

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Damian WĘGLIŃSKI

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

WSTĘP

Otwór Nowa Rola P 9 został odwiercony w latach 1976–1977 w ramach programu poszukiwań cechsztyńskich rud miedzi na obszarze perykliny Żar (Gospodarczyk i in., 1979). Głównym celem pomiarów geofizyki otworowej w otworze Nowa Rola P 9 było określenie interwałów występowania kopalin użytecznych, ocena warunków hydrologicznych i termicznych, ocena stanu technicznego otworu oraz weryfikacja profilu litostratygraficznego uzyskanego z profilowania rdzeni wiertniczych w wyniku opisu makroskopowego, badań mikrofaunistycznych czy petrograficznych.

Wraz z postępem prac wiertniczych w otworze wykonywano odcinkowe pomiary geofizyki wiertniczej w czterech głównych interwałach głębokościowych:

- odcinek i: 0–191 m
- odcinek ii: 191–370 m
- odcinek iii: 374–1088 m
- odcinek IV: 1093–1452 m

Wybór głębokości dla każdego z odcinków był podyktowany charakterystyką profilu litostratygraficznego oraz konstrukcją odwiertu obejmującą zmianę jego średnicy. Pomiary były realizowane przez Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych w Warszawie. Po zakończeniu prac wiertniczych i po 10 dobach stabilizacji otworu wykonano profilowanie temperatury w interwale 33–1366 m w warunkach ustabilizowanych termicznie. Głównym celem pomiarów geofizyki otworowej w otworze Nowa Rola P 9 było określenie interwałów występowania kopalin użytecznych, ocena warunków hydrologicznych i termicznych, ocena stanu technicznego otworu oraz weryfikacja profilu litostratygraficznego uzyskanego z profilowania rdzeni wiertniczych w wyniku opisu makroskopowego, badań mikrofaunistycznych czy petrograficznych.

ZAKRES BADAŃ

Pomiary geofizyki wiertniczej w otworze Nowa Rola P 9 zostały przeprowadzone w interwale głębokościowym 0–1455 m. W skład urządzeń pomiarowych weszły sondy analogowe produkcji rosyjskiej (AKS/L-7 nr 280, AKS/L-7 Nr 234, AKS/L-7 Nr 231) oraz niemieckiej (USBA/T-21). Rozpoznanie odwiertu obejmowało standardowe pomiary ówczesznie dostępne w kraju (profilowania radiometryczne, elektryczne, akustyczne, termiczne) z wykorzystaniem urządzeń, które

w porównaniu do współczesnych odpowiedników pozwoliły na ograniczone rozpoznanie ośrodka skalnego. W szczególności odnosi się to do pomiarów sondami radiometrycznymi (PG, PNNt, PNNnt oraz PGG), które miały znaczny wpływ na późniejszą interpretację litologiczną oraz petrofizyczną. Wyniki tych profilowań uzyskano za pomocą sond niekalibrowanych oraz niestandardizowanych do współcześnie stosowanych jednostek API (sondy DRST-2, DRST-3, LSE-3). Jednostki w których rejestrowano te profilowania to impulsy na minutę.

W otworze przeprowadzono następujące pomiary:

- profilowanie średnicy otworu PŚr (CALI)
- profilowanie temperatury (TEMP)
- profilowanie gamma naturalne PG (GR)
- profilowanie potencjałów naturalnych PS (SP)
- profilowanie sterowane oporności (POst)
- potencjałowe profilowanie oporności (POp)
- gradientowe profilowanie oporności (POg)
- standardowe profilowanie oporności (PO)
- profilowanie neutron-neutron termiczne (PNNt)
- profilowanie neutron-neutron nadtermiczne (PNNnt)
- profilowanie krzywizny odwiertu (PK)
- profilowanie gamma-gamma gęstościowe (PGG)
- profilowanie akustyczne (PA)
- profilowanie gradientu potencjałów naturalnych (GSP)

Tabela 22 z zestawieniem głębokości przeprowadzenia wszystkich pomiarów oraz figura 51, będąca graficznym odwzorowaniem danych tabelarycznych zostały przygotowane w oparciu o materiały archiwalne z dokumentacji geologicznej otworu Nowa Rola P 9 (Gospodarczyk i in., 1979).

W przypadku otworu Nowa Rola P 9 w oparciu o standaryzację na stanowisku modelowym impulsy na minutę przeliczono również na mikrorentgeny na godzinę (PG dla sondy DRST-2 oraz DRST-3) oraz na gramy na centymetr sześcienny (PGG dla sondy LSE-3) w interwale 191–1452 m. Przeliczenie tych pomiarów pozwala na uzyskanie porównywalności między pomiarami odcinkowymi, co z kolei umożliwia interpretację danych jaką jedną całość. Pomiary PNNt oraz PNNnt zostały opracowane i wstępnie zinterpretowane, co umożliwiło autorom przeliczenie impulsów na minutę do współczynnika porowatości wyrażonego w % (Kp). Przeliczanie takie jest wykonywane w celu konwersji informacji jakościowej (wynik pomiaru w imp/min) na informację ilościową – w tym przypadku ilość porów w ośrodku skalnym wyrażoną w procentach. Przeliczenia takie

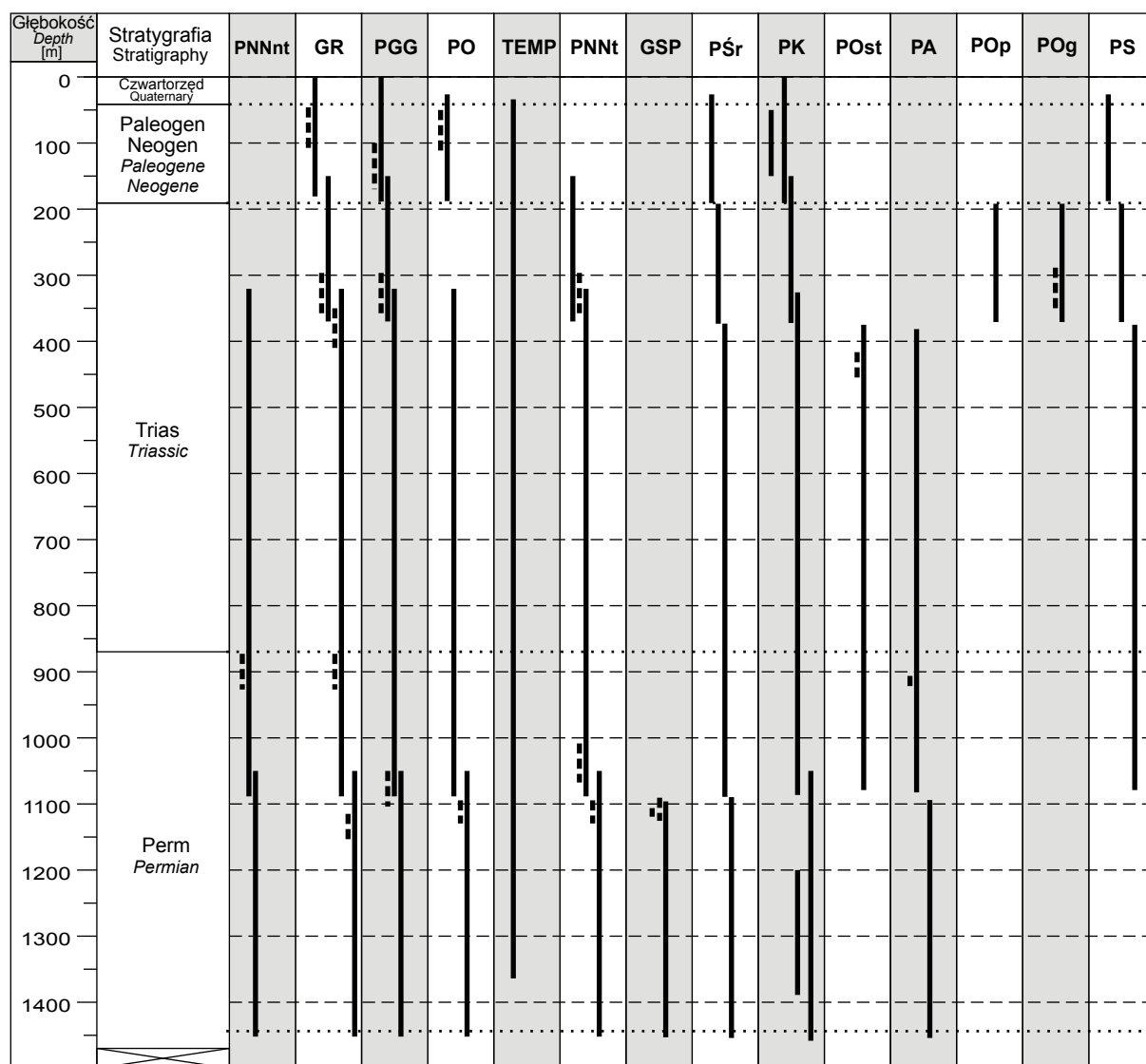


Fig. 51. Schematyczne zestawienie głębokościowe rodzajów badań geofizycznych wykonanych w otworze wiertniczym Nowa Rola P 9

