

WYNIKI POMIARÓW GEOFIZYCZNYCH WRAZ Z INTERPRETACJĄ

Marzena FLOREK

GEOFIZYKA OTWOROWA

Charakterystykę pomiarów geofizyki wiertniczej z otworu Sucha Beskidzka IG 1 wykonano na podstawie dokumentacji wynikowej otworu badawczego (strukturalno-parametrycznego) Sucha Beskidzka IG 1 (Ślęczka, 1976) oraz danych geofizycznych w formacji LAS ze zbioru CBDG PIG-PIB.

Projekt badań geologicznych obejmujący otwór badawczo-parametryczny Sucha Beskidzka IG 1, stanowił aneks III do „Projektu badań geologicznych dla otworów badawczo-parametrycznych na linii Kraków–Nowy Targ”.

Pomiary geofizyki wiertniczej wykonano w okresie od 15.01.1975 do 25.03.1976 r. przez grupę karotażową Przedsiębiorstwa Poszukiwań Geofizycznych – I zespół Geofizyki Wiertniczej w Lublinie.

Celem badań geofizycznych w ramach projektu było:

- określenie litologii i stratygrafii przewierconych utworów;
- określenie miąższości i głębokości zalegania poszczególnych warstw zbiornikowych;
- identyfikacja warstw o dobrych własnościach zbiornikowych;
- szacunkowe określenie parametrów warstw zbiornikowych;
- wydzielenie warstw zawierających ropę naftową i gaz ziemny;
- określenie stanu technicznego otworu;
- określenie stopnia geotermicznego;
- przeprowadzenie korelacji poziomów stratygraficznych (geofizycznych) z sąsiednich otworów.

ZAKRES WYKONANYCH BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Profilowania geofizyczne stanowią zapis cyfrowy, z ustalonym krokiem próbkowania dla określonego parametru petrofizycznego formacji skalnej, który został wykonany wzdłuż profilu otworu i wyrażony w funkcji głębokości. Zapis ten został uzyskany za pomocą aparatury badawczej zapuszczonej do otworu wiertniczego.

Pomiary geofizyki otworowej w otworze Sucha Beskidzka IG 1 wykonano w interwale głęb. 0,0–3850,0 m, w postaci dziesięciu odcinków pomiarowych. Wybór odcinków głębokościowych badań był związany zarówno z konstrukcją otworu, jak i z charakterem profilu litologiczno-stratygraficznego. Pomiary prowadzono przy użyciu aparatury produkcji radzieckiej typu AKSŁ–7.

Podstawowy zestaw pomiarowy obejmował:

- profilowanie oporności potencjałowe (POp);
- profilowanie oporności gradientowe (POg);
- profilowanie potencjałów naturalnych (PS);
- profilowanie gamma (PG);
- profilowanie neutron–gamma (PNG);
- profilowanie średnicy otworu (PŚr);
- profilowanie krzywizny otworu (PK);
- pomiar oporności płuczki (MTEM);

- pomiar temperatury dna odcinka termometrem maksymalnym (Tmax).

Ponadto, wykonano badania uzupełniające:

- sterowane profilowanie oporności (POst);
- sterowane mikroprofilowanie oporności (mPOst);
- profilowanie gamma–gamma gęstościowe (PGG);
- profilowanie akustyczne (PA – ΔT , T1, T2);
- profilowanie temperatury (PTu).

W otworze Sucha Beskidzka IG 1 wykonywano również pomiary kontrolne w najgłębszej części danego odcinka pomiarowego. Głównym celem tych badań było określenie stopnia stabilności pracy stosowanych układów pomiarowych. Pomiary te nie zostały zdigitalizowane, natomiast istnieją skany omawianych odcinków pomiarowych.

W tabeli 13 zaprezentowano dokładne interwały głębokościowe wykonanych badań geofizyki otworowej (wg spisu wykonanych badań z dokumentacji wynikowej i informacji zamieszczonych na stronie CBDG; Ślęczka, 1976) wraz z datą ich wykonania oraz głębokością interwałów pomiarowych i średnicą nominalną otworu podczas realizacji pomiarów.

Tabela 13

Wykaz badań geofizyki otworowej wykonanych w otworze Sucha Beskidzka IG 1

List of borehole geophysical surveys carried out in the Sucha Beskidzka IG 1 borehole

Odcinek pomiarowy Measuring section	Data wykonania pomiaru Date of measurement	Rodzaj pomiaru Type of measurement	Rodzaj pomiaru (skrót) Type of measurement (abbreviated)	Interwał głębokościowy pomiaru Depth interval [m]	Głębokość otworu podczas pomiaru Borehole depth during measurements [m]	Średnica nominalna otworu Bit Size [mm]
I	15.01.1975 r.	profilowanie średnicy caliper log	PŚr	12,0–293,0	301,0	438
		profilowanie oporność conventional electrical resistivity log	PO	12,0–293,0		
		profilowanie gamma gamma ray log	PG	0,0–301,0		
		profilowanie potencjałów samoistnych spontaneous potential log	PS	12,0–293,0		
		profilowanie krzywizny deviation log	PK	0,0–295,0		
II	12–13.03.1975 r.	profilowanie oporności conventional electrical resistivity log	PO	300,5–895,5	903,0	308
		profilowanie potencjałów samoistnych spontaneous potential log	PS	300,5–895,5		
		profilowanie krzywizny deviation log	PK	250,0–895,0		
III	22–23.05.1975 r.	profilowanie oporności conventional electrical resistivity log	PO	300,0–1579,0	1582,0	308
		gradientowe profilowanie potencjałów samoistnych gradient spontaneous potential log	grad PS	300,0–579,0		
		profilowanie gamma gamma ray log	PG	250,01577,0		
		profilowanie neutron-gamma neutron-gamma ray log	PNG	0,0–1579,0		
		profilowanie oporności polem sterowanym laterolog resistivity log	POst	300,0 1579,0		
		profilowanie średnicy caliper log	PŚr	300,0–1579,0		
	profilowanie krzywizny deviation log	PK	850,0–1580,0			
	31.05–01.06.1975 r.	profilowanie akustyczne sonic log	PA	325,0–1580,0	1582,0	308
	cementomierz akustyczny w rurach 9 5/8" cement bond log	Pac	0,0–1582,0			
IV	03–05.07.1975 r.	profilowanie oporności conventional electrical resistivity log	PO	1581,0–1862,0	1863,5	216
		profilowanie potencjałów samoistnych spontaneous potential log	PS	1581,0–1862,0		
		profilowanie gamma gamma ray log	PG	1527,0–1862,0		
		profilowanie neutron-gamma neutron-gamma ray log	PNG	1527,0–1862,0		

Tabela 13 cd.

Odcinek pomiarowy Measuring section	Data wykonania pomiaru Date of measurement	Rodzaj pomiaru Type of measurement	Rodzaj pomiaru (skrót) Type of measurement (abbreviated)	Interwał głębokościowy pomiaru Depth interval [m]	Głębokość otworu podczas pomiaru Borehole depth during measurements [m]	Średnica nominalna otworu Bit Size [mm]
IV	03–05.07.1975 r.	profilowanie oporności polem sterowanym laterolog resistivity log	POst	1581,0–1862,0	1863,5	216
		mikroprofilowanie oporności polem sterowanym microlaterolog resistivity log	mPOst	1581,0–1862,0		
		profilowanie średnicy caliper log	PŚr	1581,0–1863,0		
		profilowanie krzywizny deviation log	PK	1525,0–1860,0		
V	04–05.08.1975 r. 20.08.1975 r.	profilowanie oporności conventional electrical resistivity log	PO	1812,0–2185,0	2186,0	216
		profilowanie potencjałów samoistnych spontaneous potential log	PS	1581,0–2185,0		
		profilowanie gamma gamma ray log	PG	1812,0–2185,0		
		profilowanie neutron–gamma neutron–gamma ray log	PNG	1812,0–2185,0		
		mikroprofilowanie oporności polem sterowanym microlaterolog resistivity log	mPOst	1812,0–2185,0		
		profilowanie średnicy caliper log	PŚr	1800,0–2185,0		
		profilowanie krzywizny deviation log	PK	1581,0–2184,0		
		profilowanie oporności polem sterowanym laterolog resistivity log	POst	1812,0–2185,0		
VI	7–8.09.1975 r.	profilowanie oporności conventional electrical resistivity log	PO	2135,0–2565,0	2568,5	216
		gradientowe profilowanie potencjałów samoistnych gradient spontaneous potential log	grad PS	1581,0–2565,0		
		profilowanie gamma gamma ray log	PG	2135,0–2565,0		
		profilowanie neutron–gamma neutron–gamma ray log	PNG	2135,0–2565,0		
		profilowanie oporności polem sterowanym laterolog resistivity log	POst	2135,0–2565,0		
		profilowanie średnicy caliper log	PŚr	1581,0–2565,0		
		profilowanie krzywizny deviation log	PK	2125,0–2565,0		
VII	17–18.10.1975 r. 21–22.10.1975 r.	profilowanie oporności conventional electrical resistivity log	PO	2515,0–2904,0	2906,5	216
		gradientowe profilowanie potencjałów samoistnych gradient spontaneous potential log	grad PS	1582,0–2909,0		

Tabela 13 cd.

