniowania gamma i krzywej akustycznej, jak i poprzez spadek wartości NEGR. Devon środkowy i dolny jest zbudowany odpowiednio z mułowców dolomitycznych i skał piaszczysto-ilastych. Piaskowce dewonu wykazują niewielką porowatość i nie posiadają tym samym znaczących właściwości kolektorskich. W najniższej części profilu znajduje się względnie jednolity geofizycznie interwał skał ilasto-mułowcowych syluru, nie posiadający właściwości zbiornikowych.

Badania geofizyczne wykonane w otworze Maciejowice IG 1 spełniły planowane założenia. Wykonana analiza właściwości geofizycznych skał pozwoliła uszczegółwić profil litologiczny oraz wytypować potencjalne horyzonty zbiornikowe. W wyniku przeprowadzonych badań ustalono, że w profilu otworu najlepsze parametry zbiornikowe wykazują pojedyncze interwały piaszczyste i/lub wapniste mezozoiku (trias, jura, kreda) oraz piaskowce karbońskie. Pozostałe skały profilu Maciejowice IG 1 nie wykazują korzystnych właściwości zbiornikowych.

Kinga BOBEK

WYNIKI POMIARÓW PRĘDKOŚCI ŚREDNICH

Opracowanie wyników profilowań prędkości średnich dla otworu Maciejowice IG 1 zostało wykonane przez Zakład Badań Geofizycznych PGG Kombinatoru Geologicznego „Północ” z siedzibą w Warszawie w 1977 r. Pomiaru w odwiercie wykonano aparaturą T – 1 nr 0.2 oraz sondą 6-geofonową typu GSC – 4 w interwałach 15-metrowych. Prace strzałowe prowadzono z dwóch punktów wzbudzenia (PW) rozmieszczonych z uwzględnieniem warunków metodycznych i terenowych, w następujący sposób:

PW1: d = 95 m, A = 215°, N = –1 m

PW2: d = 704 m, A = 209°, N = –1 m

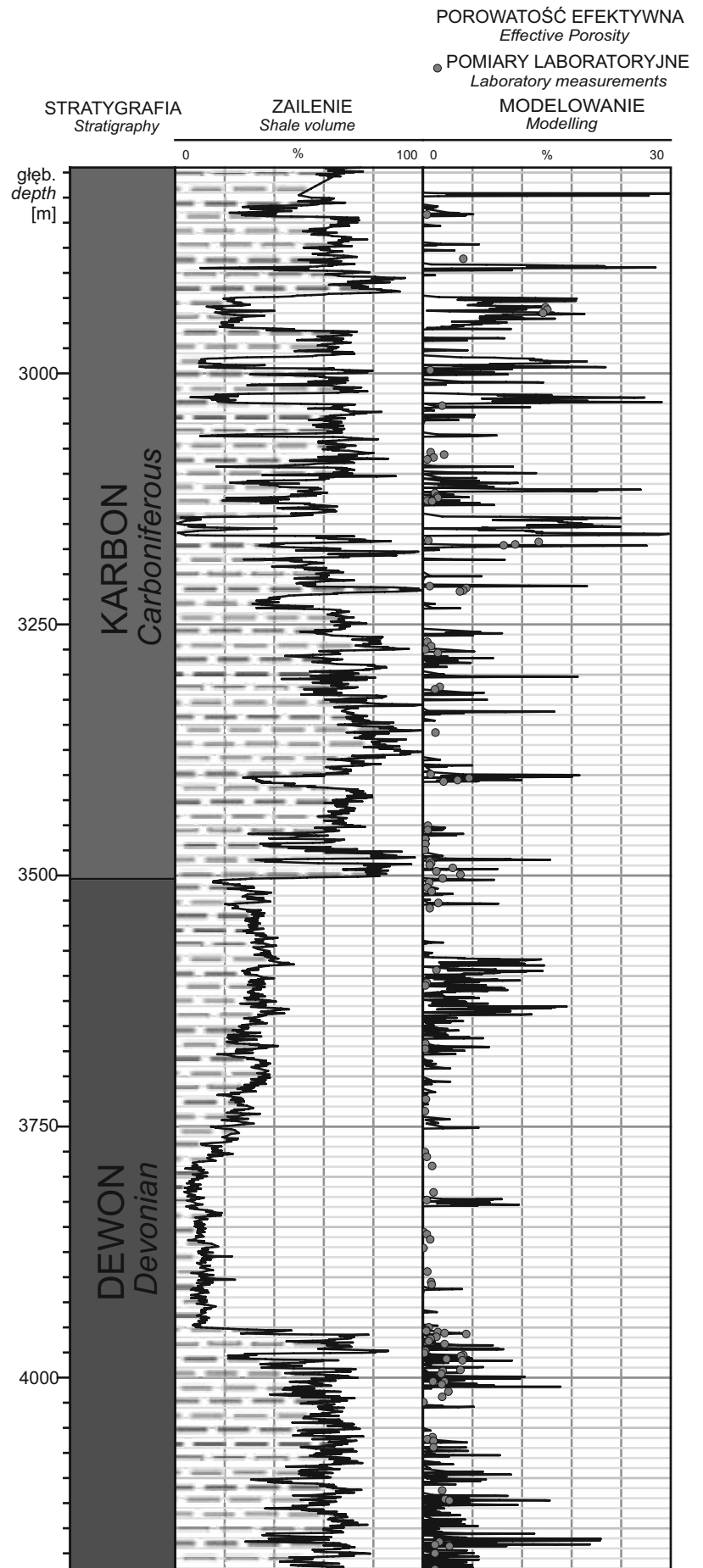
gdzie:

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.