PK – profilowanie krzywizny otworu; **PŚr** – profilowanie średnicy; **PG** – profilowanie naturalnej promieniotwórczości gamma; **PGG** – profilowanie gamma–gamma gęstościowe; **PNNt** – profilowanie neutron neutron termiczny; **PNNnt** – profilowanie neutron neutron nadtermiczny; **PS** – profilowanie naturalnych potencjałów; **PO** – profilowanie oporności standardowe; **POg** – profilowanie oporności gradientowe, **POp** – profilowanie oporności potencjałowe; **POst** – sterowane profilowanie oporności; **PA** – profilowanie akustyczne; **GPS** – profilowanie gradientu potencjałów naturalnych, **TEMP** – profilowanie temperatury

Schematic depth juxtaposition of the geophysical type surveys performed in the Nowa Rola P 9 borehole

PK – deviation log; **PŚr** – caliper; **PG** – gamma ray log; **PGG** – density log; **PNNt** – thermal neutron log; **PNNnt** – epithermal neutron log; **PS** – spontaneous potential log; **POg** – lateral electrical log, **POp** – normal electrical log; **PO** – standard electrical log; **POst** – laterolog; **PA** – sonic log; **GPS** – natural potential gradient log; **TEMP** – temperature log

wykonuje się stosując odpowiednio formuły matematyczne, uwzględniając przy tym typ sondy, rodzaj źródła neutronów, rodzaj płuczki, czy wpływ litologii. Przy tego rodzaju przebiegach istotne jest również przeprowadzenie kalibracji na stanowisku testowym nie później niż 3 miesiące przed przeprowadzeniem pomiaru (Harrison, 1995), której wynik jest stałą używaną w dalszych krokach interpretacji. Warto zaznaczyć, że wyniki takiej kalibracji zostały zaprezen-

wano na załącznikach dołączonych do dokumentacji wynikowej oraz karty otworu (Gospodarczyk i in., 1979). Wykonanie obu pomiarów neutronowych prawdopodobnie miało na celu zbadanie wpływu warunków otworowych oraz litologii na wynik profilowania w zależności od energii kinetycznej mierzonych neutronów tj. gęstości neutronów termicznych i epitermicznych (Wiltgen, 1994) dla tego konkretnego typu sondy.

STAN TECHNICZNY OTWORU ORAZ JAKOŚĆ WYNIKÓW

Do oceny stanu technicznego otworu użyto profilowania średnicy (PŚr), które wykonano na przeważającej długości otworu w interwale 36–1452 m. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że stabilność ścian otworu podczas pomiarów średnicomierzem była dobra. Wniosek taki można wyciągnąć z analizy profilowania średnicy, bowiem uzyskane wyniki PŚr pokrywają się ze średnicą nominalną świda z dokładnością do kilku milimetrów. Znaczne powiększenia średnicy (do 30 cm) zostało zarejestrowane w interwale 140–170 m, co jest związane z obecnością słabo zwięzłych skał piaszczystych. Podwyższone powiększenia średnicy otworu występują również w skałach permskich i są związane z występowaniem pokładów soli kamienniej i potasowej. Mowa tutaj o interwałach: 890–1015 m, 1030–1080 m oraz 1186–1287 m. Różnica pomiędzy średnicą rzeczywistą zarejestrowaną podczas pomiaru średnicomierzem, a średnicą nominalną świda wyniosła od 10 do 20 cm, co jest wartością często spotykaną w interwałach solnych. Ma to związek z wysoką rozpuszczalnością soli kamiennych i potasowych w kontakcie z płuczką wiertniczą.

Pomiary krzywizny zostały wykonane odcinkowo z nierównym krokiem próbkowania przyjmującym wielkości 10, 20 oraz 25 m (tab. 22). Wyniki profilowania wskazały, że do głębokości 375 m otwór został odwiercony pionowo, niżej do głębokości 975 m nastąpiło niewielkie skrzywienie otworu ($0^{\circ}30'$ – $1^{\circ}30'$) przy azymucie 55° . Na głębokości 1000–1088 m azymut skrzywienia zmienił się gwałtownie (średnio 335° , przy skrzywieniu do 2°), a poniżej od głębokości 1125 m na 140° (skrzywienie $0^{\circ}30'$ – $1^{\circ}30'$). Całkowite odejście osi otworu od pionu wyniosło 12,6 m przy sumarycznym azymucie 39° .

Kwestią istotną w kontekście ograniczonej przydatności uzyskanych danych z otworu Nowa Rola P 9 jest brak ich cyfryzacji i zapisu w powszechnie stosowanym formacie (np. LAS), używanym w specjalistycznym oprogramowaniu do prezentacji, wizualizacji i interpretacji danych geofizyki wiertniczej (np. Techlog). Brak takowych danych uniemożliwia m.in. zastosowanie nowoczesnych technik interpretacyjnych, korelację pomiarów z wynikami uzyskanymi w innych otworach, czy też zastosowanie procedur standaryzacyjnych (por. Szewczyk, 2000), pozwalających na przeliczenie pomiarów PG na jednostki API_PIG – zbliżone do współcześnie używanych jednostek API. Wykonanie takiej konwersji istotnie zwiększa przydatność danych w wypadku kompleksowej interpretacji wyników.

W odniesieniu do wszystkich pomiarów radiometrycznych każdorazowo wyznaczano 30–50-metrowe odcinki badań kontrolnych. Głównym celem tych badań było określenie stabilności prac sondy. Pomiary te wraz z wykresami standaryzacyjnymi mogą stanowić istotną pomoc przy ewentualnej reinterpretacji danych geofizyki wiertniczej (tab. 22).

WARUNKI TERMICZNE

Na potrzeby tej pracy scyfrowano profilowanie temperatury w stanie ustalonej równowagi cieplnej pomierzone dla otworu Nowa Rola P 9 (fig. 52). Pomiar ten wykonano po

10-dniowej stójce, w interwale 33–1366 m. Wyniki pomiaru temperatury przedstawiono również w tabeli 23, opracowanej na podstawie dokumentacji końcowej badań geofizycznych (Tryuk-Blanc, 1978) i dokumentacji wynikowej otworu (Gospodarczyk i in., 1979). Średni stopień geotermiczny w interwale głębokościowym 33–1366 m wynosi $42,8 \text{ H/m}^{\circ}\text{C}$, a średni gradient $2,34 \text{ G}^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$. Temperatura początkowa wyniosła $18,6^{\circ}\text{C}$, a temperatura na głębokości 1366 m – $49,6^{\circ}\text{C}$. Wyniki pomiaru temperatury w stanie ustalonym zostały zaprezentowane wraz z granicami stratygraficznymi na figurze 52.

POMIARY LABORATORYJNE

Badania laboratoryjne próbek rdzeni wykonano w roku 1979, w Oddziale Petrofizyki i Modelowania Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych w Warszawie. Badania przeprowadzono na próbkach z interwału 1406–1466 m (czerwony spągowiec oraz permo-karbon).

Wykonano pomiary laboratoryjne oraz sporządzono wykresy:

- podatności magnetycznej rdzenia
- podatności magnetycznej kostek
- naturalnej pozostałości
- współczynnika dobroci Q
- gęstości przestrzennej
- porowatości efektywnej

Wyniki badań zostały zaprezentowane w formie wykresów oraz histogramów załączonych badań właściwości fizycznych (Mizeracka, 1979). W tabeli 24 przedstawiono podstawowe wartości statystyczne dla przeprowadzonych pomiarów. Wyniki pomiarów podatności i pozostałości magnetycznej wskazują na obecność skał osadowych o stosunkowo niskiej podatności magnetycznej (Clark, Emerson, 1991), co ma potwierdzenie w makroskopowym opisie rdzenia.

OPRACOWANIE WYNIKÓW GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

W ramach tego opracowania wykonano częściową cyfryzację profilu zbiorczego dla odcinkowych profilowań geofizyki wiertniczej (fig. 53). Zdecydowano się na zaprezentowanie wybranych profilowań, których wartość interpretacyjna w kontekście jakościowym jest największa:

- średnicy (PŚr)
- gamma naturalnego (PG)
- gamma-gamma gęstościowego (PGG)
- neutron-neutron nadtermiczny (PNNnt)

Wyniki pomiarów geofizycznych przedstawione w ten sposób mogą zostać użyte do interpretacji jakościowej ośrodka skalnego i weryfikacji granic litologicznych uzyskanych z profilowania rdzenia wiertniczego w przypadku słabego stopnia uzysku. W kwestii interpretacji jakościowej krzywe geofizyczne można podzielić na odcinki odpowiadające wydzieleniom stratygraficznym:

- Czwartorzęd oraz paleogen–neogen (0–191 m)