Odcinek pomiarowy Measuring section	Data wykonania pomiaru Date of measurement	Rodzaj pomiaru Type of measurement	Rodzaj pomiaru (skrót) Type of measurement (abbreviated)	Interwał głębokościowy pomiaru Depth interval [m]	Głębokość otworu podczas pomiaru Borehole depth during measurements [m]	Średnica nominalna otworu Bit Size [mm]
VII	17–18.10.1975 r. 21–22.10.1975 r.	profilowanie gamma gamma ray log	PG	2515,0–2904,0	2906,5	216
		profilowanie neutron–gamma neutron–gamma ray log	PNG	2515,0–2904,0		
		profilowanie średnicy caliper log	PŚr	1582,0–2904,0		
		profilowanie krzywizny deviation log	PK	2500,0–2905,0		
		profilowanie oporności polem sterowanym laterolog resistivity log	POst	2058,0–2904,0		
		mikroprofilowanie oporności polem sterowanym microlaterolog resistivity log	mPOst	2058,0–2904,0		
VIII	28–30.11.1975 r.	profilowanie oporności conventional electrical resistivity log	PO	1582,0–3225,0	3227,0	216
		gradientowe profilowanie potencjałów samoistnych gradient spontaneous potential log	grad PS	1582,0–3225,0		
		profilowanie gamma gamma ray log	PG	2854,0–3225,0		
		profilowanie neutron–gamma neutron–gamma ray log	PNG	2854,0–3225,0		
		profilowanie średnicy caliper log	PŚr	1582,0–3225,0		
		profilowanie krzywizny deviation log	PK	2850,0–3225,0		
		profilowanie oporności polem sterowanym laterolog resistivity log	POst	2854,0–3225,0		
		mikroprofilowanie oporności polem sterowanym microlaterolog resistivity log	mPOst	2854,0–3225,0		
		cementomierz akustyczny w rurach 6 5/8” cement bond log	Pac	1290,5–3214,0		
IX	21–22.01.1976 r.	profilowanie oporności conventional electrical resistivity log	PO	3230,5–3490,5	3493,0	141
		gradientowe profilowanie potencjałów samoistnych gradient spontaneous potential log	grad PS	3230,5–3490,5		
		profilowanie gamma gamma ray log	PG	3175,0–3490,0		
		profilowanie neutron–gamma neutron–gamma ray log	PNG	3275,0–3490,0		
		profilowanie średnicy caliper log	PŚr	3230,5–3490,5		
		profilowanie krzywizny deviation log	PK	3175,0–3490,5		

Tabela 13 cd.

Odcinek pomiarowy Measuring section	Data wykonania pomiaru Date of measurement	Rodzaj pomiaru Type of measurement	Rodzaj pomiaru (skrót) Type of measurement (abbreviated)	Interwał głębokościowy pomiaru Depth interval [m]	Głębokość otworu podczas pomiaru Borehole depth during measurements [m]	Średnica nominalna otworu Bit Size [mm]
IX	21–22.01.1976 r.	profilowanie oporności polem sterowanym laterolog resistivity log	POst	3290,0–3490,5	3493,0	141
		profilowanie gamma–gamma gęstościowe gamma–gamma density log	PGG	3075,0–3490,5		
X	6–10.03.1976 r.	profilowanie oporności conventional electrical resistivity log	PO	3440,0–3835,5	3850,0	141
		gradientowe profilowanie potencjałów samoistnych gradient spontaneous potential log	grad PS	3290,5–3895,5		
		profilowanie gamma gamma ray log	PG	3440,0–3830,0		
		profilowanie neutron–gamma neutron–gamma ray log	PNG	20,0–3830,0		
		profilowanie średnicy caliper log	PŚr	3230,5–3835,0		
		profilowanie krzywizny deviation log	PK	3450,0–3835,0		
	profilowanie oporności polem sterowanym laterolog resistivity log	POst	3440,0–3835,0			
	11.03.1976 r.	profilowanie akustyczne sonic log	PA	3440,0–3845,0	3850,0	141
	25.03.1976 r.	profilowanie temperatury w ustalonej równowadze termicznej formation temperature log under stabilized conditions	PTu	30,0–3395,0	3850,0	141

Zestaw badań geofizycznych wykonanych w otworze Sucha Beskidzka IG 1 oraz ich jakość zdecydowanie odbiegają od obecnie realizowanych profilowań geofizyki wiertniczej i standardu ich jakości. Badania realizowane w latach 70. XX w., a także istniejące w tym czasie możliwości sprzę-

towe, umożliwiały rozpoznanie profilu wiercenia jedynie w ograniczonym zakresie. Dotyczy to zwłaszcza pomiarów radiometrycznych, które miały fundamentalne znaczenie dla rozpoznania profilu litologicznego oraz do oceny właściwości petrofizycznych skał przewierconego ośrodka.

OCENA JAKOŚCI POMIARÓW TECHNICZNYCH I STANU OTWORU

Konstrukcja otworu wiertniczego – zarurowanie

W otworze Sucha Beskidzka IG 1 w kolumnie rur okładzinowych wykorzystano rury o średnicy 20", 13 3/8", 9 5/8", 6 5/8" oraz łącznik odpinany „Liner” w głęb. 1290,5 m.

Głębokości posadowienia rur okładzinowych według miary wiertniczej i odczytanych z pomiarów geofizycznych, zestawiono w poniższej tabeli (tab. 14).

Tabela 14

Zestawienie posadowienia rur okładzinowych wraz z głębokością dla miary wiertniczej i geofizycznej

Casing with depth for drilling and geophysical measurements

Średnica rur Casing diameter [inch]	Głębokość zarurowania Casing depth [m]	
	miara wiertnicza drilling measure	miara geofizyczna geophysical measure
20"	12,8	12,0
13 3/8"	292,9	300,0
9 5/8"	1582,0*	1581,0
6 5/8'	3214,0	3230,5

* według dokumentacji wynikowej otworu 1522 m

* according to the borehole documentation: 1522 m

Na podstawie pomiaru cementomierzem akustycznym, określono stan zacementowania rur 9 5/8" oraz 6 5/8". Jedynie w interwałach głęb.: 226,0–328,0 m, 351,0–385,0 m, 492,5–515,0 m, 641,0–685,0 m, 745,0–865,0 m, 904,0–911,0 m, 1048,5–1091,0 m, 1131,0–1151,0 m, 1301,0–1315,0 m, 1369,0–1415,0 m, 1461,0–1514,0 m, 1542,0–1564,0 m, 1570,0–1700,0 m, wskazano odcinki o dobrym stanie wiązania cementu z rurami okładzinowymi. Należy zaznaczyć, że wykorzystywana w tamtych czasach technika pomiarowa nie pozwalała na ocenę wiązania cementu ze skałą.

Średnica otworu

Pomiar średnicy wykonano we wszystkich odcinkach pomiarowych. Średnica nominalna otworu wynosiła odpowiednio 508 mm w interwale głęb. 0,0–15,5 m, 438 mm w interwale głęb. 15,5–301,0 m, 308 mm w interwale głęb. 301,0–1582,0 m, 216 mm w interwale głęb. 1582,0–3227,0 m, oraz 141 mm na głęb. 3227,0–3850,0 m.

W przeważającej części profilu otworu Sucha Beskidzka IG 1 występują interwały o widocznie powiększonej śred-

nicy otworu w stosunku do średnicy nominalnej otworu: 12,0–216,2 m; 300,0–1582,0 m; 1582,0–1819,0 m; 1888,5–2252,5 m; 2367,5–2452,0 m; 3263,0–3571,5 m. Z tego też względu, w miejscach występowania największych kawern, jest możliwy wpływ stanu otworu na zapis profilowań geofizycznych, w szczególności tych, które wymagają docisku do ścian otworu.

Pomiary krzywizny otworu

Profilowania krzywizny w otworze Sucha Beskidzka IG 1 zostały wykonane inklinometrem IK-2 w głęb. 0,0–3835,0 m, z różnym krokiem próbkowania w zależności od przewierconych interwałów. Profilowanie to nie zostało połączone ani zdigitalizowane. Na potrzeby opracowania PGOW, obliczono trajektorię otworu, stosując metodę minimalnej krzywizny (ang. *Minimum Curvature Method*). Całkowite odejście otworu, mierzone pomiędzy punktem u wylotu otworu a spodem otworu, wynosi –166,6 m, przy azymucie kąta odchylenia równym 305°. Na figurach 31 i 32 zaprezentowano krzywiznę otworu w płaszczyźnie pionowej i poziomej.