W celu kontroli głębokości strzelania, w punktach strzałowych ustawiono geofony korekcyjne K₁ w odległości 5 m. Do kontroli momentu wybuchu przy głębokim odwiercie ustawiono geofon korekcyjny K₂. Pierwsze impulsy sondy zarejestrowano w sześciu kanałach. Po korektach pomiarów i wyeliminowaniu zakłóceń na sejsmogramach, wywołanych rozchodzeniem się fal po rurach i płuczce, wykonano analizę jakości uzyskanych wyników. Do dalszych interpretacji wybrano w sumie 585 sejsmogramów, których jakość oceniono na dobrą lub dostateczną, natomiast



→

Fig. 53. Modelowanie parametrów petrofizycznych w wybranym interwale dewonu i karbonu w otworze Maciejowice IG 1

Petrophysical model for selected Devonian and Carboniferous interval in Maciejowice IG 1 borehole

wyeliminowano 69, których jakość określono jako złą. Objęty pomiarem interwał głębokościowy obejmuje wydzielenia stratygraficzne od czwartorzędu do syluru. Wysokość wylotu otworu wynosi 106 m, natomiast do obliczeń prędkości średnich przyjęto poziom odniesienia pomiaru na wysokości 91 m n.p.m. Procedurę interpretacji uzyskanych wyników rozpoczęto od wprowadzenia poprawek statycznych dla czasu obserwowanego i przeliczenie głębokości zredukowanej do poziomu odniesienia.

Poprawki czasowe wprowadzono z uwzględnieniem zmiany głębokości strzelania dla poszczególnych pomiarów w stosunku do poziomu odniesienia wspólnego dla danych punktów wzbudzenia. Czas obserwowany na seismogramach przeliczono na czas poprawiony z wykorzystaniem dwóch metod obliczeniowych. W pierwszej z metod, poprawkę czasu wykonano zgodnie z równaniem:

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

gdzie:

t_p – czas poprawiony,

t_{obs} – czas obserwowany,

Δt_h – poprawka wynikająca ze zmian głębokości strzelania, poziomu odniesienia, miąższości stref małych prędkości, prędkości wewnątrz danej strefy oraz pod nią.

W drugiej metodzie obliczeniowej wykorzystano wskazania geofonów korekcyjnych K_1 i K_2 . Zgodnie z tą metodą, czas poprawiony wyznacza się na podstawie następującej procedury obliczeniowej:

$$(1) \Delta tk_1 = tk_1 - t'k_1 \quad i \quad \Delta tk_2 = tk_2 - t'k_2$$

$$\Delta th = \Delta tk_1 - \Delta tk_2$$

$$t_p = t_{obs} + \Delta th - \Delta tk_2$$

gdzie:

tk_1, tk_2 – czasy pierwszych impulsów geofonów K_1, K_2 dla średniej głębokości strzelania,

$t'k_1, t'k_2$ – czasy pierwszych impulsów geofonów K_1, K_2 dla innej głębokości strzelania

t_p – czas poprawiony,

t_{obs} – czas obserwowany.

Po wprowadzeniu poprawek czasowych, wykonano redukcję pomiarów do wybranego punktu odniesienia. Głębokość pomierzoną zredukowano do poziomu odniesienia według wzoru:

$$h_r = H - h_{po} + N$$

gdzie:

h_r – głębokość punktu pomiarowego zredukowana do poziomu odniesienia,

H – głębokość zanurzenia geofonu liczona od wylotu głębokiego odwiertu,

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

N – wysokość względna PW w stosunku do wylotu głębokiego otworu.

W następnym etapie wprowadzania niezbędnych poprawek wykonano redukcję czasu poprawionego do pionu dla każdego z punktów wzbudzenia, zwanych dalej $t_{r,1}, t_{r,2}$ oraz $t_{r,3}$. W przypadku otworu Maciejowice IG 1 redukcję wykonano, przyjmując założenie, że w interwale głębokościowym od punktu wzbudzenia do głębokości zanurzenia geo-

fonu ośrodek skalny jest jednorodny. Taki układ oznacza, że spodziewany przebieg promienia sejsmicznego jest prostoliniowy, a czas można zredukować według poniższego wzoru: gdzie:

t_r – czas zredukowany,

h_r – głębokość punktu pomiarowego zredukowana do poziomu odniesienia,

d – odległość punktu wzbudzenia od głębokiego odwiertu dla danego PW.

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

Wszystkie uzyskane wartości $t_{r,1}, t_{r,2}, t_r$ oraz V_{sr} zostały zestawione w tabeli 37. Obliczenia prowadzono przy pomocy odpowiedniego programu komputerowego, a uzyskane wyniki zapisano w plikach tekstowych w formacie LAS.

Zestaw otrzymanych wyników stanowił podstawę konstrukcji krzywych prędkości średnich (fig. 54A) oraz

Tabela 37

Zestawienie wartości czasów pomierzonych z trzech punktów wzbudzenia ($t_{r,1}$ i $t_{r,2}$), średniej wartości czasu zredukowanego (t_r) oraz odpowiadającej mu wartości prędkości średniej (V_{sr}) dla danej głębokości (h)

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

h [m]	$t_{r,1}$ [s]	$t_{r,2}$ [s]	t_r [s]	V_{sr} [m/s]
15	0	0,01	0,01	1611,111
30	0	0,018	0,018	1608,333
45	0	0,027	0,027	1599,167
60	0,04	0,035	0,0375	1614,956
75	0,048	0	0,048	1609,748
90	0,057	0	0,057	1605,182
105	0,064	0	0,064	1633,569
120	0,073	0	0,073	1678,212
135	0,082	0,073	0,0775	1715,363
150	0,085	0,083	0,084	1749,047
165	0,096	0,091	0,0935	1791,709
180	0,101	0,098	0,0995	1821,7
195	0,104	0,106	0,105	1845,913
210	0	0,111	0,111	1876,972
225	0	0,118	0,118	1904,476
240	0	0,125	0,125	1927,208
255	0	0,131	0,131	1944,663
270	0	0,137	0,137	1963,307
285	0	0,144	0,144	1980,581
300	0	0,15	0,15	1996,176
315	0	0,157	0,157	2007,898
330	0	0,163	0,163	2021,155
345	0	0,17	0,17	2030,991
360	0	0,176	0,176	2042,416
375	0	0,183	0,183	2052,892
390	0	0,189	0,189	2067,01
405	0	0,195	0,195	2076,188
420	0	0,2	0,2	2086,913
435	0	0,208	0,208	2096,942
450	0	0,214	0,214	2106,336
465	0	0,22	0,22	2111,229
480	0	0,226	0,226	2119,738
495	0	0,233	0,233	2129,505
510	0	0,239	0,239	2133,655
525	0	0,244	0,244	2140,783
540	0	0,253	0,253	2151,005
555	0	0,257	0,257	2162,429
570	0	0,262	0,262	2176,545
585	0	0,267	0,267	2193,711
600	0	0,27	0,27	2208,613
615	0	0,277	0,277	2224,547
630	0	0,282	0,282	2238,4
645	0	0,286	0,286	2245,461
660	0	0,292	0,292	2256,863
675	0	0,299	0,299	2266,365
690	0	0,303	0,303	2275,38
705	0	0,309	0,309	2284,14