Tabela 22

Wykaz badań geofizyki wiertniczej wykonanych w otworze wiertniczym Nowa Rola P 9

List of well logs from the Nowa Rola P 9 borehole

Data badania Date of research	Rodzaj pomiaru Type of examination	Interwał głębokościowy Depth interval [m]	Średnica otworu Borehole diameter	Rodzaj płuczki drilling mud	Typ sondy Probe type
1	2	3	4	5	6
06.11.1976	PG	0–180	308 mm	iłowo-bentonitowa oporność właściwa: 3,2 omm ciężar właściwy: 1,2 g/cm ³ filtracja: 4,8 cm ³ wiskoza: 43 sek/cm ³	DRST-3 Nr 120
	PK	0–190			IT-200 Nr 742
	PGG	0–191			LSE-3 Nr 4
	PO	36–189			M2.5A0.25B
	PS	36–189			
	PO	36–189			B2.5A0.25M
	PS	36–189			
	PŚr	36–191			SKA-4 Nr 97
	PG	47–115			DRST-3 Nr 120
	PO	50–120			M2.5A0.25B
	PK	50–150			IT-200 Nr 742
	PGG	100–170			LSE-3 Nr 4
10.12.1976	PG	150–370	216 mm	bentonitowa oporność właściwa: 7,6 omm ciężar właściwy: 1,06 g/cm ³ filtracja: 5,2 cm ³ wiskoza: 42 sek/cm ³	DRST-3 Nr 120
	PGG	150–370			LSE-3 Nr 4
	PNNnt	150–370			DRST-3 Nr 120
	PK	150–370			IK-2 Nr 550
	POp	191–370			B2.5A0.25M
	PSr	191–370			KS-3 Nr 232
	PS	191–370			
	POg	191–370			M2.5A0.25B
	PS	191–370			
	POg	288–353			M2.5A0.25B
	PG	292–353			DRST-3 Nr 120
	PGG	292–355			LSE-3 Nr 4
	PNNnt	295–354			DRST-3 Nr 120
22.04.1977	PGG	320–1088	143 mm	solno-skrobiowa oporność właściwa: 0,06 omm ciężar właściwy: 1.25 g/cm ³ 1.8 cm ³ wiskoza: 47 sek/cm ³	LSE-3 Nr 4
	PG	320–1088			DRST-3 Nr 120
	PNNt	320–1088			DRST-3 Nr 120
	PNNnt	320–1088			DRST-3 Nr 120
	PK	325–1088			IT-200 Nr 742
	PG	350–410			DRST-3 Nr 120
	PO	374–1088			B2.5A0.25M
	PS	374–1088			
	PA	374–1088			USBA-21/T
	POst	374–1088			TBK Nr 4724
	PO	374–1088			M2.5A0.25B
	PŚr	374–1088			KS-3 Nr 32
	PS	374–1088			
	POst	414–454			TBK Nr 4725
	PK	600–100			IT-200 Nr 742

Tabela 22 cd.

Data badania Date of research	Rodzaj pomiaru Type of examination	Interwał głębokościowy Depth interval [m]	Średnica otworu Borehole diameter	Rodzaj płuczki drilling mud	Typ sondy Probe type
1	2	3	4	5	6
cd. 22.04.1977	PG	872–926	143 mm	solno-skrobiowa oporność właściwa: 0,06 omm ciężar właściwy: 1,25 g/cm ³ filtracja: 1,8 cm ³ wiskoza: 47 sek/cm ³	DRST-3 Nr 120
	PNNt	878–920			DRST-3 Nr 120
	PA	910–931			USBA-21/T
	PNNnt	1013–1070			DRST-3 Nr 120
	PGG	1047–1098			LSE-3 Nr 4
29.07.1977	TEMP	33–1366	-	-	ETMI Nr 6454
31.07.1977	GPS	1043–1076	112 mm	solno-skrobiowa oporność właściwa: 0,1 omm ciężar właściwy: 1,27 g/cm ³ filtracja: 2,8 cm ³ wiskoza: 44 sek/cm ³	
	PGG	1050–1452			LSE-3 Nr 7402
	PG	1050–1452			DRST-2 Nr 250/2
	PNNt	1050–1452			DRST-2 Nr 250/2
	PNNnt	1050–1452			DRST-2 Nr 250/2
	PK	1050–1455			IK-2 Nr 731
	GPS	1058–1071,5			
	GPS	1093–1452			
	PO	1093–1452			B2.5A0.25M
	PO	1093–1452			M2.5A0.25B
	PŚr	1093–1452			SKS-4 Nr 88
	PO	1094–1128			M2.5A0.25B
	PNNnt	1095–1128			DRST-2 Nr 250/2
	PG	1118–1154			DRST-2 Nr 250/2
	PK	1200–1400			IK-3 Nr 732
11.08.1977	PA	1093–1453			USBA-21/T

PK – profilowanie krzywizny otworu; **PŚr** – profilowanie średnicy; **PG** – profilowanie naturalnej promieniotwórczości gamma; **PGG** – profilowanie gamma–gamma gęstościowe; **PNNt** – profilowanie neutron neutron termiczny; **PNNnt** – profilowanie neutron neutron nadtermiczny; **PS** – profilowanie naturalnych potencjałów; **PO** – profilowanie oporności standardowe; **POg** – profilowanie oporności gradientowe, **POp** – profilowanie oporności potencjałowe; **POst** – sterowane profilowanie oporności; **PA** – profilowanie akustyczne; **GPS** – profilowanie gradientu potencjałów naturalnych, **TEMP** – profilowanie temperatury

PK – deviation log; **PŚr** – caliper; **PG** – gamma ray log; **PGG** – density log; **PNNt** – thermal neutron log; **PNNnt** – epithermal neutron log; **PS** – spontaneous potential log; **POg** – lateral electrical log, **POp** – normal electrical log ; **PO** – standard electrical log; **POst** – laterolog; **PA** – sonic log; **GPS** – natural potential gradient log; **TEMP** – temperature log

Utwory czwartorzędu oraz paleogenu-neogenu składają się z warstw piasków oraz ilów. Granice pomiędzy tymi warstwami można utożsamiać ze zmianami wyników profilowania gamma naturalnego (PG), którego wzrost najczęściej oznacza wyższy udział frakcji ilastej kosztem frakcji piaszczystej. Szczególnie dobrze jest to widoczne w interwale 120–130 m (fig. 53), gdzie następuje znaczący spadek zliczeń dla profilowania PG, co oznacza przejście z ośrodka zailonego do ośrodka o większym udziale piasku. Do tego warto również zwrócić uwagę na profilowanie PGG, dla którego ilość zliczeń spada wraz głębokością, co

można utożsamiać ze wzrostem gęstości objętościowej ośrodka skalnego.

- Trias (191,00–881,35 m)

Opis rdzenia wskazuje, że trias jest zbudowany głównie z piaszczystych oraz ilowców. Pod względem krzywych geofizyki wiertniczej ośrodek ten można podzielić na trzy główne warstwy o zróżnicowanych właściwościach. Granice tych warstw odczytane z krzywych (fig. 53) przebiegają na głębokościach 357 m oraz 592 m¹. przy czym centralny interwał na głębokości 357–592 m, odpowiadający pstrzemu piaszczystemu, charakteryzuje się obecnością kompleksu o naj-

¹ Według Becker (ten tom), granice te występują na głębokościach 360,8 i 587,6 m.

Tabela 23

Wyniki pomiaru temperatury dla stanu ustalonego w otworze Nowa Rola P 9
 Temperature measurement results for stable conditions in the Nowa Rola P 9 borehole

Stratygrafia Stratigraphy	Głębokość Depth [m]	Stopień geotermiczny Geothermal degree [H/m/°C]	Gradient geotermiczny Geothermal gradient [G/°C/100 m]
Paleogen–neogen	43,0–191,0	123	0,8
Trias	191,0–360,4	29,2	3,4
	360,4–640,0	38,8	2,5
	640,0–870,8	25,6	3,8
Perm	870,8–900,0	31,0	3,2
	900,0–960,0	30,0	3,3
	960,0–1150,0	73,0	1,3
	1150,0–1200,0	31,2	3,2
	1200,0–1366,0	103,7	0,9

większym udziale piaskowców. Na ten fakt wskazuje mniejsza liczba zliczeń dla profilowania gamma. Dodatkowo można zauważyć wpływ ilów na przebieg krzywej PNNt, której charakterystyka zmienia się na głębokości 592 m. Ilość zliczeń poniżej tej granicy wzrasta, co można utożsamiać z obecnością wody związanej, w której skład wchodzi jony wodoru silnie spowalniające neutrony (Asquith, Krygowski, 2004).

- Perm (881,35–1466,00 m, nieprzewiercony)

Szczególnie charakterystycznym dla pomiarów geofizyki wiertniczej jest interwał cechsztyński (881,35–1391,18 m). Kompleks cechsztynu w przypadku tego otworu jest zbudowany z występujących na przemian warstw zbitych dolomitów oraz anhydrytów i soli kamiennych z wkładkami soli potasowych. Warstwy te zdecydowanie różnią się właściwościami fizycznymi, co doskonale prezentują krzywe geofizyki wiertniczej (fig. 53) – w szczególności profilowanie średnicy (PŚr) oraz profilowanie gamma-gamma gęstościowe (PGG). Warstwy soli manifestują się przez znacznie powiększoną średnicę otworu (do ok. 20 cm) w stosunku do średnicy nominalnej świda oraz bardzo niską gęstość określaną na ok. 2.1 g/cm³ (Schön, 2011), którą należy utożsamiać z wysokimi odczytami profilowania gamma-gamma. Na podstawie tych informacji, można stwierdzić obecność kilku miąższych interwałów solnych: 895–1015 m, 1033–1082 m, 1186–1286 m. Warstwy anhydrytu oraz dolomitu, ze względu na bardzo wysoką gęstość (ok. 2.96 g/cm³ dla anhydrytu oraz 2.7 g/cm³ dla dolomitu), zaznaczają się w profilowaniu gamma-gamma (PGG) oraz profilowaniu średnicy (PŚr) w interwałach 1015–1033 m, 1286–1372 m i 1082–1186 m (fig. 3). Przebieg tych krzywych w podanych interwałach charakteryzują się niską ilością zliczeń dla profilowania PGG oraz stałą wartością PŚr zbliżoną do średnicy nominalnej wiertła.