Pomiary termiczne

Profilowanie temperatury w ustalonej równowadze termicznej TEMU wykonano termometrem elektrycznym ETMI po 13-dniowej stójce. Z przyczyn technicznych badania ograniczyły się do głębokości ok. 3400 m. Dodatkowo w trakcie wiercenia w każdym odcinku pomiarowym były wykonywane punktowe pomiary temperatury Tmax, wykonywane termometrem maksymalnym. Zarejestrowane wartości Tmax ze względu na zaburzenie pola temperatury są niższe od wartości temperatury tego profilowania TEMU. Zestawienie dostępnych danych temperaturowych z otworu Sucha Beskidzka IG 1 przedstawiono na figurze 33.

W otworze Sucha Beskidzka IG 1, na podstawie dostępnych pomiarów temperatury w ustalonej równowadze termicznej, obliczono średni gradient geotermiczny dla całego profilu otworu, który wynosi 2,4 °C/100 m.

DIGITALIZACJA I NORMALIZACJA PROFILOWAŃ GEOFIZYCZNYCH

Wyniki badań geofizycznych w otworze Sucha Beskidzka IG 1 zostały zarejestrowane w formie analogowej i wyrażone w skali głębokościowej. Jednakże, zastosowanie niekalibrowanej aparatury pomiarowej wprowadza znaczące trudności w wiarygodnej analizie danych geofizycznych. Przyczyną tego stanu rzeczy są różnice w parametrach technicznych użytych sond oraz rejestracja pomiarów radiometrycznych w niestandardowych jednostkach (np. imp/min). Dodatkowo, zarejestrowane profilowania są obciążone błędami wynikającymi ze złego stanu technicznego otworu.

W latach 90. XX w., w ramach prac interpretacyjnych PIG-PIB, część pomiarów geofizycznych z otworu Sucha

Beskidzka IG 1, w tym profilowania średnicy, radiometryczne oraz wybrane elektrometryczne, zostały zdigitalizowane. Prace te były związane z uzupełnianiem bazy CBDG o badania geofizyki otworowej. W szczególności, profilowanie naturalnego promieniowania gamma (GR) oraz profilowanie neutron-gamma (NEGR) zostały połączone i poddane normalizacji. Metodyka standaryzacji profilowań radiometrycznych, opisana w pracach Szewczyka (1998, 2000) została zastosowana w trakcie tych prac.

Graficzne przedstawienie zakresów głębokościowych dla dostępnych pomiarów geofizycznych wraz z uproszczonym profilem stratygraficznym zamieszczono na figurze 34.

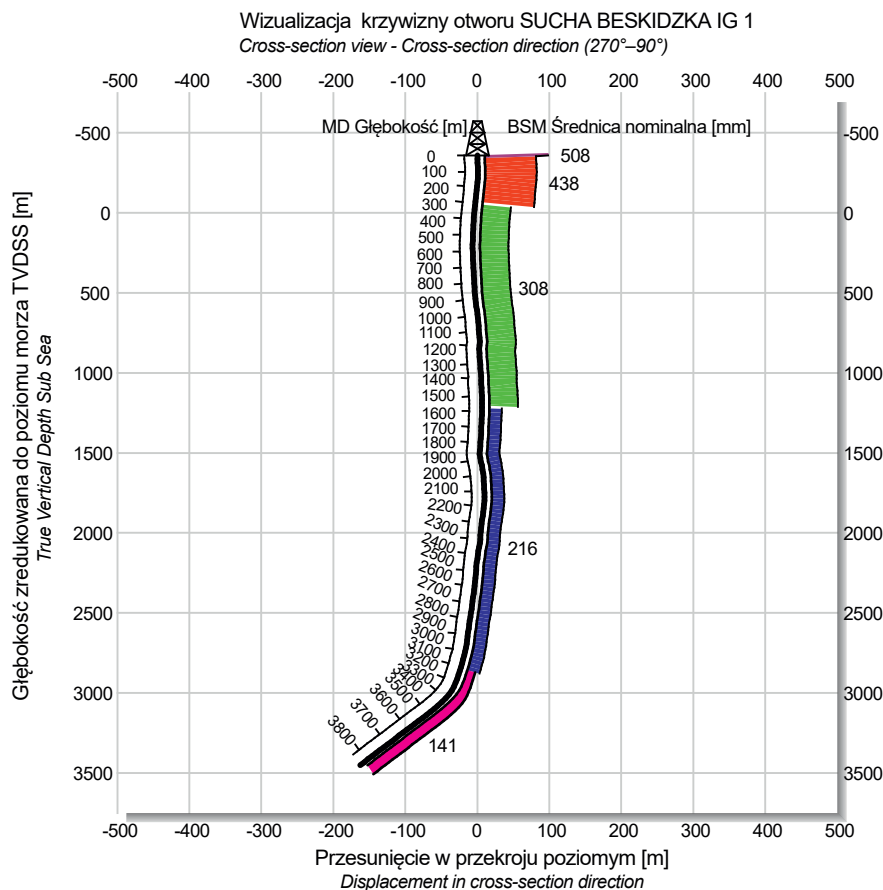


Fig. 31. Rzut trajektorii osi otworu Sucha Beskidzka IG 1 na płaszczyznę pionową (270-90°)

Cross-section view performed in the Sucha Beskidzka IG 1 borehole with plane direction (270-90°)