Tabela 37 cd.

h [m]	t_{r1} [s]	t_{r2} [s]	t_r [s]	V_{sr} [m/s]
3180	0,972	0,971	0,9715	3273,264
3195	0,974	0,978	0,976	3278,912
3210	0,977	0,979	0,978	3281,849
3225	0,976	0,982	0,979	3285,432
3240	0,983	0,989	0,986	3290,325
3255	0,989	0	0,989	3293,854
3270	0,992	0,991	0,9915	3295,018
3285	0,995	0,996	0,9955	3298,834
3300	0,999	1,001	1	3302,292
3315	1,003	1,003	1,003	3303,427
3330	1,009	1,004	1,0065	3305,526
3345	1,012	1,013	1,0125	3309,569
3360	1,014	1,016	1,015	3314,564
3375	1,015	1,018	1,0165	3318,229
3390	1,017	1,019	1,018	3323,506
3405	1,022	1,025	1,0235	3327,457
3420	1,027	1,027	1,027	3331,048
3435	1,032	1,031	1,0315	3332,024
3450	1,036	1,031	1,0335	3335,248
3465	1,038	1,04	1,039	3336,852
3480	1,04	1,042	1,041	3339,403
3495	1,047	1,047	1,047	3340,332
3510	1,047	1,053	1,05	3342,532
3525	1,057	1,052	1,0545	3343,435
3540	1,058	1,058	1,058	3346,551
3555	1,06	1,064	1,062	3350,587
3570	1,065	1,064	1,0645	3353,666
3585	1,067	1,065	1,066	3356,412
3600	1,073	1,071	1,072	3359,142
3615	1,076	1,076	1,076	3361,846
3630	1,08	1,08	1,08	3362,651
3645	1,082	1,083	1,0825	3365,631
3660	1,086	1,088	1,087	3368,904
3675	1,09	1,089	1,0895	3373,085
3690	1,093	1,093	1,093	3376,931
3705	1,094	1,097	1,0955	3381,069
3720	1,097	1,1	1,0985	3388,886
3735	1,103	1,102	1,1025	3395,745
3750	1,1	1,098	1,099	3403,195
3765	1,105	1,103	1,104	3410,926
3780	1,106	1,105	1,1055	3419,553
3795	1,108	1,108	1,108	3425,064
3810	1,113	1,108	1,1105	3433,026
3825	1,113	1,111	1,112	3439,723
3840	1,114	1,112	1,113	3446,703
3855	1,116	1,117	1,1165	3453,039
3870	1,117	1,12	1,1185	3459,967
3885	1,12	1,124	1,122	3465,013
3900	1,121	1,124	1,1225	3470,962
3915	1,126	1,127	1,1265	3477,194
3930	1,127	1,13	1,1285	3484,018
3945	1,129	1,131	1,13	3490,199
3960	1,133	1,132	1,1325	3495,126
3975	1,133	1,135	1,134	3500,334
3990	1,138	1,142	1,14	3504,594
4005	1,139	1,144	1,1415	3508,218
4020	1,144	1,145	1,1445	3510,896
4035	1,149	1,147	1,148	3514,792
4050	1,151	1,151	1,151	3518,051
4065	1,153	1,157	1,155	3520,988
4080	1,157	1,158	1,1575	3522,698
4095	1,161	1,161	1,161	3525,298
4110	1,168	1,165	1,1665	3529,094
4125	1,168	1,168	1,168	3531,963
4140	1,17	1,17	1,17	3534,516
4155	1,174	1,174	1,174	3535,875
4170	1,177	1,179	1,178	3539,599
4185	1,191	1,18	1,1855	3542,699
4200	1,183	1,183	1,183	3546,385
4215	1,185	1,187	1,186	3549,461
4230	1,189	1,189	1,189	3555,506
4245	1,194	1,194	1,194	3559,137
4260	1,196	1,197	1,1965	3561,857
4275	1,197	1,199	1,198	3564,562
4290	1,203	1,202	1,2025	3568,442
4305	1,205	1,206	1,2055	3572,007
4320	1,209	1,208	1,2085	3573,19
4335	1,211	1,212	1,2115	3576,131
4350	1,218	1,216	1,217	3578,176
4365	1,219	1,218	1,2185	3579,622
4380	1,223	1,223	1,223	3581,053
4395	1,228	1,226	1,227	3585,108

Tabela 37 cd.

h [m]	t_{r1} [s]	t_{r2} [s]	t_r [s]	V_{sr} [m/s]
4410	1,229	1,231	1,23	3589,433
4425	1,232	1,23	1,231	3592,29
4440	1,233	1,231	1,232	3595,715
4455	1,239	1,239	1,239	3598,835
4470	1,242	1,242	1,242	3601,35
4485	1,246	1,245	1,2455	3600,954
4500	1,248	1,247	1,2475	3602,589
4515	1,253	1,254	1,2535	3603,067
4530	1,257	1,257	1,257	3602,97
4545	1,26	1,264	1,262	3602,851
4560	1,266	1,267	1,2665	3603,599
4575	1,268	1,269	1,2685	3602,367
4590	1,275	1,271	1,273	3602,83
4605	1,281	1,279	1,28	3603,295
4620	1,282	1,282	1,282	3602,901
4635	1,287	1,286	1,2865	3602,79
4650	1,289	1,291	1,29	3605,481
4665	1,294	1,294	1,294	3607,04
4680	1,296	1,296	1,296	3609,427
4695	1,298	1,302	1,3	3609,871
4710	1,303	1,303	1,303	3610,587
4725	1,31	1,31	1,31	3611,009
4740	1,313	1,314	1,3135	3611,429
4755	1,317	1,315	1,316	3612,385
4770	1,32	1,32	1,32	3613,358
4785	1,323	1,321	1,322	3613,782
4800	1,33	1,328	1,329	3613,651
4815	1,334	1,333	1,3335	3613,788
4830	1,338	1,336	1,337	3612,025
4845	1,343	1,338	1,3405	3612,971
4860	1,35	1,342	1,346	3612,316
4875	1,348	1,348	1,348	3612,189
4890	1,355	1,356	1,3555	3612,588
4905	1,357	1,359	1,358	3613,525
4920	1,359	1,362	1,3605	3612,859
4935	1,366	1,364	1,365	3614,851
4950	1,371	1,369	1,37	3615,514
4965	1,374	1,371	1,3725	3615,116
4980	1,379	1,376	1,3775	3614,983
4995	1,383	1,381	1,382	3615,444
5010	1,386	1,386	1,386	3614,764