Ponadto, warto zwrócić uwagę na interwał 1040–1049 m o miąższości 9 m, gdzie następuje nagły wzrost ilości zliczeń dla profilowania gamma naturalnego w interwale solnym². Taki odczyt wskazuje na obecność starszej soli potasowej K2, w których skład wchodzi ulegające rozpadowi izotopy potasu (K⁴⁰). Podczas takiego rozpadu następuje emisja kwantu

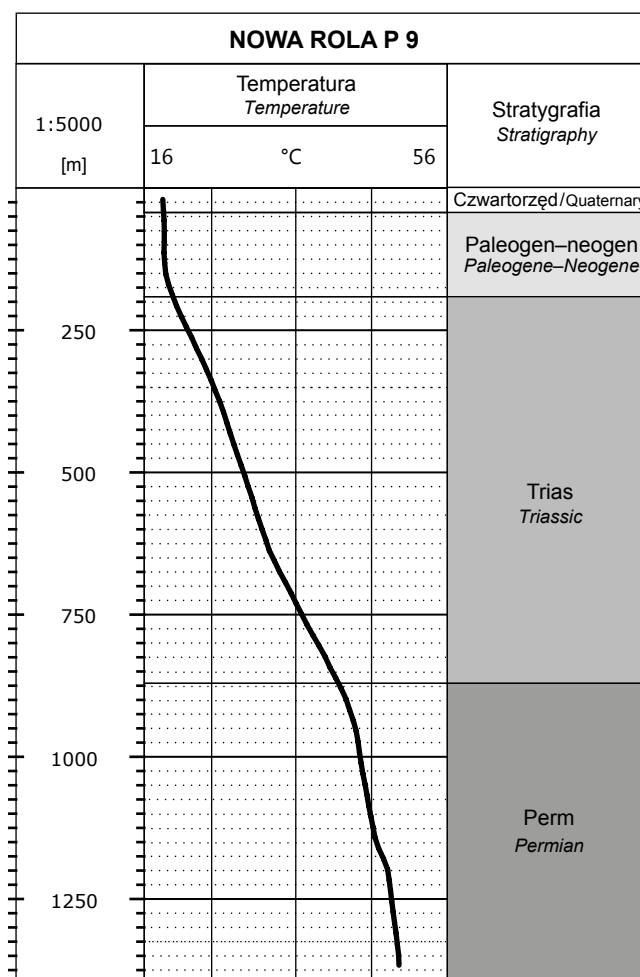


Fig. 52. Profilowanie temperatury w stanie ustalonym pomierzone dla otworu Nowa Rola P 9 (według dokumentacji otworu, Gospodarczyk i in., 1979)

Recorded temperature for stable conditions in Nowa Rola P 9 borehole (according to the documentation of the borehole, Gospodarczyk *et al.*, 1979)

² Według interpretacji Wagnera (ten tom), starsza sól potasowa tworzy warstwę o nieco większej miąższości 12 m na głębokości 1038,0–1050,0 m.

Tabela 24

Badania laboratoryjne wykonane na próbkach rdzenia z otworu Nowa Rola P 9

Laboratory measurements performed on core samples from the Nowa Rola P 9 borehole

Liczba próbek Number of samples	65	25	25	24	24	24
Badanie laboratoryjne Laboratory examination	Podatność magnetyczna rdzenia Core magnetic susceptibility	Podatność magnetyczna kostki Cube magnetic susceptibility	Naturalna pozostałość magnetyczna Natural remanent magnetization	Współczynnik dobroci Q Q factor	Gęstość przestrzenna Spatial density	Porowatość efektywna Effective porosity
Jednostka/Unit	$4\pi \cdot 10^{-6}$ SI	$4\pi \cdot 10^{-6}$ SI	$4\pi \cdot 10^{-10}$ T	—	10^3 kg/m ³	%
Minimum/Min	0	0	0,21	0,07	2,39	2
Maksimum/Max	31	18	14,42	2,02	2,7	10
Średnia/Average	12	9	2,67	0,57	2,53	6

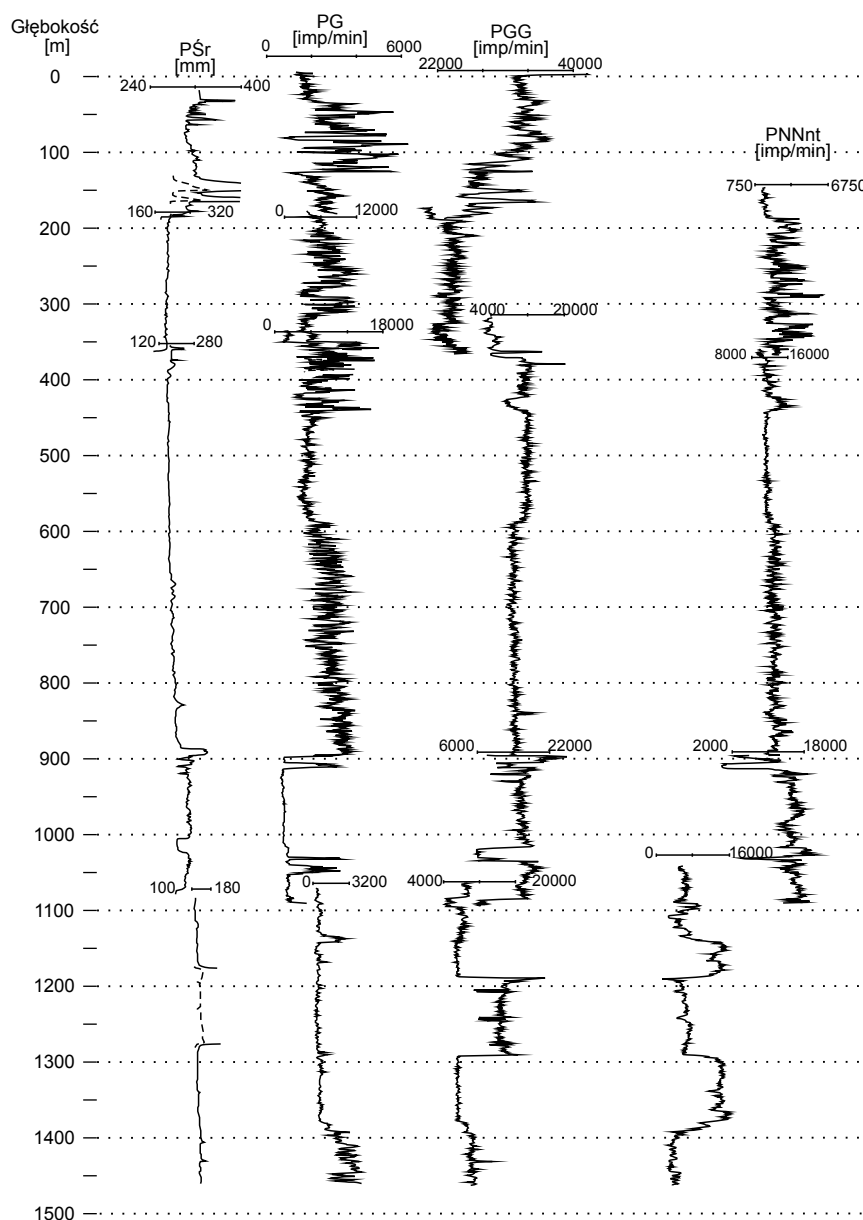


Fig. 53. Profil zbiorczy odcinkowych pomiarów geofizycznych przeprowadzonych w otworze Nowa Rola P 9

Composite profile of sectional geophysical log carried out in the Nowa Rola P 9 borehole

promieniowania gamma, który jest rejestrowany przez licznik sondy do pomiaru PG (Schön, 2011).

Poniżej warstw cechsztyńskich występują osady klastyczne czerwonego spągowca w interwale od 1391,18 m do 1452,85 m zaliczone do saksonu i autunu osadowego (Kiersnowski i in., ten tom), który według opisu rdzenia składa się z przewarstwień ilowców oraz piaskowców, ze znacznym udziałem zlepieńców w stropie. Podział ten jest widoczny w postaci znacznych zmian w ilości zliczeń profilowania gamma (PG) oraz profilowania neutronowego (PNNt), odpowiadających zmianom w zawartości materiału ilastego.