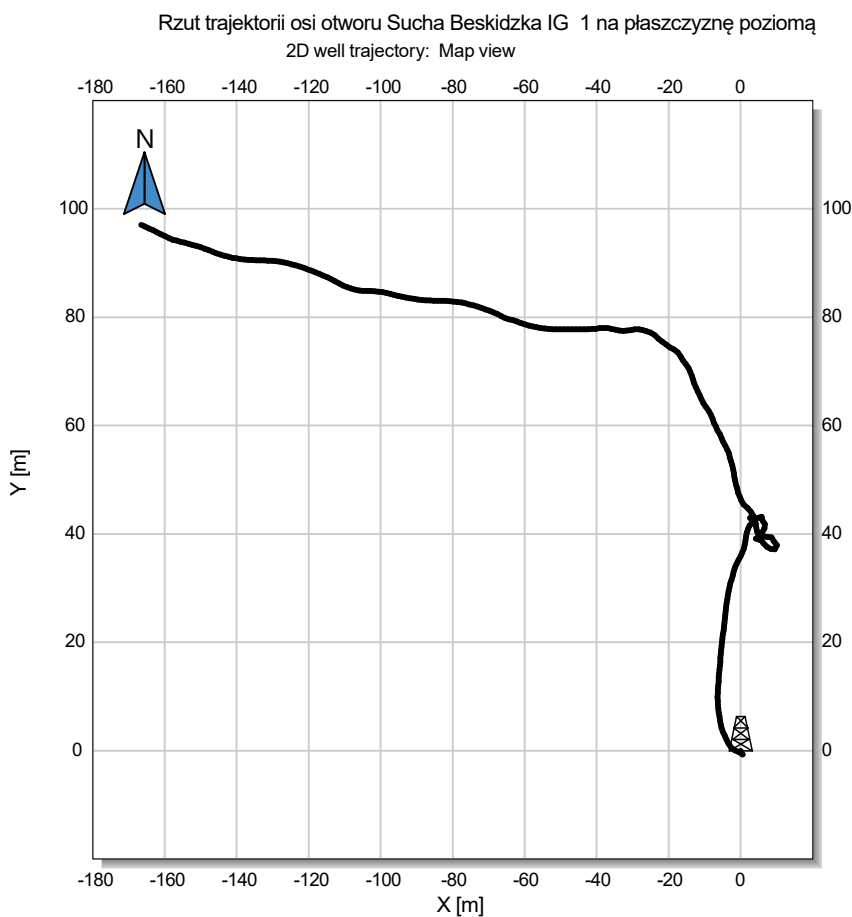


Fig. 32. Rzut trajektorii osi otworu Sucha Beskidzka IG 1 na płaszczyznę poziomą

Map view performed in the Sucha Beskidzka IG 1 borehole

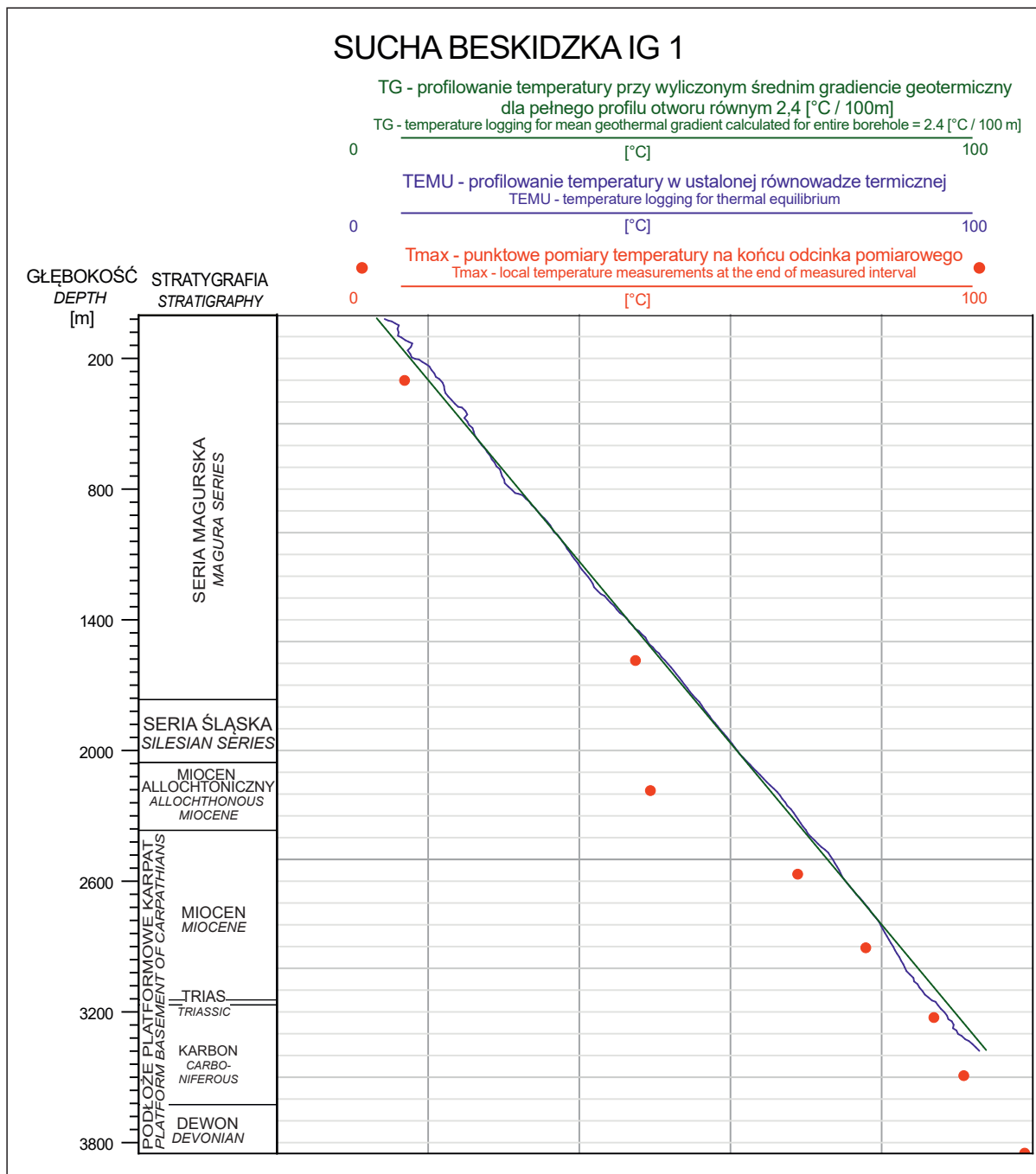


Fig. 33. Schematyczne zestawienie ciągłego profilowania temperatury ustabilizowanej TEMU, punktowych pomiarów temperatury Tmax oraz profilowanie temperatury przy wyliczonym gradiencie geotermicznym TG w otworze Sucha Beskidzka IG 1

Temperature log for stabilized conditions TEMU, the maximum temperature zone Tmax and temperature log for calculated geothermal gradient TG performed in the Sucha Beskidzka IG 1 borehole

OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

Kontrola istniejących danych cyfrowych, związanych z profilowaniami geofizyki wiertniczej, miała na celu wykrycie ewentualnych błędów zapisu, powstających w kolejnych etapach procesu wykonywania badań geofizycznych tj. podczas ich rejestracji oraz dalszego procesu przetwarzania.

Główne działania w ramach weryfikacji zcyfrowanych i wstępnie poprawionych już profilowań geofizycznych obejmowały:

- przeskalowanie profilowania w odniesieniu do ówczesnie przyjętych jednostek (np. imp/min przeliczone na api lub g/cm³ lub frac);

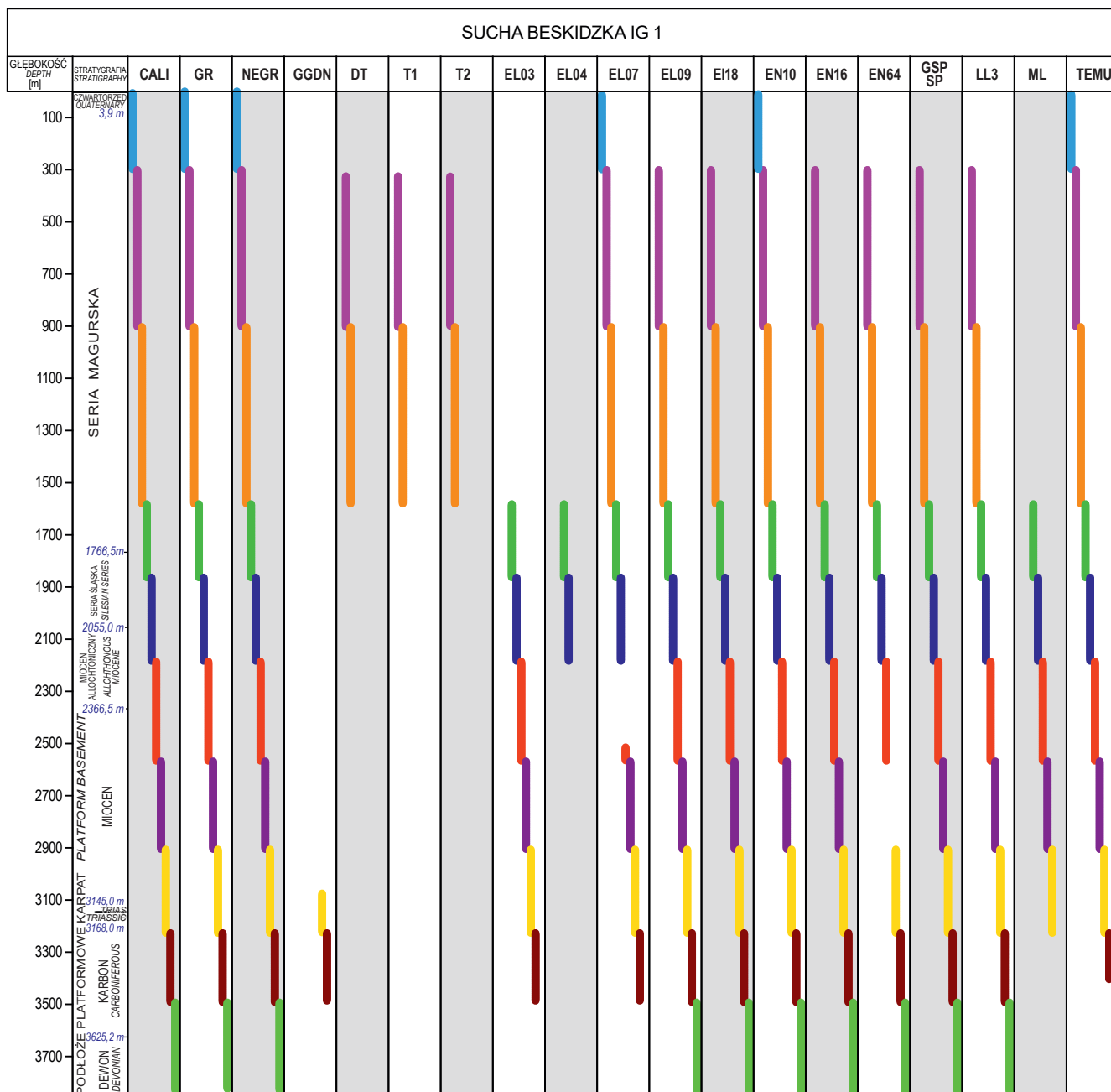


Fig. 34. Schematyczne zestawienie głębokościowe zdigitalizowanych profilowań geofizycznych wykonanych w otworze Sucha Beskidzka IG 1

Rodzaje profilowań geofizycznych: CALI – profilowanie średnicy otworu, GR – profilowanie naturalnej promieniotwórczości gamma, NEGR – profilowanie neutron-gamma, GGDN – profilowanie gamma-gamma gęstościowe, SP – profilowanie potencjałów samoistnych, GSP – gradientowe profilowanie potencjałów samoistnych, EL – gradientowe profilowanie oporności (EL 03; EL04; EL07; EL09; EL18), EN – potencjałowe profilowanie oporności (EN10; EN16; EN64), LL3 – sterowane profilowanie oporności, ML – mikroprofilowanie oporności, T1 – czas interwałowy T1, T2 – czas interwałowy T2, DT – profilowanie akustyczne czasu interwałowego, TEMU – profilowanie temperatury w ustalonej równowadze termicznej