hodografu pionowego (fig. 54B). Krzywa prędkości średnich została utworzona z wykorzystaniem wartości średniej czasu zredukowanego z dwóch punktów wzbudzenia (t_r). Uzyskany hodograf pionowy wskazuje na zależność między wzrostem głębokości a uzyskanymi wartościami czasu rejestracji i prędkością średnią.

Kolejnym etapem analizy jest wyznaczenie poszczególnych kompleksów prędkościowych, a w szczególności ich wartości średnich, poprzez zastosowanie procedury wygładzenia pomiarów czasu. Zastosowane wygładzenie pozwala na zniwelowanie wpływu przypadkowych skoków wartości pomierzonych, wywołanych błędami pomiarowymi. Otrzymane krzywe wygładzone służą do wyznaczenia stref o maksymalnych gradientach prędkości, odpowiadających granicom kompleksów prędkościowych.

Krzywe prędkości obliczono poprzez wyrównanie otrzymanych czasów zredukowanych do pionu, stosując w tym celu splot z odpowiednim filtrem trójkątnym. Przetwarzanie to, w pierwszym etapie, polegało na przeliczeniu czasu i prędkości do poziomu odniesienia i interpolacji otrzymanych wartości dla stałych przedziałów głębokości, co 20 m (od 20 do 5000 m). Zastosowana procedura filtracyjna pozwoliła na usunięcie przypadkowych odchyłek, wynikających z niedokładności pomiaru oraz zniwelowanie skoków wartości, spowodowanych zaokrągleniem otrzymanych wartości do 1 ms przy pierwszym wygładzeniu. W wyniku powtarzania wymienionych operacji zaokrąglane

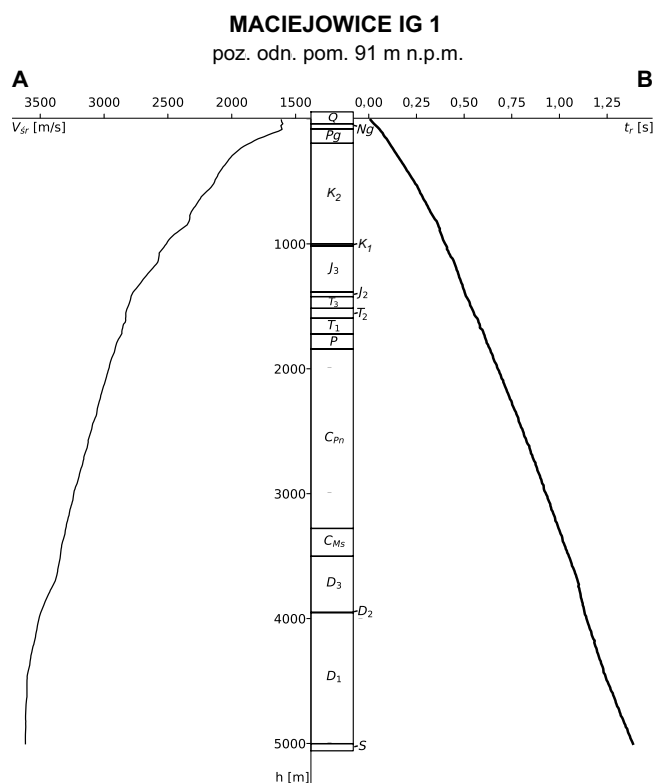


Fig. 54. Wykres prędkości średnich (A) i hodograf pionowy (B) otrzymane dla otworu Maciejowice IG 1 (poz. odn. 91 m n.p.m.)

t_r – średni czas zredukowany, V_{sr} – prędkość średnia, h – głębokość; stratygrafia: Q – czwartorzęd, Ng – neogen, Pg – paleogen, K_2 – kreda górna, K_1 – kreda dolna, J_3 – jura górna, J_2 – jura środkowa, T_3 – trias górny, T_2 – trias środkowy, T_1 – trias dolny, P – perm, C_{pn} – karbon, pensylwan, C_{Ms} – karbon, missisip, D_3 – dewon górny, D_2 – dewon środkowy, D_1 – dewon dolny, S – sylur

Average seismic velocity (A) and travel-time curve (B)
(reference level 91 m a.s.l.)

t_r – average reduced time, V_{sr} – average velocity, h – depth; stratigraphy: Q – Quaternary, Ng – Neogene, Pg – Paleogene, K_2 – Upper Cretaceous, K_1 – Lower Cretaceous, J_3 – Upper Jurassic, J_2 – Middle Jurassic, T_3 – Upper Triassic, T_2 – Middle Triassic, T_1 – Lower Triassic, P – Permian, C_{pn} – Carboniferous, Pennsylvanian, C_{Ms} – Carboniferous, Mississippian, D_3 – Upper Devonian, D_2 – Middle Devonian, D_1 – Lower Devonian, S – Silurian

są załamania hodografu, odpowiadające zmianom prędkości w kolejnych warstwach. Powstałe, po zastosowaniu opisanej procedury, dodatkowe zbiory danych, obejmujące przetworzone czasy pomiarów po redukcji do poziomu odniesienia, posłużyły do wyznaczenia odpowiadających im prędkości średnich.