W najniższej części profilu czerwonego spągowca występuje seria wulkaniczna (1452,85–1466 m) zaliczona do autunu lub stanowiąca ogniwo przejściowe permo-karbonu (Kiersnowski i in., ten tom). Interwał ten został objęty pomiarami geofizycznymi tylko w części stropowej do maksymalnej głębokości 1454 m, wymuszonej techniką prowadzenia pomiarów i ograniczeniami związanymi z długością zestawu sond oraz miejscem umieszczenia detektora danej

sondy, co uniemożliwiło prowadzenie pomiaru do samego dna otworu.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że w pełni wiarygodna interpretacja ilościowa zaprezentowanych danych jest niemożliwa ze względu na brak scyfrowania pomiarów oraz przede wszystkim na specyfikę aparatury pomiarowej, stosowanej przed wprowadzaniem nowoczesnych sond produkcji zachodniej. Do interpretacji takich pomiarów potrzebna jest szeroka wiedza na temat geologii danego obszaru, duża liczba próbek laboratoryjnych z rdzenia oraz korelacja z innymi otworami leżącymi w bezpośrednim sąsiedztwie – szczególnie istotne są tutaj otwory, w których wykonywano pomiary nowymi standaryzowanymi sondami. Należy jednak zaznaczyć, że ze względu na jakość zaprezentowanych danych oraz ilość różnych profilowań, wyniki pomiarów w otworze Nowa Rola P 9 stanowią wartościową informację, którą w przyszłości można wykorzystać przy reinterpretacji lub korelacji wyników innych prac geofizycznych prowadzonych w sąsiedztwie tego otworu.

Kinga BOBEK

WYNIKI BADAŃ SEJMICZNYCH REFLEKSYJNYCH – POMIARY PRĘDKOŚCI ŚREDNICH

Profilowania prędkości średnich, czyli pionowe profilowanie sejsmiczne (PPS) jest otworową metodą sejsmiczną polegającą na prowadzeniu pomiarów sejsmicznego pola falowego, wzbudzonego na powierzchni ziemi, a rejestrowanego w otworze wiertniczym (Bartoń, 2010). Wynikiem takiego pomiaru jest pełny obraz falowy, złożony zarówno z fal padających jak i odbitych, jednokrotnych i wielokrotnych. Rejestrowane w przypadku metody PPS pełne pole falowe pozwala na śledzenie i selekcjonowanie poszczególnych fal, rzutując tym samym na zwiększenie ilości otrzymanego sygnału użytecznego przy jednoczesnym usuwaniu szumu. Eliminacja szumu oraz znacznie niższa odległość pomiędzy odbiornikiem a horyzontem obijającym pozwala na śledzenie zmian budowy geologicznej w otoczeniu otworu z dużo większą dokładnością niż w przypadku tradycyjnej sejsmiki powierzchniowej. Tym samym, głównym celem prowadzenia pomiarów PPS, jest możliwość dowiązania wykrytych odbić fali sejsmicznej ze zmianami litologicznymi w profilu otworu oraz późniejsze powiązanie ich z refleksami widocznymi na obrazach sejsmiki powierzchniowej wykonanej w otoczeniu danego otworu.

Pomiary prędkości średnich dla otworu Nowa Rola P 9 zostały wykonane w dniach 28,07–10,08 1977 roku przez Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych z siedzibą w Warszawie (Materzok, Starański, 1978). Do wykonania pomiarów zastosowano aparaturę typu T-1 nr O2 oraz 6-cio geofonową sondę głębinową typu GSG – 4 produkcji PPG. Pomiary zostały wykonane na głębokości 0–1425 m w 15 m interwałach głębokościowych. Prace prowadzono z trzech punktów wzbudzenia (PW) rozmieszczonych następująco:

PW1	d = 110.5 m	A = 299°	N = 0 m
PW2	d = 536 m	A = 272°	N = 0,5 m
PW3	d = 223 m	A = 245°	N = -0,5 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

Prace strzałowe wykonano przy użyciu dynamitu 3GH2 oraz zapalników typu KZnPT. Dla kontroli głębokości strzelania na kolejnych punktach strzałowych ustawiono geofony korekcyjne K₁ w maksymalnej odległości do 5 m, natomiast w celu kontrolowania momentu wybuchu przy wylocie odwiertu ustawiono geofon korekcyjny K₂. Po korektach pomiarów i wyeliminowaniu zakłóceń na seismogramach przeprowadzono analizę jakości uzyskanych wyników na podstawie dokładności i pewności odczytanych czasów zerwań pierwszych impulsów oraz intensywności fal odbitych. Przeprowadzona analiza wykazała, że jakość pomiaru wystarczająca do dalszych obliczeń została uzyskana w 281 z 288 punktach pomiarowych. Pomiarom został objęty interwał głębokościowy odpowiadający jednostkom stratygraficznym od czwartorzędu do dolnego permu. Wysokość wylotu otworu wynosi 76,4 m, natomiast do obliczeń prędkości średnich przyjęto poziom odniesienia równy 50 m n.p.m.

Głębokość zredukowano do poziomu odniesienia za pomocą przedstawionego 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

Poprawki czasowe wprowadzono z wykorzystaniem dwóch metod. Pierwsza z nich uwzględnia zmiany głębokości strzelania dla poszczególnych pomiarów w stosunku do poziomu odniesienia wspólnego dla wszystkich punktów wzbudzenia. Czas obserwowany na sejsmogramach w tej metodzie został przeliczony na czas poprawiony, 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 wprowadzania poprawek czasowych wykorzystano wyniki pomiarów zebrane z geofonów korekcyjnych K_1 i K_2 . Wartość czasu poprawionego w tej metodzie obliczana jest ze wzorów:

$$t_p = t_{obs} + \Delta t_h - \Delta t_{k2}$$

$$\Delta t_h = \Delta t_{k1} - \Delta t_{k2}$$

gdzie:

t_p – czas poprawiony

t_{obs} – czas obserwowany

t_{k1}, t_{k2} – czasy pierwszych impulsów geofonów K_1 i K_2 dla średniej głębokości strzelania

W dalszym etapie wprowadzania poprawek wykonana została redukcja czasu poprawionego do pionu dla każdego z punktów wzbudzenia: $t_r 1$, $t_r 2$ oraz $t_r 3$. W przypadku otworu Nowa Rola P 9 redukcję wykonano przy założeniu jednorodności ośrodka skalnego od punktu wybuchu do głębokości zanurzenia geofonu. Taki układ oznacza, że spodziewany przebieg promienia sejsmicznego jest prostoliniowy, a czas można zredukować korzystając z następującego równania:

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

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:

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

Otrzymane wartości obliczonej prędkości średniej V_{sr} 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 25. Obliczenia prowadzone były przy pomocy odpowiedniego programu komputerowego, a uzyskane wyniki zapisane w plikach tekstowych w formacie .las.

Zestaw otrzymanych wyników stanowił podstawę konstrukcji krzywych prędkości średnich (fig 54A) oraz hodo grafu pionowego (fig 54B). Krzywa prędkości średnich została dodatkowo wygładzona metodą średniej ruchomej, w celu zredukowania widocznych szumów. Uzyskany hodograf pionowy wskazuje na zależność między wzrostem głębokości i czasem rejestracji.

Po przeprowadzeniu wymienionych wyżej obliczeń, w następnym etapie analizy wyznaczane są poszczególne kompleksy prędkościowe, a w szczególności ich wartości średnie poprzez zastosowanie procedury wygładzenia pomiarów czasu. Zastosowanie filtracji wyników uzyskanych z pomiarów pozwala na zniwelowanie wpływu przypadkowych skoków otrzymanych wartości, wywołanych błędami pomiarowymi. Otrzymane krzywe wygładzone służą do wyznaczenia stref o maksymalnej zmienności wartości prędkości średnich, które odpowiadają granicom poszczególnych kompleksów prędkościowych.

Krzywe prędkości zostały obliczone poprzez wyrównanie otrzymanych czasów zredukowanych do pionu, stosując w tym celu spłot z filtrem trójkątnym dobranym odpowiednio do wartości uzyskanych w danym otworze. 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 (w interwale od 20 m do 1380 m). Filtry zastosowane w kolejnym kroku obliczeniowym, pozwoliły z kolei na usunięcie przypadkowych odchyłeń wartości wynikających z niedokładności pomiaru oraz zaokrągleniem otrzymanych wartości czasu pomierzonego do 1 ms przy pierwszym wygładzeniu. W wyniku powtarzania wymienionych operacji zaokrąglane 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, w kolejnym etapie posłużyły do wyznaczenia odpowiadających im prędkości średnich.