Schematic depth chart of digitalized well logging measurements performed in the Sucha Beskidzka IG 1 borehole

Well log types: CALI – caliper, GR – gamma ray log, NEGR – neutron-gamma log, GGDN – gamma-gamma density log, SP – spontaneous potential log, GSP – gradient spontaneous potential log, EL – lateral conventional electrical log (EL 03, EL04, EL07, EL09, EL18), EN – normal conventional electrical log (EN10, EN16, EN64), LL3 – laterolog, ML – microlaterolog, T1 – interval time T1, T2 – interval time T2, DT – compressional slowness, TEMU – Formation Temperature Log for stabilized conditions

- ustalenie stopnia zgodności głębokościowej zapisu poszczególnych profilowań w obrębie danego odcinka pomiarowego;
- analiza zgodności profilowań w obrębie tzw. zakład, przy łączeniu odcinków pomiarowych;
- sprawdzenie kształtu krzywych dla poszczególnych profilowań w odniesieniu do profilu litologicznego;
- ustalenie poprawności wartości profilowań wyrażonych w jednostkach fizycznych szczególnie w kontekście poziomów reperowych (np. wkładki węgla).

Istotnym źródłem informacji na temat parametrów petrofizycznych skał w profilu otworu Sucha Beskidzka IG 1, były wyniki badań laboratoryjnych pobranych z rdzeni wiertniczych. Wyniki te dowiązано głębokościowo do pomiarów geofizycznych i wykorzystano zarówno podczas interpretacji danych geofizycznych, jak i w procesie kalibracji profilowań geofizyki wiertniczej. Na podstawie poziomów reperowych, w tym wypadku wkładek węgla, występujących w karbonie, przesunięto głębokościowo badania laboratoryjne. Różnica głębokości najprawdopodobniej wynika z błędnie ustalonych pierwotnych głębokości pobrania rdzeni w momencie wiercenia otworu.

W otworze Sucha Beskidzka IG 1 nawiercono utwory karbonu, zawierające pokłady węgla kamiennego. Szczegółowe głębokości ich zalegania, określone na podstawie pomiarów geofizycznych, wraz z osiąganymi miąższościami, zostały wyznaczone na podstawie profilowania gamma-gamma gęstościowego RHOB, które jest stosowane m.in. do rozpoznania litologii. Wyinterpretowane poziomy węgla kamiennego wraz z miąższościami przedstawiono w formie tabelarycznej (tab. 15) i graficznej (fig. 35).

Przeprowadzona analiza wykazała obecność większej liczby wkładek węgla, niż wynikało to z wcześniejszych danych dokumentacyjnych dotyczących otworu. Potwierdzają to także wyniki oraz opisy badań próbek okruchowych, które wskazują na tę samą tendencję. Porównując głębokości zalegania pokładów węgla, określone na podstawie szczegółowego opisu rdzeni wiertniczych i próbek okruchowych, z danymi uzyskanymi z interpretacji profilowań geofizycznych, stwierdzono przesunięcie głębokościowe poszczególnych wkładek, wynikające z różnicy pomiędzy miarami wiertniczymi a geofizycznymi. Ze względu na dużą głębokość zalegania dane odnośnie miąższości i miejsc występowania pokładów węgla nie mają jednakże znaczenia dla przemysłu wydobywczego.

Brak pełnego kompletu pomiarów geofizycznych, w tym profilowania akustycznego i gęstościowego w pełnym profilu otworu, jak również dostępne jedynie profilowania oporności elektrycznej pochodzące z sond typu radzieckiego, znacznie utrudniał interpretację porowatości i nasycenia przewierczanych utworów.

Wykonano interpretację zailenia (VSH_{GR}) w pełnym profilu otworu, na podstawie metody liniowej wykorzystującej poprawione profilowanie naturalnej promieniotwórczości gamma. Interpretację porowatości efektywnej (PHIE_{NS}) przeprowadzono jedynie w odcinku, dla którego dysponowano profilowaniem akustycznym, na podstawie crossplotu neutronowo-akustycznego.

Dla poszczególnych jednostek stratygraficznych wyliczono wartości średnie i maksymalne parametrów zarówno z interpretacji jak i z dostępnych badań laboratoryjnych (tab. 16).

Tabela 15

Zestawienie głębokości zalegania i miąższości pokładów węgla

List of depths and thickness of coal seams.

Strop/Top [m]	Spąg/Bottom [m]	Miąższość/Thickness [m]
3195,25	3197,00	1,75
3208,75	3209,00	0,25
3211,25	3211,50	0,25
3226,00	3231,00	5,00
3263,75	3265,00	1,25
3268,50	3271,75	3,25
3278,50	3279,25	0,75
3279,50	3283,25	3,75
3285,00	3288,75	3,75
3289,00	3289,25	0,25
3296,00	3303,25	7,25
3304,75	3307,25	2,50
3307,50	3307,75	0,25
3313,25	3316,75	3,50

Strop/Top [m]	Spąg/Bottom [m]	Miąższość/Thickness [m]
3319,00	3323,75	4,75
3344,50	3345,00	0,50
3349,75	3353,50	3,75
3364,00	3364,25	0,25
3371,25	3372,25	1,00
3391,75	3392,25	0,50
3400,75	3402,50	1,75
3405,00	3406,25	1,25
3419,00	3420,25	1,25
3441,50	3443,50	2,00
3443,75	3444,00	0,25
3445,50	3446,75	1,25
3456,00	3458,75	2,75
3475,75	3481,00	5,25

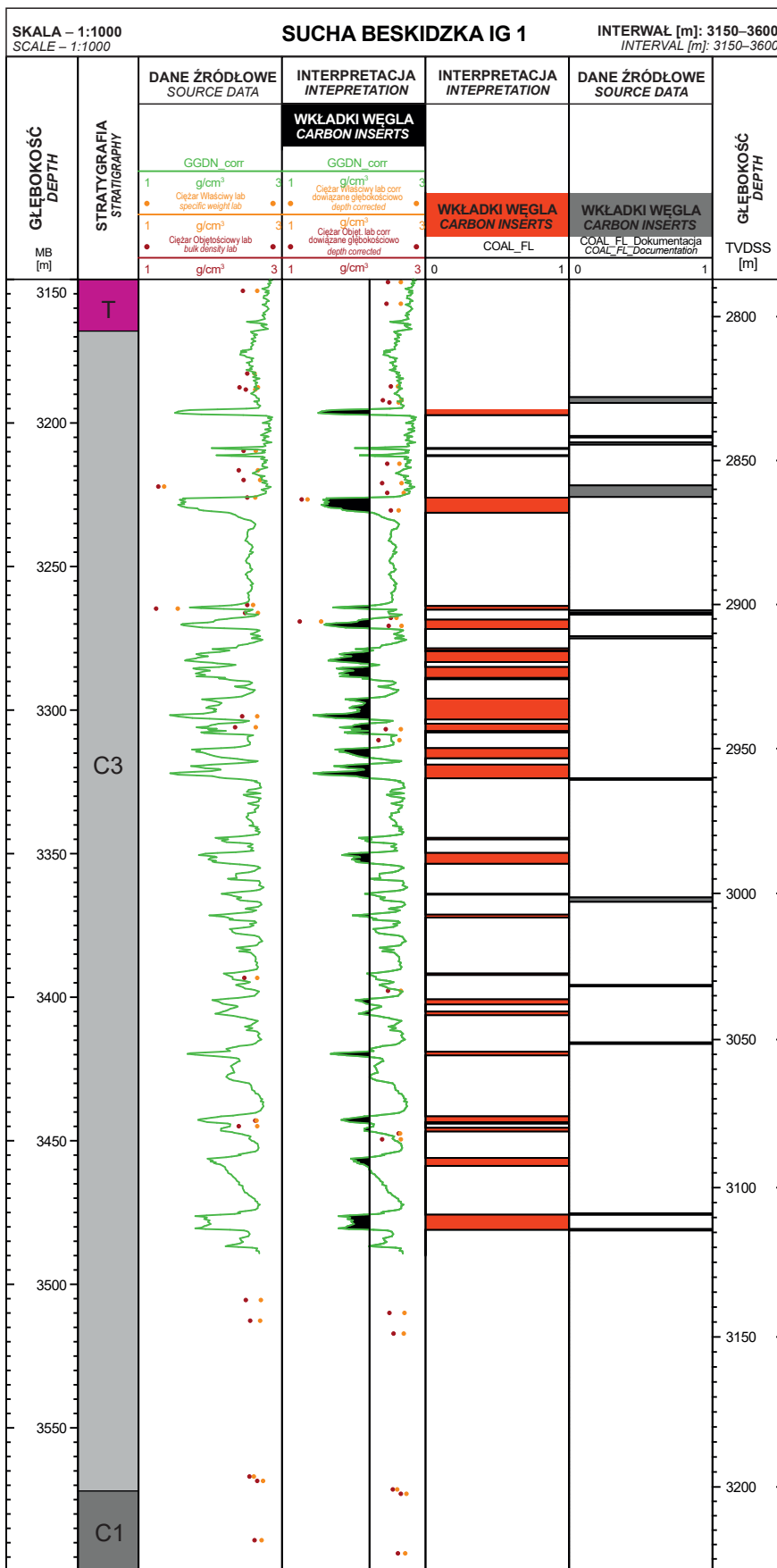


Fig. 35. Graficzne przedstawienie wyinterpretowanych wkładek węgla w otworze Sucha Beskidzka IG 1
Visualisation of interpreted coal seams in Sucha Beskidzka IG 1 borehole