Wymienione wyżej informacje, obejmujące wartości filtrów wybrane dla tego otworu oraz pliki LAS, 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 Centralnej Bazy Danych Geologicznych PIG-PIB (CBDG).

Wykryte różnice czasów pomiędzy kolejnymi wygładzeniami są spowodowane zamianami prędkości fali

sejsmicznej w kolejnych kompleksach skalnych. Zjawisko to wykorzystano w celu wyznaczenia granic poszczególnych kompleksów prędkościowych w miejscach maksymalnych bezwzględnych różnic czasu wygładzonego n i $n + 1$ razy. Granice te wyznaczone poprzez identyfikację lokalnych minimów i maksimów funkcji prędkości średniej. Otrzymane średnie wartości prędkości w interwałach pomiędzy kolejnymi punktami przebiegu odpowiadają uśrednionym wartościom kompleksów o prędkościach istotnie różnych od prędkości warstw sąsiednich.

Wszystkie wymienione powyżej obliczenia oraz graficzna prezentacja wyników wykonano z wykorzystaniem przygotowanego w tym celu modułu obliczeniowego (skrypt w języku Python).

Wyniki przeprowadzonych obliczeń, zawierające wartości prędkości wygładzonych (V_w), prędkości interwałowych (V_i) oraz prędkości kompleksowych (V_k), zestawiono w tabeli 38, natomiast krzywe tych prędkości przedstawiono na figurze 55. Powyższe wykresy zestawiono z profilem stratygraficznym, co pozwoliło na powiązanie otrzymanych zmian prędkości z kompleksami chronostratygraficznymi przekroju geologicznego w otworze.

W najwyższej partii profilu otworu obejmującej interwał głębokościowych od 0 do 180 m wyznaczono jeden kompleks prędkościowy ze średnią prędkością równą 1829 m/s, odpowiadający skałom czwartorzęd, neogenu i paleogenu. Poniżej, na głębokości ok. 200 m, zaobserwowano pierwszy

Tabela 38

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

Depth (h), interval velocity (V_i), complex velocity (V_k) and smoothed velocity (V_w) values

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
20	0,01	1750,85	1829,53
40	0,02	1750,85	1829,53
60	0,04	1750,85	1829,53
80	0,05	1750,85	1829,53
100	0,06	1750,85	1829,53
120	0,07	2045,62	1829,53
140	0,08	2045,62	1829,53
160	0,09	2045,62	1829,53
180	0,10	2045,62	2263,42
200	0,11	2045,62	2263,42
220	0,11	2278,84	2263,42
240	0,12	2278,84	2263,42
260	0,13	2278,84	2263,42
280	0,14	2278,84	2263,42
300	0,15	2278,84	2263,42
320	0,16	2307,44	2410,20
340	0,17	2307,44	2410,20
360	0,18	2307,44	2410,20
380	0,18	2307,44	2410,20
400	0,19	2307,44	2410,20
420	0,20	2396,41	2410,20
440	0,21	2396,41	2410,20
460	0,22	2396,41	2410,20
480	0,23	2396,41	2410,20
500	0,23	2396,41	2410,20
520	0,24	2641,66	2410,20
540	0,25	2641,66	2410,20
560	0,26	2641,66	2410,20
580	0,27	2641,66	2784,55

Tabela 38 cd.

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
600	0,27	2641,66	2784,55
620	0,28	2796,89	2784,55
640	0,29	2796,89	2784,55
660	0,29	2796,89	2784,55
680	0,30	2796,89	2784,55
700	0,31	2796,89	2784,55
720	0,32	2774,08	2784,55
740	0,32	2774,08	2784,55
760	0,33	2774,08	3010,23
780	0,34	2774,08	3010,23
800	0,34	2774,08	3010,23
820	0,35	3213,57	3010,23
840	0,36	3213,57	3010,23
860	0,36	3213,57	3010,23
880	0,37	3213,57	3010,23
900	0,38	3213,57	3697,40
920	0,38	3697,40	3697,40
940	0,39	3697,40	3697,40
960	0,39	3697,40	3697,40
980	0,40	3697,40	3697,40
1000	0,40	3697,40	3697,40
1020	0,41	3496,99	3630,06
1040	0,41	3496,99	3630,06
1060	0,42	3496,99	3630,06
1080	0,43	3496,99	3630,06
1100	0,43	3496,99	3630,06
1120	0,44	3754,88	3630,06
1140	0,44	3754,88	3630,06
1160	0,45	3754,88	3630,06
1180	0,45	3754,88	3630,06
1200	0,46	3754,88	3630,06
1220	0,46	4222,97	4120,57
1240	0,47	4222,97	4120,57
1260	0,47	4222,97	4120,57
1280	0,48	4222,97	4120,57
1300	0,48	4222,97	4120,57
1320	0,49	4097,19	4120,57
1340	0,49	4097,19	4120,57
1360	0,50	4097,19	4120,57
1380	0,50	4097,19	4120,57
1400	0,51	4097,19	4120,57
1420	0,51	3541,08	4120,57
1440	0,52	3541,08	3350,12
1460	0,52	3541,08	3350,12
1480	0,53	3541,08	3350,12
1500	0,53	3541,08	3350,12
1520	0,54	3224,14	3350,12
1540	0,55	3224,14	3350,12
1560	0,55	3224,14	3350,12
1580	0,56	3224,14	3350,12
1600	0,57	3224,14	3350,12
1620	0,57	3371,20	3350,12
1640	0,58	3371,20	3350,12
1660	0,58	3371,20	3350,12
1680	0,59	3371,20	3350,12
1700	0,60	3371,20	3350,12
1720	0,60	3770,31	3350,12
1740	0,61	3770,31	3798,81
1760	0,61	3770,31	3798,81
1780	0,62	3770,31	3798,81
1800	0,62	3770,31	3798,81
1820	0,63	3739,44	3798,81
1840	0,63	3739,44	3798,81
1860	0,64	3739,44	3716,09
1880	0,64	3739,44	3716,09
1900	0,65	3739,44	3716,09
1920	0,65	3683,65	3683,69
1940	0,66	3683,65	3683,69
1960	0,66	3683,65	3683,69
1980	0,67	3683,65	3683,69
2000	0,68	3683,65	3687,04
2020	0,68	3687,04	3687,04
2040	0,69	3687,04	3687,04
2060	0,69	3687,04	3687,04

Tabela 38 cd.