Wymienione wyżej informacje obejmujące wartości filtrów wybrane dla tego otworu oraz pliki .las z wymienionymi

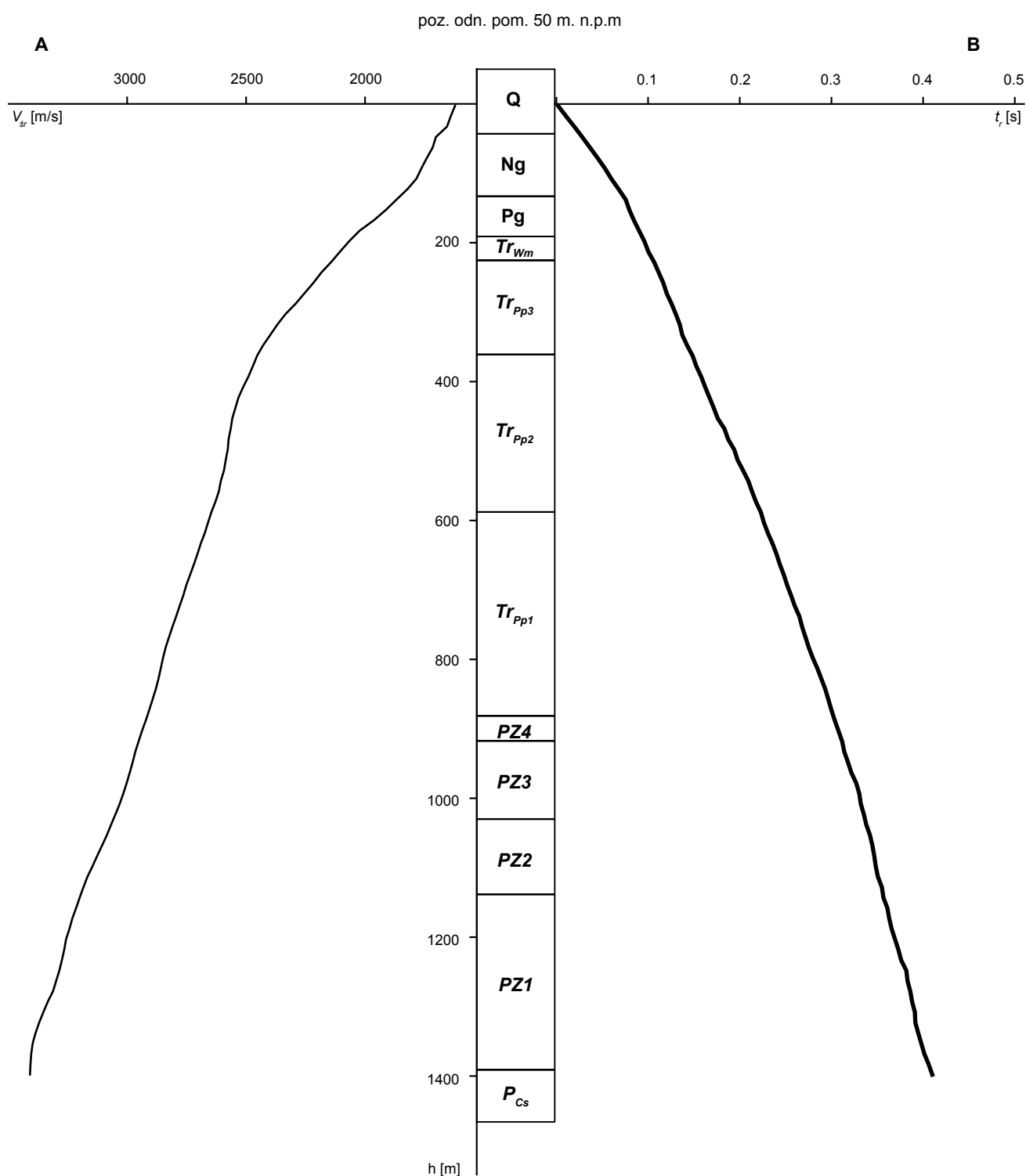


Fig. 54. Krzywa prędkości średnich (A) i hodograf pionowy (B) otrzymane dla otworu Nowa Rola P 9 (poz. odn. 50 m n.p.m.)

tr – średni czas zredukowany, V_{sr} – prędkość średnia, h – głębokość; symbole stratygraficzne: Q – czwartorzęd, Ng – neogen, Pg – paleogen, TrWm – wapień muszlowy, TrPp3 – pstry piaskowiec górny, TrPp2 – pstry piaskowiec środkowy, TrPp1 – pstry piaskowiec dolny, PZ4 – cechsztyń 4 (aller), PZ3 – cechsztyń 3 (leine), PZ2 – cechsztyń 2 (stassfurt), PZ1 – cechsztyń 1 (werra), Pcs – czerwony spągowiec

The average seismic velocity curve (A) and travel-time curve (B) in the Nowa Rola P 9 borehole (reference level 50 m a.s.l.)

tr – average reduced time, V_{sr} – average velocity, h – depth; stratigraphical symbols: Q – Quaternary, Ng – Neogene, Pg – Paleogene, TrWm – Muschelkalk, TrPp3 – Upper Buntsandstein, TrPp2 – Middle Buntsandstein, TrPp1 – Lower Buntsandstein, PZ4 – Zechstein 4 (Aller), PZ3 – Zechstein 3 (Leine), PZ2 – Zechstein 2 (Stassfurt), PZ1 – Zechstein 1 (Werra), Pcs – Rotliegend

Tabela 25

Zestawienie wartości czasów pomierzonych z trzech punktów wzbudzenia (Tr 1, Tr 2 i Tr 3), średniej wartości czasu zredukowanego (Tr) oraz odpowiadającej mu wartości prędkości średniej (V_{sr}) dla głębokości (h) w otworze Nowa Rola P 9

Time measured from three shot points (Tr 1, Tr 2, Tr 3), reduced time (Tr) and values of the average velocity (V_{sr}) for the measured depth (h) in the Nowa Rola P 9 borehole

Głębokość Depth [m]	Tr 1 [s]	Tr 2 [s]	Tr 3 [s]	Tr [s]	V_{sr} [m/s]	Głębokość Depth [m]	Tr 1 [s]	Tr 2 [s]	Tr 3 [s]	Tr [s]	V_{sr} [m/s]
3	0,002	0,002	0,002	0,002	1621,795	453	0,181	0,164	0,183	0,176	2557,855
18	0,011	0,01	0,011	0,011	1639,881	468	0,191	0,17	0,189	0,183	2564,671
33	0,021	0,018	0,02	0,020	1655,538	483	0,194	0,176	0,192	0,187	2573,435
48	0,03	0,026	0,029	0,028	1702,204	498	0,201	0,182	0,199	0,194	2577,156
63	0,039	0,032	0,039	0,037	1715,658	513	0,204	0,186	0,203	0,198	2585,400
78	0,049	0,038	0,048	0,045	1740,071	528	0,211	0,192	0,208	0,204	2592,867
93	0,059	0,044	0,056	0,053	1763,008	543	0,216	0,198	0,214	0,209	2605,957
108	0,066	0,05	0,064	0,060	1784,131	558	0,22	0,202	0,218	0,213	2614,256
123	0,076	0,055	0,073	0,068	1821,563	573	0,223	0,207	0,223	0,218	2628,606
138	0,084	0,06	0,083	0,076	1867,468	588	0,229	0,212	0,228	0,223	2645,653
153	0,091	0,063	0,085	0,080	1912,636	603	0,232	0,215	0,232	0,226	2659,726
168	0,097	0,068	0,089	0,085	1963,371	618	0,237	0,22	0,235	0,231	2673,234
183	0,104	0,074	0,093	0,090	2023,201	633	0,241	0,226	0,24	0,236	2690,065
198	0,109	0,078	0,101	0,096	2066,601	648	0,244	0,231	0,245	0,240	2703,996
213	0,114	0,082	0,105	0,100	2104,975	663	0,248	0,235	0,248	0,244	2718,886
228	0,119	0,09	0,111	0,107	2142,092	678	0,254	0,24	0,25	0,248	2734,812
243	0,126	0,091	0,118	0,112	2183,333	693	0,258	0,24	0,257	0,252	2750,966
258	0,131	0,096	0,123	0,117	2217,101	708	0,262	0,244	0,262	0,256	2763,762
273	0,134	0,101	0,126	0,120	2254,565	723	0,264	0,25	0,266	0,260	2778,928
288	0,137	0,109	0,131	0,126	2291,618	738	0,269	0,256	0,27	0,265	2793,598
303	0,142	0,114	0,135	0,130	2334,287	753	0,272	0,26	0,272	0,268	2809,239
318	0,145	0,121	0,138	0,135	2368,395	768	0,275	0,263	0,277	0,272	2823,764
333	0,149	0,119	0,144	0,137	2398,381	783	0,28	0,266	0,28	0,275	2837,977
348	0,154	0,125	0,149	0,143	2428,613	798	0,283	0,271	0,285	0,280	2849,047
363	0,161	0,131	0,154	0,149	2453,805	813	0,288	0,276	0,29	0,285	2858,422
378	0,163	0,136	0,159	0,153	2471,523	828	0,293	0,279	0,295	0,289	2868,082
393	0,168	0,141	0,165	0,158	2490,261	843	0,297	0,284	0,299	0,293	2879,404
408	0,173	0,146	0,168	0,162	2512,211	858	0,301	0,288	0,301	0,297	2893,061
423	0,177	0,151	0,173	0,167	2531,789	873	0,305	0,291	0,304	0,300	2907,049
438	0,18	0,157	0,178	0,172	2544,867	888	0,308	0,294	0,309	0,304	2921,366

Tabela 25 cd.