Tabela 16

Zestawienie wartości średnich i maksymalnych parametrów zbiornikowych dla ogólnych jednostek stratygraficznych

List of average and maximum values of reservoir parameters for general stratigraphic units

Stratygrafia Stratigraphy	Litologia Lithology	Wyinterpretowane zailenie Shale volume [frac]		Wyinterpretowana porowatość efektywna Effective porosity [frac]		Porowatość laboratoryjna Lab porosity [frac]		Przepuszczalność laboratoryjna Lab permeability [frac]	
		średnia mean	maks. max.	średnia mean	maks. max.	średnia mean	maks. max.	średnia mean	maks. max.
Czwartorzęd Quaternary	piaski, żwiry sands, gravels	0,11	0,15	—	—	—	—	—	—
Seria magurska Magura series	piaskowce, mułowce, iłowce z przeławieniami piaskowców sandstones, siltstones, and claystones with sandstone interbedding	0,37	0,68	0,024	0,09	0,03	0,09	0,19	0,75
Seria śląska Silesian series	mułowce wapniste z przeławieniami piaskowców calcareous siltstones with sandstone interbedding	0,40	0,71	—	—	0,02	0,03	0,11	0,19
Miocen allochtoniczny Allochthonous miocene	wapniste mułowce, iłowce, piaskowce, wapniste, zlepienie calcareous siltstones, claystones, sandstones, and conglomerates	0,40	0,67	—	—	0,06	0,08	0,48	0,90
Podłoże platformowe – miocen autochtoniczny Platform basement – auto- chthonous miocene	piaskowce, mułowce, iłowce, wapniste, zlepienie calcreous sandstones, siltstones, claystones, and conglomerates	0,39	0,64	—	—	0,05	0,14	7,89	410,00
Podłoże platformowe – trias Platform basement – triassic	piaskowce, mułowce sandstones, siltstones	0,46	0,78	—	—	0,05	0,05	0,56	0,94
Podłoże platformowe – karbon Platform basement – carboniferous	piaskowce, mułowce, iłowce z wkładkami węgli, w spągu wapienie z iłowcami sandstones, siltstones, and claystones with coal intercalations; limestones with claystones at the bottom	0,43	1	—	—	0,05	0,10	0,62	2,25
Podłoże platformowe – dewon Platform basement – devo- nian	wapienie, wapienie dolomityczne z wkładkami iłowców limestones and dolomitic limestones with claystone intercalations	0,03	0,3	—	—	0,01	0,01	0,10	0,10

Na figurze 36 zobrazowano dostępne, poprawione profilowania geofizyczne, połączone i znormalizowane, badania laboratoryjne oraz uzyskane wyniki interpretacji pomiarów geofizycznych,

Poszczególne kolumny przedstawiają:

- **1 ścieżka** – głębokość pomiaru poniżej powierzchni terenu MD w [m];
- **2 ścieżka** – uproszczony profil stratygraficzny;
- **3 ścieżka** – poprawione profilowanie średnicy CALI_C_corr [mm] i średnicy nominalnej BSM [mm];

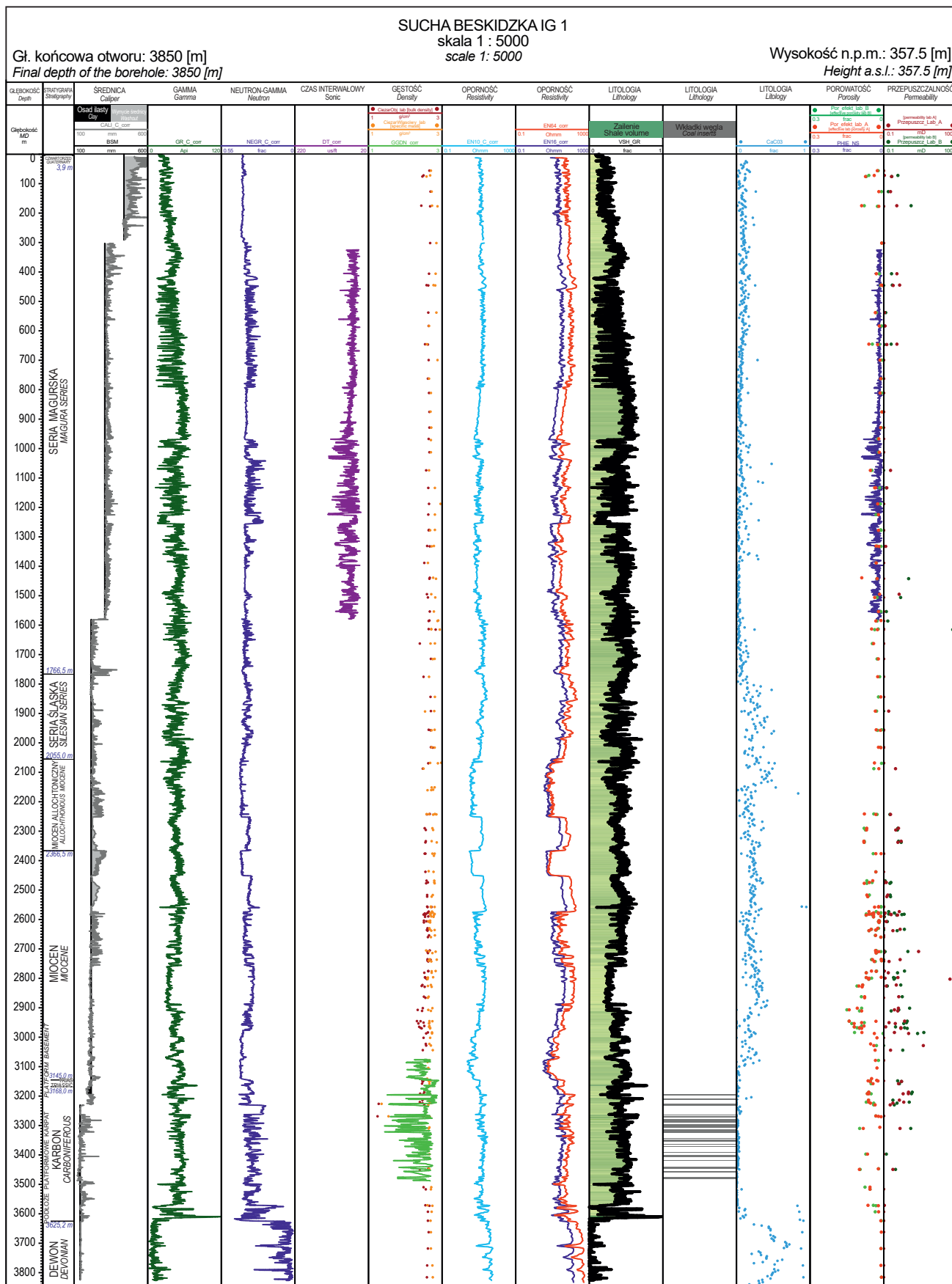


Fig. 36. Profil zbiorczy pomiarów geofizycznych i laboratoryjnych, wykonanych w otworze Sucha Beskidzka IG 1

Composite well logs and laboratory measurements performed in the Sucha Beskidzka IG 1 borehole

- **4 ścieżka** – poprawione profilowanie naturalnej promieniotwórczości gamma GR_C_corr w [API];
- **5 ścieżka** – poprawione neutron-gamma NEGR_C_corr w [frac];
- **6 ścieżka** – poprawione profilowanie czasu interwałowego DT_corr w [API];
- **7 ścieżka** – zestawienie poprawionego profilowanie gamma-gamma gęstościowe GGDN_C_corr w [g/cm³] wraz z badaniami laboratoryjnymi ciężaru objętościowego i ciężaru właściwego w [g/cm³];
- **8 ścieżka** – poprawione profilowanie oporności EN10_C_corr w [ohmm];
- **9 ścieżka** – zestawienie poprawionych profili oporności EN16_corr w [ohmm] i EN64_corr w [ohmm];
- **10 ścieżka** – wyinterpretowana wagowa zawartość minerałów ilastych VSH_GR w [frac];
- **11 ścieżka** – wyinterpretowane interwały z wkładkami węgla;
- **12 ścieżka** – badania laboratoryjne zawartości węglanu wapnia CaCO₃ w [frac];
- **13 ścieżka** – zestawienie wyinterpretowanej porowatości efektywnej PHIE_NS [frac] wraz z badaniami laboratoryjnymi porowatości efektywnej w dwóch płaszczyznach Por_efekt_lab_A w [frac] i Por_efekt_lab_B w [frac];
- **14 ścieżka** – badania laboratoryjne przepuszczalności absolutnej w dwóch płaszczyznach Przepuszcz_lab_A w [mD] i Przepuszcz_lab_B w [mD].