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
2080	0,70	3687,04	3687,04
2100	0,70	3687,04	3687,04
2120	0,71	3777,43	3775,63
2140	0,71	3777,43	3775,63
2160	0,72	3777,43	3775,63
2180	0,72	3777,43	3775,63
2200	0,73	3777,43	3775,63
2220	0,73	3763,50	3775,63
2240	0,74	3763,50	3775,63
2260	0,74	3763,50	3775,63
2280	0,75	3763,50	3775,63
2300	0,76	3763,50	3807,35
2320	0,76	3807,35	3807,35
2340	0,77	3807,35	3807,35
2360	0,77	3807,35	3807,35
2380	0,78	3807,35	3807,35
2400	0,78	3807,35	3807,35
2420	0,79	4034,05	4036,06
2440	0,79	4034,05	4036,06
2460	0,80	4034,05	4036,06
2480	0,80	4034,05	4036,06
2500	0,81	4034,05	4036,06
2520	0,81	3968,88	4036,06
2540	0,82	3968,88	4036,06
2560	0,82	3968,88	3947,89
2580	0,83	3968,88	3947,89
2600	0,83	3968,88	3947,89
2620	0,84	3985,33	3947,89
2640	0,84	3985,33	3947,89
2660	0,85	3985,33	3947,89
2680	0,85	3985,33	4046,94
2700	0,86	3985,33	4046,94
2720	0,86	4111,33	4046,94
2740	0,87	4111,33	4124,14
2760	0,87	4111,33	4124,14
2780	0,88	4111,33	4124,14
2800	0,88	4111,33	4220,89
2820	0,89	4241,24	4220,89
2840	0,89	4241,24	4220,89
2860	0,90	4241,24	4220,89
2880	0,90	4241,24	4285,41
2900	0,90	4241,24	4285,41
2920	0,91	4291,11	4286,56
2940	0,91	4291,11	4286,56
2960	0,92	4291,11	4286,56
2980	0,92	4291,11	4286,56
3000	0,93	4291,11	4286,56
3020	0,93	4173,10	4169,49
3040	0,94	4173,10	4169,49
3060	0,94	4173,10	4169,49
3080	0,95	4173,10	4169,49
3100	0,95	4173,10	4169,49
3120	0,96	4225,47	4222,44
3140	0,96	4225,47	4222,44
3160	0,97	4225,47	4222,44
3180	0,97	4225,47	4222,44
3200	0,98	4225,47	4222,44
3220	0,98	4197,98	4222,44
3240	0,99	4197,98	4222,08
3260	0,99	4197,98	4222,08
3280	0,99	4197,98	4222,08
3300	1,00	4197,98	4222,08
3320	1,00	4281,01	4222,08
3340	1,01	4281,01	4222,08
3360	1,01	4281,01	4241,56
3380	1,02	4281,01	4241,56
3400	1,02	4281,01	4241,56
3420	1,03	4107,45	4241,56
3440	1,03	4107,45	4241,56
3460	1,04	4107,45	4494,02
3480	1,04	4107,45	4494,02
3500	1,05	4107,45	4494,02
3520	1,05	4098,86	4494,02
3540	1,06	4098,86	4494,02

Tabela 38 cd.

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
3560	1,06	4098,86	4494,02
3580	1,07	4098,86	4494,02
3600	1,07	4098,86	4494,02
3620	1,08	4713,65	4494,02
3640	1,08	4713,65	4494,02
3660	1,09	4713,65	4494,02
3680	1,09	4713,65	4494,02
3700	1,09	4713,65	4494,02
3720	1,10	6361,73	4494,02
3740	1,10	6361,73	4494,02
3760	1,10	6361,73	6431,28
3780	1,11	6361,73	6431,28
3800	1,11	6361,73	6431,28
3820	1,11	6649,82	6431,28
3840	1,11	6649,82	6431,28
3860	1,12	6649,82	6431,28
3880	1,12	6649,82	6431,28
3900	1,12	6649,82	6431,28
3920	1,13	5635,39	6431,28
3940	1,13	5635,39	6431,28
3960	1,13	5635,39	6431,28
3980	1,14	5635,39	4752,74
4000	1,14	5635,39	4752,74
4020	1,15	4756,02	4752,74
4040	1,15	4756,02	4752,74
4060	1,15	4756,02	4752,74
4080	1,16	4756,02	4752,74
4100	1,16	4756,02	4752,74
4120	1,17	4674,43	4752,74
4140	1,17	4674,43	4752,74
4160	1,18	4674,43	4752,74
4180	1,18	4674,43	4752,74
4200	1,18	4674,43	4766,22
4220	1,19	4766,22	4766,22
4240	1,19	4766,22	4766,22
4260	1,20	4766,22	4766,22
4280	1,20	4766,22	4766,22
4300	1,20	4766,22	4766,22
4320	1,21	4596,64	4592,77
4340	1,21	4596,64	4592,77
4360	1,22	4596,64	4592,77
4380	1,22	4596,64	4592,77
4400	1,23	4596,64	4347,83
4420	1,23	4276,06	4347,83
4440	1,24	4276,06	4347,83
4460	1,24	4276,06	4347,83
4480	1,24	4276,06	4347,83
4500	1,25	4276,06	3799,29
4520	1,26	3791,04	3799,29
4540	1,26	3791,04	3799,29
4560	1,27	3791,04	3799,29
4580	1,27	3791,04	3799,29
4600	1,28	3791,04	3799,29
4620	1,28	3856,39	3799,29
4640	1,29	3856,39	3799,29
4660	1,29	3856,39	3823,36
4680	1,30	3856,39	3823,36
4700	1,30	3856,39	3823,36
4720	1,31	3772,45	3823,36
4740	1,31	3772,45	3823,36
4760	1,32	3772,45	3823,36
4780	1,32	3772,45	3823,36
4800	1,33	3772,45	3664,35
4820	1,33	3667,97	3664,35
4840	1,34	3667,97	3664,35
4860	1,35	3667,97	3664,35
4880	1,35	3667,97	3664,35
4900	1,36	3667,97	3667,87
4920	1,36	3661,13	3667,87
4940	1,37	3661,13	3667,87
4960	1,37	3661,13	3667,87
4980	1,38	3661,13	3667,87
5000	1,38	3661,13	3667,87