Głębokość Depth [m]	Tr 1 [s]	Tr 2 [s]	Tr 3 [s]	Tr [s]	V_{sr} [m/s]
903	0,312	0,3	0,311	0,308	2937,207
918	0,316	0,302	0,317	0,312	2951,434
933	0,318	0,306	0,318	0,314	2965,338
948	0,321	0,311	0,322	0,318	2976,505
963	0,324	0,318	0,323	0,322	2988,626
978	0,328	0,323	0,33	0,327	3001,588
993	0,331	0,327	0,333	0,330	3015,501
1008	0,336	0,324	0,336	0,332	3030,947
1023	0,339	0,328	0,339	0,335	3048,571
1038	0,341	0,332	0,341	0,338	3067,088
1053	0,344	0,335	0,347	0,342	3084,666
1068	0,346	0,338	0,35	0,345	3104,958
1083	0,348	0,34	0,352	0,347	3125,547
1098	0,35	0,341	0,354	0,348	3145,250
1113	0,354	0,344	0,354	0,351	3166,456
1128	0,358	0,348	0,359	0,355	3183,200
1143	0,36	0,348	0,362	0,357	3199,049

Głębokość Depth [m]	Tr 1 [s]	Tr 2 [s]	Tr 3 [s]	Tr [s]	V_{sr} [m/s]
1158	0,365	0,353	0,365	0,361	3214,031
1173	0,367	0,356	0,366	0,363	3229,982
1188	0,369	0,357	0,371	0,366	3242,131
1203	0,372	0,361	0,375	0,369	3256,431
1218	0,377	0,364	0,378	0,373	3264,124
1233	0,38	0,369	0,379	0,376	3273,882
1248	0,384	0,375	0,386	0,382	3284,614
1263	0,385	0,377	0,387	0,383	3298,025
1278	0,388	0,38	0,39	0,386	3311,228
1293	0,39	0,382	0,392	0,388	3333,117
1308	0,392	0,386	0,395	0,391	3351,627
1323	0	0,386	0,397	0,392	3369,350
1338	0,395	0,388	0,401	0,395	3384,583
1353	0,402	0,39	0,402	0,398	3396,810
1368	0,404	0,394	0,406	0,401	3402,900
1383	0,412	0,398	0,408	0,406	3406,075
1398	0,414	0,404	0,412	0,410	3408,267

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 bazie danych zasobów archiwalnych CBDG.

Wykryte różnice czasów pomiędzy kolejnymi wygładzeniami spowodowane są zmianami prędkości fali sejsmicznej w kolejnych warstwach, związanymi ze zmiennością litologiczną poszczególnych kompleksów. 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 prędkości średniej. Otrzymane wartości prędkości średniej w interwałach pomiędzy kolejnymi punktami przegięcia, odpowiadają uśrednionym wartościom kompleksów o prędkościach istotnie różnych od uzyskanych dla warstw sąsiednich.

Wszystkie wymienione powyżej obliczenia oraz graficzna prezentacja wyników zostały wykonane z wykorzystaniem przygotowanego w tym celu modułu obliczeniowego (kod w języku programowania Python). Wyniki wymienionych wyżej obliczeń zawierające zestaw wartości prędkości wygładzonych (V_w), prędkości interwałowych (V_i) oraz prędkości komplekso-

wych (V_k) zestawiono w tabeli 26, natomiast uzyskane krzywe tych prędkości przedstawiono w formie graficznej na figurze 55 (Fig. 55). W celu powiązania otrzymanych różnic prędkości średniej z poszczególnymi kompleksami litostratygraficznymi rozpoznanymi w otworze Nowa Rola P 9, otrzymane wykresy zestawiono z profilem stratygraficznym.

W najwyższej części profilu otworu Nowa Rola P 9, w obrębie interwału głębokościowego obejmującego utwory czwartorzędu, paleogenu oraz neogenu nie stwierdzono występowania żadnego wyraźnego kontrastu prędkościowego, najpewniej ze względu na monotonną charakterystykę litologiczną tych kompleksów. Wyraźny kontrast prędkościowy o wartości 1030 m/s (wzrost z 2050 m/s do 3080 m/s) stwierdzono na głębokości pomiędzy 180 i 200 m, co odpowiada granicy pomiędzy formacją leszczyńską górnego oligocenu, a dolnym wapieniem muszlowym. Wykryta zmienność prędkości kompleksowych w tym przypadku związana jest ze zmiennością litologiczną tych formacji i przejściem fali sejsmicznej z relatywnie nisko prędkościowych iłowców i mułowców do skrytokrystalicznych wapieni, które charakteryzują się znacznie wyższymi wartościami prędkości średnich. W interwale odpowiadającym utworom dolnego triasu (pstry piaskowiec górny) zaobserwowano zmienność prędkości wygładzonych, jednak bez istotnych

Tabela 26

Zestawienie wartości głębokości (h), prędkości interwałowej (V_i), prędkości kompleksowej (V_k) oraz prędkości wygładzonej (V_w) otrzymanych z obliczeń wykonanych dla otworu Nowa Rola P 9

Values of the measured depth (h), interval velocity (V_i), complex velocity (V_k) and smoothed velocity (V_w) received for the Nowa Rola P 9 borehole

Głębokość Depth [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]	Głębokość Depth [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
20	0,011	1875,047	2049,227	560	0,213	3149,706	3087,790
40	0,022	1875,047	2049,227	580	0,219	3149,706	3087,790
60	0,033	1875,047	2049,227	600	0,225	3149,706	3087,790
80	0,043	1875,047	2049,227	620	0,231	3512,839	3616,064
100	0,053	1875,047	2049,227	640	0,237	3512,839	3616,064
120	0,063	2382,768	2049,227	660	0,243	3512,839	3616,064
140	0,072	2382,768	2049,227	680	0,248	3512,839	3616,064
160	0,080	2382,768	2049,227	700	0,254	3512,839	3616,064
180	0,088	2382,768	2049,227	720	0,259	3698,635	3616,064
200	0,095	2382,768	3078,990	740	0,265	3698,635	3616,064
220	0,102	2995,985	3078,990	760	0,270	3698,635	3616,064
240	0,109	2995,985	3078,990	780	0,275	3698,635	3616,064
260	0,116	2995,985	3078,990	800	0,281	3698,635	4186,071
280	0,122	2995,985	3078,990	820	0,286	3874,918	4186,071
300	0,129	2995,985	3078,990	840	0,291	3874,918	4186,071
320	0,135	3168,668	3078,990	860	0,296	3874,918	4186,071
340	0,141	3168,668	3078,990	880	0,301	3874,918	4186,071
360	0,147	3168,668	3078,990	900	0,306	3874,918	4186,071
380	0,154	3168,668	3078,990	920	0,311	4299,041	4186,071
400	0,160	3168,668	3078,990	940	0,316	4299,041	4186,071
420	0,167	3013,137	3078,990	960	0,321	4299,041	4186,071
440	0,173	3013,137	3087,790	980	0,325	4299,041	4186,071
460	0,180	3013,137	3087,790	1000	0,330	4299,041	4186,071
480	0,187	3013,137	3087,790	1020	0,334	5044,136	4186,071
500	0,193	3013,137	3087,790	1040	0,338	5044,136	4186,071
520	0,200	3149,706	3087,790	1060	0,342	5044,136	5192,378
540	0,207	3149,706	3087,790	1080	0,346	5044,136	5192,378

Tabela 26 cd.

Głębokość Depth [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
1100	0,350	5044,136	5192,378
1120	0,353	5077,689	5192,378
1140	0,357	5077,689	5192,378
1160	0,361	5077,689	5192,378
1180	0,365	5077,689	4978,344
1200	0,369	5077,689	4978,344
1220	0,373	5018,317	4978,344
1240	0,377	5018,317	4978,344

Głębokość Depth [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
1260	0,381	5018,317	4978,344
1280	0,385	5018,317	4978,344
1300	0,389	5018,317	5065,001
1320	0,393	5040,091	5065,001
1340	0,397	5040,091	5065,001
1360	0,401	5040,091	5065,001
1380	0,405	5040,091	5065,001

zmian prędkości kompleksowej. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest najprawdopodobniej przechodzenie fali sejsmicznej przez naprzemianległe wkładki iłowców, gipsów, wapieni i margli, które wpływają na zmienność prędkości średniej, jednak ich miąższość jest zbyt mała (często poniżej 1 m), aby możliwe było uchwycenie jej w szerszym zakresie prędkości kompleksowej. Istotnych kontrastów prędkościowych nie stwierdzono również w obrębie pstrego piaskowca środkowego i najwyższej części pstrego piaskowca dolnego, co związane jest z brakiem zmienności litologicznej i występowaniem grubych kompleksów piaskowcowych z wkładkami iłowców. W obrębie utworów niższych partii dolnego pstrego piaskowca obserwuje się stopniowy wzrost zarówno prędkości wygładzonych, interwałowych jak i kompleksowych. Pierwszy kontrast prędkościowy w obrębie tego poziomu wykryto na głębokości 620 m, gdzie średnia prędkość kompleksowa wzrasta z wartości 3090 do 3620 m/s, co może być związane z pojawianiem się zbitych, drobnoziarnistych piaskowców o spoiwie węglanowym. Drugi kontrast prędkościowy stwierdzony w utworach dolnego pstrego piaskowca znajduje się na głębokości 800 m, gdzie średnia wartość prędkości wzrasta z 3620 do 4190 m/s. Tutaj możliwą przyczyną wzrostu prędkości średniej jest występowanie wapienia oolitowego w obrębie warstw piaskowcowych.