Kinga BOBEK

OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW PRĘDKOŚCI ŚREDNICH

Pomiary prędkości średnich przeprowadzone dla otworu Sucha Beskidzka IG 1 pozwoliły na wyznaczenie kilku kompleksów prędkościowych i dowiązanie ich do odpowiednich poziomów litostratygraficznych i jednostek strukturalnych Karpat zewnętrznych. Analiza krzywych prędkości wygładzonych, prędkości interwałowych i przede wszystkim uzyskanych wartości średniej prędkości kompleksowej umożliwiła zlokalizowanie zmian wartości tego parametru związanych ze zmiennością litologiczną wydzielen stratygraficznych w obrębie serii magurskiej, śląskiej, allochtonicznego miocenu oraz platformowego podłoża Karpat. Najwyższe kontrasty prędkościowe odnotowano w na granicy paleocenu i kredy górnej (warstw inoceramowe serii magurskiej), oligocenu i miocenu (warstwy krośnieńskie serii śląskiej) i allochtonicznego miocenu (brekcja poligenetyczna), oraz pomiędzy zlepieńcami podstawowymi i mułowcami formacji ze Stryzawy autochtonicznego miocenu podłoża Karpat. Najwyższe zaobserwowane wartości średniej prędkości kompleksowej odpowiadają piaskowcom warstw krośnieńskich Karpat zewnętrznych oraz wapieniom górnego dewonu, natomiast najniższe są widoczne w ilasto-mułowcowej brekcji miocenu allochtonicznego oraz mułowcach wapienistych formacji z Suchej (miocen autochtoniczny). Zidentyfikowane granice kompleksów pozwolą na dowiązanie najwyraźniejszych odbić refleksyjnych na profilach sejsmicznych do odpowiednich jednostek litostratygraficznych i prawidłowe opracowanie interpretacji sejsmicznych w rejonie otworu Sucha Beskidzka IG 1.

Pomiary pionowych profilowań sejsmicznych oraz opracowanie uzyskanych wyników dla otworu Sucha Beskidzka IG 1 zostało wykonane w 1976 r. przez Zakład Badań Geofizycznych „PGG” Kombinat Geologicznego Północ z siedzibą w Warszawie. Pomiary w odwiercie wykonano aparaturą T-1 nr z sondą 6–cio geofonową typu GSG-4. Geofony w otworze rozstawiono co 15 metrów. Ze względu na specy-

fikę rejonu, który podlegał ścisłej ochronie wód gruntowych, prace strzałowe przeprowadzono tylko z jednego punktu wzbudzenia zlokalizowanego 1013 m od otworu. Azymut tego punktu strzałowego wynosił 174°, natomiast jego wysokość w odniesieniu do badanego głębokiego otworu wyniosła 201,98 m. Do wzbudzenia fali sejsmicznej wykorzystano dynamit typu 3GH2 5G1 oraz zapalniki KZnPT.

W celu skontrolowania głębokości strzelania ustawiono geofon korekcyjny K₁ w odległości 3 m od punktu wzbudzenia. Rejestracji sygnału dokonywano w pięciu geofonach sondy, zapisując dane bez automatycznej regulacji wzmacnienia. Po korektach pomiarów i wyeliminowaniu zakłóceń na sejsmogramach wywołanych rozchodzeniem się fal po rurach i płuczce oraz tych wynikających z nietypowego, dalekiego położenia punktu strzałowego i wykorzystania dużego ładunku detonacyjnego, wykonano analizę jakości uzyskanych wyników. Do dalszych interpretacji wybrano w sumie 230 sejsmogramów, których jakość oceniono na dobrą lub dostateczną, natomiast wyeliminowano 14 punktów, których jakość określono jako złą. Interwał głębokościowy, w którym wykonano pomiary wynosi 0–3645 m i obejmuje wydzielenia stratygraficzne od czwartorzędu do górnego dewonu autochtonicznego podłoża Karpat. Wysokość wylotu otworu wynosi 357,66 m, natomiast do obliczeń prędkości średnich przyjęto poziom odniesienia pomiaru na wysokości 350 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 punktu wzbudzenia. Czas obserwowany na sejsmogramach został przeliczony 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 geofonu korekcyjnego K_1 . Zgodnie z założeniem tej metody, czas poprawiony wyznacza się na podstawie następującej procedury obliczeniowej:

$$(1) \Delta t_{k_1} = t_{k_1} - t'_{k_1}$$

$$(2) t_p = t_{obs} + \Delta t_{k_1}$$

gdzie:

t_{k_1} – czas pierwszych impulsów geofonu K_1 dla średniej głębokości strzelania

t'_{k_1} – czas pierwszych impulsów geofonu K_1 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 obliczeń, standardowo wykonywana jest redukcja czasu poprawionego do pionu dla punktów wzbudzenia $t_r 1$, $t_r 2$ oraz $t_r 3$. Redukcję wykonano przyjmując założenie, że w interwale głębokościowym od punktu wzbudzenia do głębokości zanurzenia geofonu ośrodek skalny jest jednorodny. Taki układ oznacza, że spodziewany przebieg promienia sejsmicznego jest prostoliniowy, a czas można zredukować według poniższego wzoru:

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

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:

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

Wszystkie uzyskane wartości $t_r 1$, $t_r 2$, $t_r 3$, t_r oraz V_{sr} zostały zestawione w tabeli (tab.17). Ze względu na wykorzystanie tylko jednego punktu strzałowego w badanym otworze, zapis rzeczywistych wartości zestawiono tylko dla punktu $t_r 1$, natomiast wartości w punktach $t_r 2$, $t_r 3$ wynoszą 0 dla całego profilu otworu. 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. 37A) oraz hodografu pionowego (fig. 37B). Krzywa prędkości średnich została utworzona z wykorzystaniem wartości średniej czasu zredukowanego, która w przypadku badanego otworu jest równa wartości z jednego punktu wzbudzenia ($t_r = t_r 1$). Uzyskany hodograf pionowy wskazuje na zależność między wzrostem głębokości a uzyskanymi wartościami czasu rejestracji i prędkością średnią.

W następnym etapie prowadzonych analiz wyznaczono poszczególne kompleksy prędkościowe, a w szczególności ich wartości średnie, poprzez zastosowanie procedury wygładzenia pomiarów czasu. Wykonane wygładzenie pozwoliło na zniwelowanie wpływu przypadkowych skoków wartości, wywołanych błędami pomiarowymi. Otrzymane krzywe wygładzone następnie posłużyły do wyznaczenia stref o maksymalnych gradientach prędkości, odpowiadających granicom kompleksów prędkościowych.

Krzywe prędkości zostały obliczone poprzez wyrównanie otrzymanych czasów zredukowanych do pionu. Wspomiane wyrównanie polegało na przeliczeniu znanych wartości prędkości oraz czasu (po filtracji splotem z filtrem trójkątnym) do poziomu odniesienia i interpolacji otrzymanych wartości dla stałych przedziałów głębokości, co 20 m (20,0–3620,0 m). Zastosowana procedura pozwoliła na usunięcie losowych odchyżeń wynikających z niedokładności pomiaru oraz zniwelowanie skoków wartości, spowodowanych zaokrągleniem otrzymanych wartości czasu do 1 ms przy pierwszym wygładzeniu. W wyniku powtarzania wymienionych operacji są zaokrąglane załamania hodografu odpowiadające zmianom prędkości w kolejnych warstwach. Ostateczne wyniki otrzymane po zastosowaniu opisanej procedury zebrano w formie dodatkowych zbiorów danych, które obejmują przetworzone czasy pomiarów po redukcji do poziomu odniesienia. Zebrane wyniki posłużyły do wyznaczenia