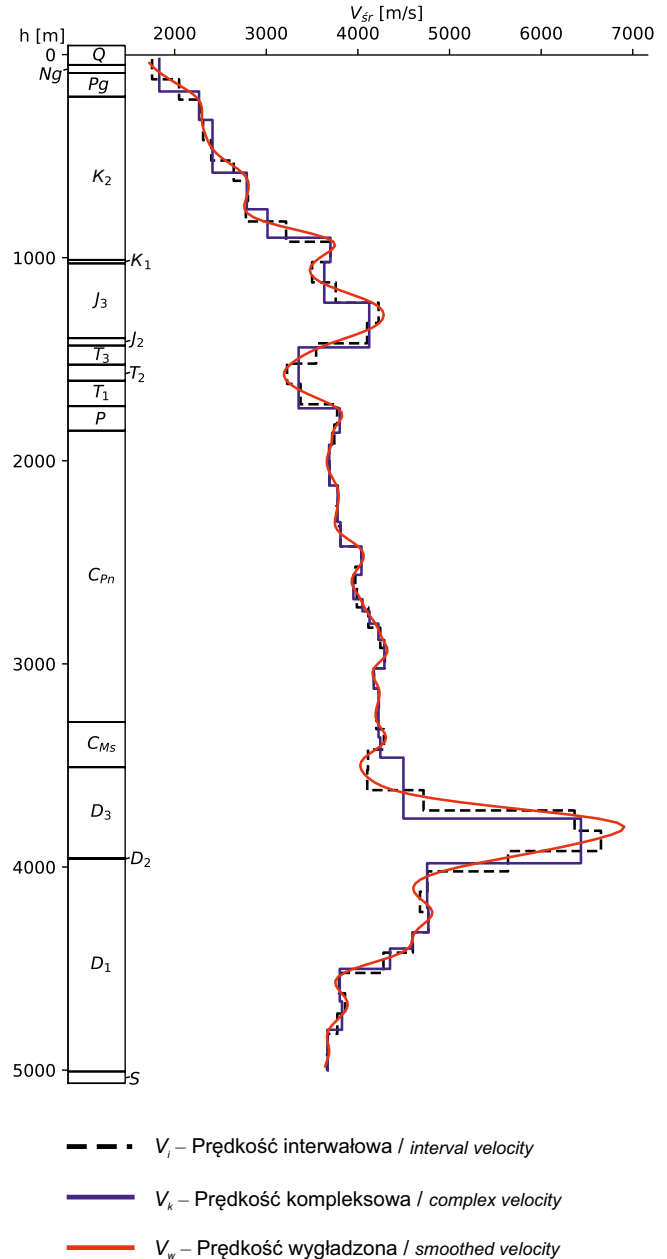


Fig. 55. Wykresy prędkości interwałowych (V_i), prędkości kompleksowych (V_k) i prędkości wygładzonych (V_w) dla otworu Maciejowice IG 1 (poz. odn. 91 m n.p.m.)

h – głębokość, V_{sr} – prędkość średnia; stratygrafia: Q – czwartorzęd, Ng – neogen, Pg – paleogen, K₂ – kreda górna, K₁ – kreda dolna, J₃ – jura górna, J₂ – jura środkowa, T₃ – trias górny, T₂ – trias środkowy, T₁ – trias dolny, P – perm, C_{pn} – karbon, pensylwan, C_{ms} – karbon, missisip, D₃ – dewon górny, D₂ – dewon środkowy, D₁ – dewon dolny, S – sylur

Interval velocity (V_i), complex velocity (V_k) and smoothed velocity (V_w) for the Maciejowice IG 1 borehole (reference level 91 m a.s.l.)

h – depth, V_{sr} – average velocity; Stratigraphical symbols: Q – Quaternary, Ng – Neogene, Pg – Paleogene, K₂ – Upper Cretaceous, K₁ – Lower Cretaceous, J₃ – Upper Jurassic, J₂ – Middle Jurassic, T₃ – Upper Triassic, T₂ – Middle Triassic, T₁ – Lower Triassic, P – Permian, C_{pn} – Carboniferous, Pennsylvanian, C_{ms} – Carboniferous, Mississippian, D₃ – Upper Devonian, D₂ – Middle Devonian, D₁ – Lower Devonian, S – Silurian