W interwale głębokościowym odpowiadającym utworom cechsztynu stwierdzono istnienie trzech granic kompleksów prędkościowych. Pierwsza, najwyraźniejsza z nich, gdzie zaobserwowano wzrost średniej prędkości kompleksowej o 1010 m/s, znajduje się na głębokości pomiędzy 1040 i 1060 m jest wynikiem przechodzenia fali sejsmicznej ze starszej soli potasowej (K2), charakteryzującej się niskimi wartościami prędkości średnich, przez starszą sól kamienną (Na2) o wyższych prędkościach, do anhydrytu podstawowego (A2), który z kolei jest poziomem o najwyższej spodziewanej prędkości średniej w tym interwale (Cornelius, Castagna, 2017). Druga z wykrytych granic charakteryzuje się spadkiem średniej prędkości kompleksowej z wartości 5190 m/s do wartości 4980 m/s i znajduje się na głębokości 1180 m, co odpowiada granicy pomiędzy anhydrytem górnym (A1g) oraz najstarszą solą kamienną (Na1).

Ostatni z cechsztyńskich kontrastów prędkościowych wynosi zaledwie 90 m/s i znajduje się na głębokości 1280–1300 m, odpowiadającej przejściu fali sejsmicznej z poziomu najstarszej soli kamiennej (Na1) do poziomu anhydrytu dolnego (A1d).

Przedstawiona powyżej analiza pozwala na potwierdzenie założenia, że prędkość średnia obliczona jako pochodna czasu pomierzonego jest zależna od zmienności litologicznej poziomów stratygraficznych rozpoznanych w profilu otworu Nowa Rola P 9 i odzwierciedla budowę geologiczną w jego rejonie. Zmienność wartości prędkości kompleksowych dla poszczególnych jednostek stratygraficznych przedstawia się następująco:

$$\begin{aligned}
 &Q + Ng + Pg - 2050 \text{ m/s} \\
 &Tr_{wm} + Tr_{pp3} - 3080 \text{ m/s} \\
 &Tr_{pp2} - 3080 \text{ m/s} - 3090 \text{ m/s} \\
 &Tr_{pp1} - 3090 \text{ m/s} - 3620 \text{ m/s} - 4190 \text{ m/s} \\
 &P_{z4} + P_{z3} - 4190 \text{ m/s} \\
 &P_{z2} - 4190 \text{ m/s} - 5190 \text{ m/s} \\
 &P_{z1} - 5190 \text{ m/s} - 4980 \text{ m/s} - 5060 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Otrzymane wyniki prędkości kompleksowych przedstawione w niniejszym rozdziale pozwalają na identyfikację najbardziej wyraźnych odbić refleksyjnych na profilach sejsmicznych i ich dowiązanie do odpowiednich jednostek litostratygraficznych. W przypadku otworu Nowa Rola P 9 wyraźne są refleksy związane z granicą pomiędzy utworami paleogenu i dolnego wapienia muszlowego oraz granice w obrębie utworów cechsztynu: K2/Na2/A2 i A1g/Na1.

Wyniki obliczeń wykonanych w ramach przedstawionych analiz pozwolą na uzupełnienie aktualnego modelu prędkościowego, który jest kluczową częścią opracowania interpretacji sejsmicznych w najbliższym otoczeniu opracowanego otworu. Pomimo stosunkowo niewielkiej głębokości otworu Nowa Rola P 9 i tym samym ograniczonego zakresu stratygraficznego, przeprowadzone pomiary prędkości średnich pozwalają na wykonanie korelacji i przyporządkowanie poziomów refleksyjnych na przekrojach geologicznych granicom paleogen/trias oraz dwóm poziomom cechsztyńskim.

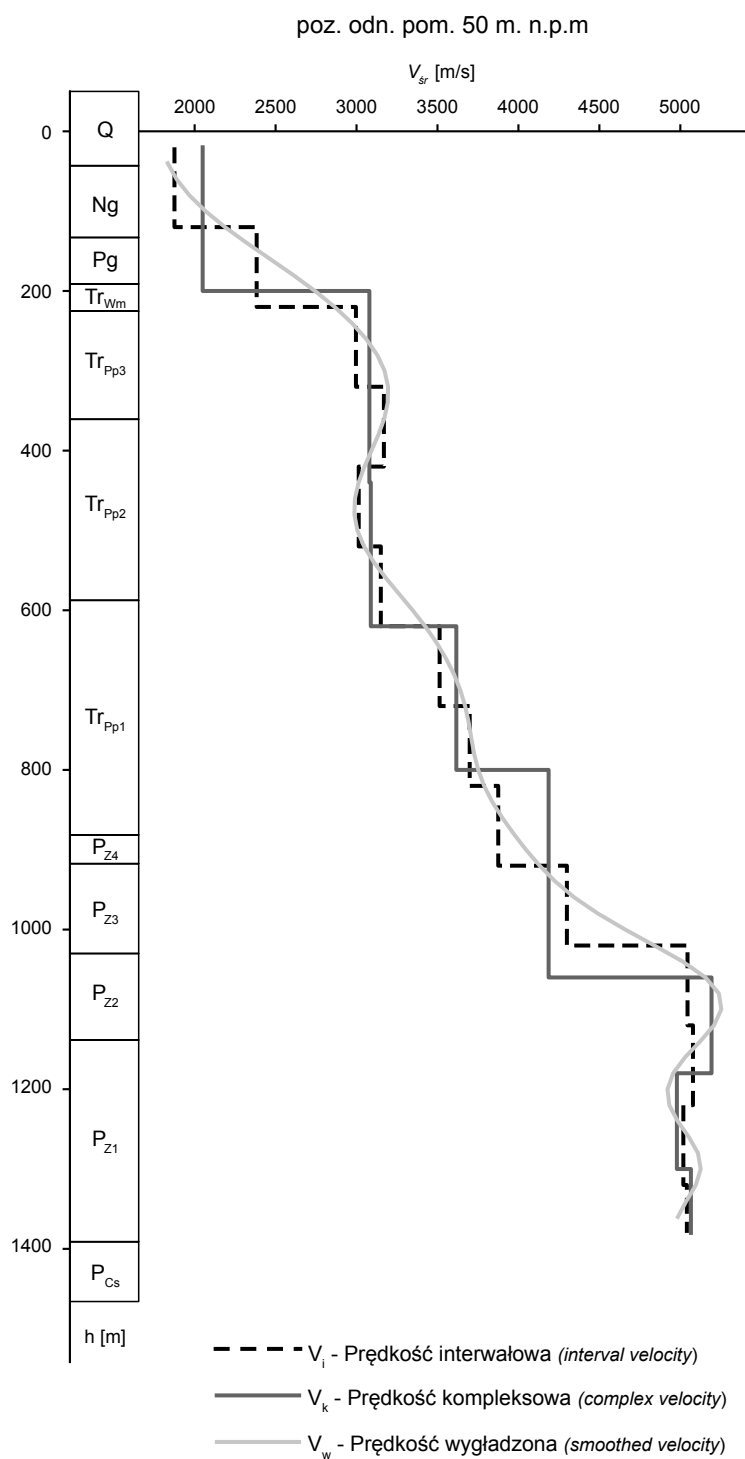


Fig. 55. Wykresy prędkości wygładzonych (V_w), prędkości interwałowych (V_i) oraz kompleksowych (V_k) otrzymane dla otworu Nowa Rola P 9 (poz. odn. 50 m n.p.m.)

h – głębokość. Symbole stratygraficzne: **Q** – czwartorzęd, **Ng** – neogen, **Pg** – paleogen, **Tr_{wm}** – wapień muszlowy, **Tr_{pp3}** – pstry piaskowiec górny, **Tr_{pp2}** – pstry piaskowiec środkowy, **Tr_{pp1}** – pstry piaskowiec dolny, **P_{z4}** – cechsztyń 4 (Aller), **P_{z3}** – cechsztyń (Leine) 3, **P_{z2}** – cechsztyń 2 (Stassfurt), **P_{z1}** – cechsztyń 1 (Werra), **P_{cs}** – czerwony spągowiec

Plots of the smoothed velocity (V_w), interval velocity (V_i) and complex velocity (V_k)
received for the borehole Nowa Rola P 9 (reference level 50 m a.s.l.)

h – depth. Stratigraphical symbols: **Q** – Quaternary, **Ng** – Neogene, **Pg** – Paleogene, **Tr_{wm}** – Muschelkalk, **Tr_{pp3}** – Upper Buntsandstein, **Tr_{pp2}** – Middle Buntsandstein, **Tr_{pp1}** – Lower Buntsandstein, **P_{z4}** – Zechstein 4 (Aller), **P_{z3}** – Zechstein 3 (Leine), **P_{z2}** – Zechstein 2 (Stassfurt), **P_{z1}** – Zechstein 1 (Werra), **P_{cs}** – Rotliegend