w profilu wyraźny kontrast prędkościowy, objawiający się wzrostem średniej prędkości z 1829 m/s do 2263 m/s, który jest związany z granicą pomiędzy kredą i paleogenem i zwiększeniem zawartości CaCO_3 w opokach. W interwale głębokościowym odpowiadającym utworom kredy górnej wyznaczono w sumie 5 kompleksów prędkościowych o średnich prędkościach równych odpowiednio: 2263, 2410, 2784, 3010 i 3697 m/s. Wzrost prędkości w pierwszych dwóch kompleksach (z 2263 do 2410 m/s) odpowiada zmianie zawartości CaCO_3 w kompleksie kredy piszącej mastrychtu. Granica kolejnych kompleksów prędkościowych (2410 i 2784 m/s) odpowiada natomiast granicy pomiędzy dolnym mastrychtem i kampanem, gdzie następuje zmiana litologii z kredy i margli o stosunkowo niskich prędkościach na wyżej prędkościowe wapienie margliste. Kolejny, niewielki kontrast zaobserwowano na głębokości zbliżonej do głębokości granicy pomiędzy kampanem a santonem i jest on związany najprawdopodobniej ze zmniejszającym się udziałem materiału ilastego w kompleksie wapieni marglistych. Stosunkowo wysoki kontrast prędkościowy (zamiana prędkości średniej z 3010 do 3697 m/s) jest widoczny na głębokości 900 m, odpowiadającej granicy pomiędzy koniakami górnym i koniakami dolnym–turonem. Przyczyną dużego wzrostu średniej prędkości jest najpewniej znaczny wzrost zawartości węglanu wapnia w wapieniach marglistych. Granica pomiędzy kredą górną a dolną w profilu prędkości średnich zaznacza się natomiast niewielkim spadkiem średniej prędkości kompleksowej z 3697 na 3630 m/s. Nie zaobserwowano natomiast zmian prędkości na granicy pomiędzy kredą i jurą. Pierwszy wyraźny kontrast prędkościowy w kompleksie jurajskim, objawiający się wzrostem średniej prędkości z 3630 na 4120 m/s zaobserwowano na głębokości 1220 m w obrębie formacji bełżyckiej. Znaczny wzrost średniej prędkości na tej głębokości jest spowodowany przejściem fali sejsmicznej z pylastych wapieni pelitowych do kompleksu wysokoprędkościowych białych wapieni pelitowych bez zanieczyszczeń materiałem ilastym. Znaczny spadek prędkości kompleksowej z 4120 na 3350 m/s zaobserwowano natomiast na głębokości, odpowiadającej w przybliżeniu granicy pomiędzy jurą a triasem, gdzie następuje zmiana litologii z wysokoprędkościowych piaskowców drobnoziarnistych na zlepienie iłowcowe i iłowce wapniste, charakteryzujące się znacznie niższą prędkością przejścia fali sejsmicznej. W obrębie interwału głębokościowego odpowiadającego utworom triasu, wydzielono tylko jeden kompleks prędkościowy (średnia prędkość równa 3350 m/s), co jest związane z monotonną budową, w której dominują piaskowce z przewarstwieniami iłowców i mułowców. Wyraźna zmiana prędkości kompleksowej z 3350 na 3798 m/s jest natomiast widoczna na głębokości odpowiadającej w przybliżeniu spągowi niewątpliwego triasu, gdzie piaskowce drobno- i średnioziarniste przewarstwione mułowcami i iłowcami ceglastymi przechodzą w drobnoziarniste piaskowce kwarcowe. Granica pomiędzy permem a karbonem zaznacza się niewielkim spadkiem prędkości kompleksowej z 3798 na 3716 m/s. W interwale głębokościowym odpowiadającym sukcesji pensylwanu wyznaczono w sumie 13 kompleksów

prędkościowych o niewielkim zróżnicowaniu średniej prędkości przechodzenia fali, która waha się w granicach od 3716 do 4494 m/s. Jedyne, bardziej wyraźny kontrast prędkościowy wyznaczono na głęb. 2420 m, gdzie średnia prędkość kompleksowa wrasta z 3807 do 4036 m/s, co jest związane z występowaniem węgla i łupków węglowych w formacjach ilasto-piaszczystych. Granica pomiędzy pensylwanem a missisipem nie uwidacznia się w profilu prędkościowym. W obrębie missisipu jest natomiast widoczny kontrast prędkościowy na granicy pomiędzy formacją Terebina i formacją Huczwy, gdzie prędkość kompleksu wzrasta z 4241 do 4494 m/s, co jest związane ze zmianą litologii z piaskowcowo-mułowcowej na marglisto-wapienną. Największy kontrast prędkościowy w badanym profilu otworu zaobserwowano na głębokości 3760 m, gdzie średnia dla prędkości fali zwiększa się z 4494 do 6431 m/s. Głębokość wyznaczonego kontrastu odpowiada granicy pomiędzy formacją bychawską i modryńską dewonu górnego, gdzie następuje zmiana litologii z margli i wapieni marglistych na czyste i zwarte wapienie, charakteryzujące się wysoką prędkością przechodzenia fali sejsmicznej. Wyraźny spadek zarejestrowanej prędkości następuje natomiast na głęb. 3960 m, w obrębie dewonu dolnego, gdzie kompleks zbudowany z wapieni i dolomitów przechodzi w formacje piaskowcowo-iłowcowe o znacznie niższych średnich prędkościach. Ostatnia wyraźna granica kompleksów prędkościowych, widoczna w profilu otworu, została zidentyfikowana na głęb. 4500 m, gdzie następuje wyraźny spadek prędkości kompleksowej z 4347 na 3799 m/s. Prawdopodobną przyczyną tego zjawiska jest zmniejszenie udział wapieni w formacji sycyńskiej. Ostatni kompleks prędkościowy dla analizowanego otworu wyznaczono w zakresie głębokości 4800–5000 m, który obejmuje utwory dewonu dolnego.

Przeprowadzona analiza i otrzymane wyniki prędkości kompleksowych umożliwiają identyfikację najwyraźniejszych odbić refleksyjnych na profilach sejsmicznych i ich późniejsze dowiązanie do odpowiednich jednostek litostratygraficznych. W przypadku badanego otworu, wyraźnie będą widoczne dodatnie refleksy odpowiadające wapieniom marglistym na granicy pomiędzy koniakami dolnym–turonem i koniakami górnym, kompleksowi wapieni pelitowych formacji bełżyckiej (jura górna) oraz wyraźny spadek prędkości odpowiadający sukcesji triasu. Najwyraźniejszy dodatni refleks na zdjęciach sejsmicznych będzie widoczny w interwale głębokościowym odpowiadającym kompleksowi związanych wapieni w dewonie górnym.

Wyniki obliczeń wykonanych w ramach tego opracowania pozwolą na uaktualnienie modelu prędkościowego, który jest kluczową częścią opracowania interpretacji sejsmicznych w najbliższym otoczeniu otworu Maciejowice IG 1. Przeprowadzanie pomiarów prędkości średnich do głębokości 5000 m pozwoli na wykonanie korelacji i przyporządkowanie poziomów refleksyjnych na przekrojach sejsmiczno-geologicznych poszczególnym piętrami i granicom w szerokim zakresie wydzieleni stratygraficznych od czwartorzędu do syluru, ze szczególnym uwzględnieniem formacji kredowych, jurajskich i dewońskich.