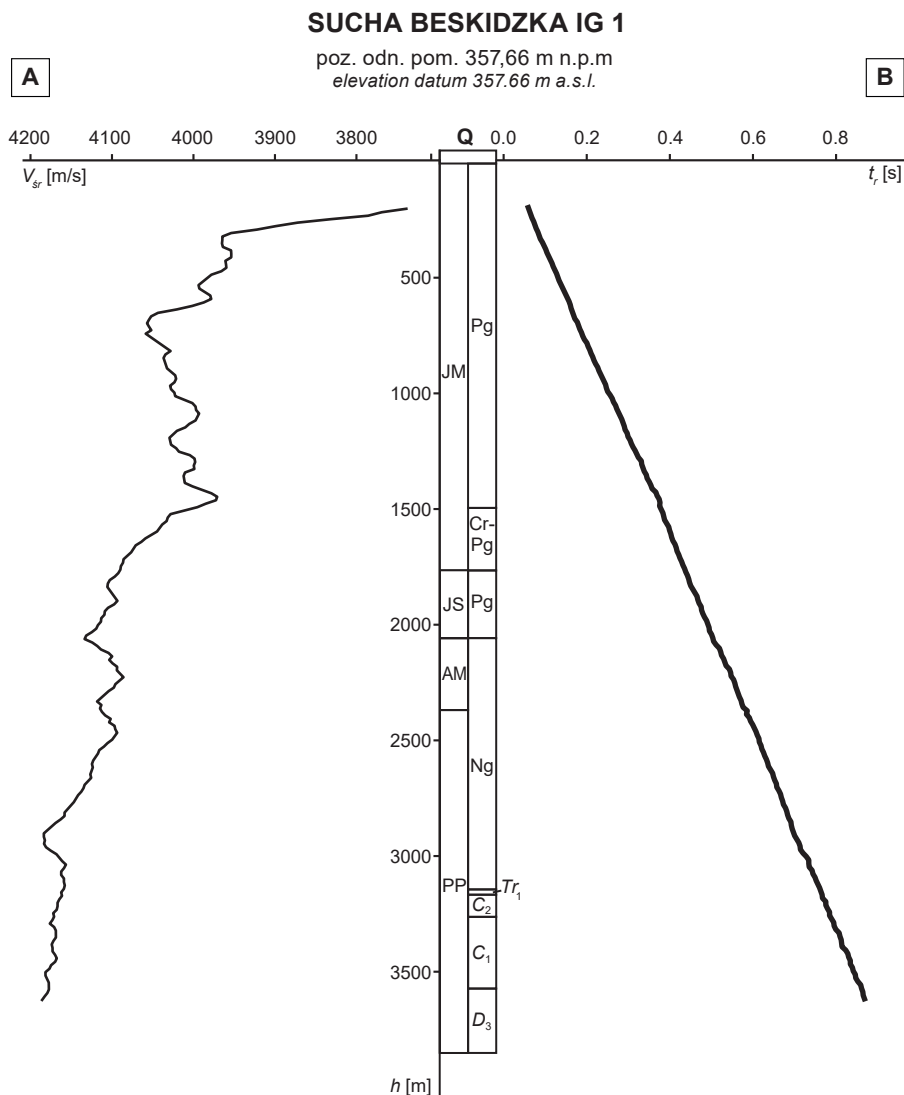


Fig. 37. Wykres prędkości średnich (A) i hodograf pionowy (B) otrzymane dla otworu Sucha Beskidzka IG 1 (poz. odn. 357,66 m n.p.m.)

t_r – średni czas zredukowany, V_{sr} – prędkość średnia, h – głębokość; symbole stratygraficzne (lewa strona profilu): JM – seria magurska, JS – seria śląska, AM – miocen allochtoniczny, PP – podłoże platformowe. Symbole stratygraficzne (prawa strona profilu): Q – czwartorzęd, Ng – neogen, Pg – paleogen, Cr – kreda, Tr_1 – trias dolny, C_2 – pensylwan (karbon górny), C_1 – missisip (karbon dolny), D_3 – dewon górny

Average seismic velocity (A) and travel-time curve (B) (reference level 357.66 m a.s.l.)

t_r – average reduced time, V_{sr} – average velocity, h – depth; stratigraphical symbols (left site of the profile): JM – Magura Series, JS – Silesian Series, AM – Allochthonous Molasse, PP – platform basement. Stratigraphical symbols (right site of the profile): Q – Quaternary, Ng – Neogene, Pg – Paleogene, Cr – Cretaceous, Tr_1 – Lower Triassic, C_2 – Pennsylvanian (Upper Carboniferous), C_1 – Mississippian (Lower Carboniferous), D_3 – Upper Devonian

prędkości średnich odpowiadających kolejnym kompleksom skalnym.

Wymienione wyżej informacje obejmujące uzyskane wyniki i wartości filtrów wybrane dla tego otworu zostały przekazane do banku danych prędkościowych utworzonych w latach 90. XX w. w Zakładzie Geofizyki PIG na potrzeby interpretacji refleksyjnych prac sejsmicznych. Bank ten został następnie włączony do CBDG (baza otworowa – pliki w formacie .las).

Wykryte różnice czasów pomiędzy kolejnymi wygładzeniami są spowodowane zamianami prędkości fali sejsmicznej w poszczególnych kompleksach skalnych. Zjawisko to wy-

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

Wszystkie wymienione obliczenia oraz graficzna prezentacja wyników zostały wykonane 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 (tab. 17, 18), natomiast krzywe tych prędkości przedstawiono na figurze 38. Powyższe wykresy zestawiono z profilem stratygraficznym, co pozwoliło na powiązanie otrzymanych zmian prędkości z jednostkami litostratygraficznymi rozpoznanymi w rdzeniu wiertniczym z otworu Sucha Beskidzka IG 1.

W najwyższej partii profilu badanego otworu obejmującej interwał głęb. 0–200,0 m wyznaczono jeden kompleks prędkościowy ze średnią prędkością równą 3774 m/s, który odpowiada gruboławicowym piaskowcom wapnistym z przewarstwieniami mułowców (warstwy magurskie). Poniżej, na głęb. ok. 220,0 m zaobserwowano pierwszy w profilu wyraźny kontrast prędkościowy, objawiający się wzrostem średniej prędkości z 3774 m/s do 4230 m/s, który najprawdopodobniej jest związany z przejściem fali sejsmicznej z piaskowców o wyższej zawartości materiału ilastego do piaskowców z większym udziałem materiału węglanowego w obrębie warstw magurskich. W kolejnych kompleksach skalnych następuje powolny spadek średniej prędkości z 4230 m/s do 4043 m/s oraz 4082 m/s, po czym od głęb. 500,0 m następuje ponowny wzrost wartości tego parametru z 4082 m/s do 4164 m/s oraz 4243 m/s, co najpewniej jest związane z przechodzeniem fali z kompleksu piaskowców o zróżnicowanej grubości ławic oraz różną zawartością materiału ilastego. Wyraźny spadek średniej prędkości z 4243 m/s do 3958 m/s zaobserwowano na głęb. 740,0 m, co jest odzwierciedleniem granicy pomiędzy piaskowcami a łupkami pstryimi (formacja łupków z Łabowej) warstw magurskich. Kolejny istotny kontrast prędkościowy zaobserwowano na głęb. 1120,0 m, w obrębie warstw inoceramowych, gdzie prędkość kompleksowa wzrasta z 3913 m/s do 4099 m/s. Widoczny wzrost prędkości może być związany z występowaniem wkładek piaskowców wapnistych w obrębie mułowców i iłowców o znacznie niższych prędkościach średnich. Na głębokości 1240,0 m zaobserwowano natomiast znaczący spadek prędkości fali P, z 4099 m/s do 3870 m/s, co jest efektem zmiany litologii w obrębie warstw inoceramowych z kompleksu gruboławicowych piaskowców do łupków. Kolejny istotny kontrast prędkościowy zaznacza się na głęb. 1400,0 m, gdzie prędkość średnia wzrasta z 3870 m/s do 4100 m/s. Ten kontrast jest zapewne wynikiem zmiany litologii z mułowców warstw inoceramowych do facji ciemnych łupków (warstwy z Gołyni). Duży wzrost prędkości kompleksowej zaobserwowano natomiast na głęb. 1500,0 m, gdzie wartość tego parametru zmienia się z 4100 m/s do 4734 m/s. Wykryty kontrast odpowiada granicy stratygraficznej pomiędzy łupkami warstw z Gołyni (paleocen) i piaskowcom wapnistym warstw inoceramowych (kreda górna–paleocen). Poniżej widocznej granicy następuje powolny spadek prędkości kompleksowej, z istotnym kontrastem na głęb. 1760,0 m, gdzie występuje kontakt warstw inoceramowych serii magurskiej (górna kreda/paleocen) z warstwami krośnieńskimi serii śląskiej (oligocen). Znaczący spadek prędkości fali zaobserwowano również na głęb. 2060,0 m, gdzie średnia dla kompleksu powyżej danej głębokości wynosi 4257 m/s natomiast poniżej 3885 m/s. Tak wyraźny

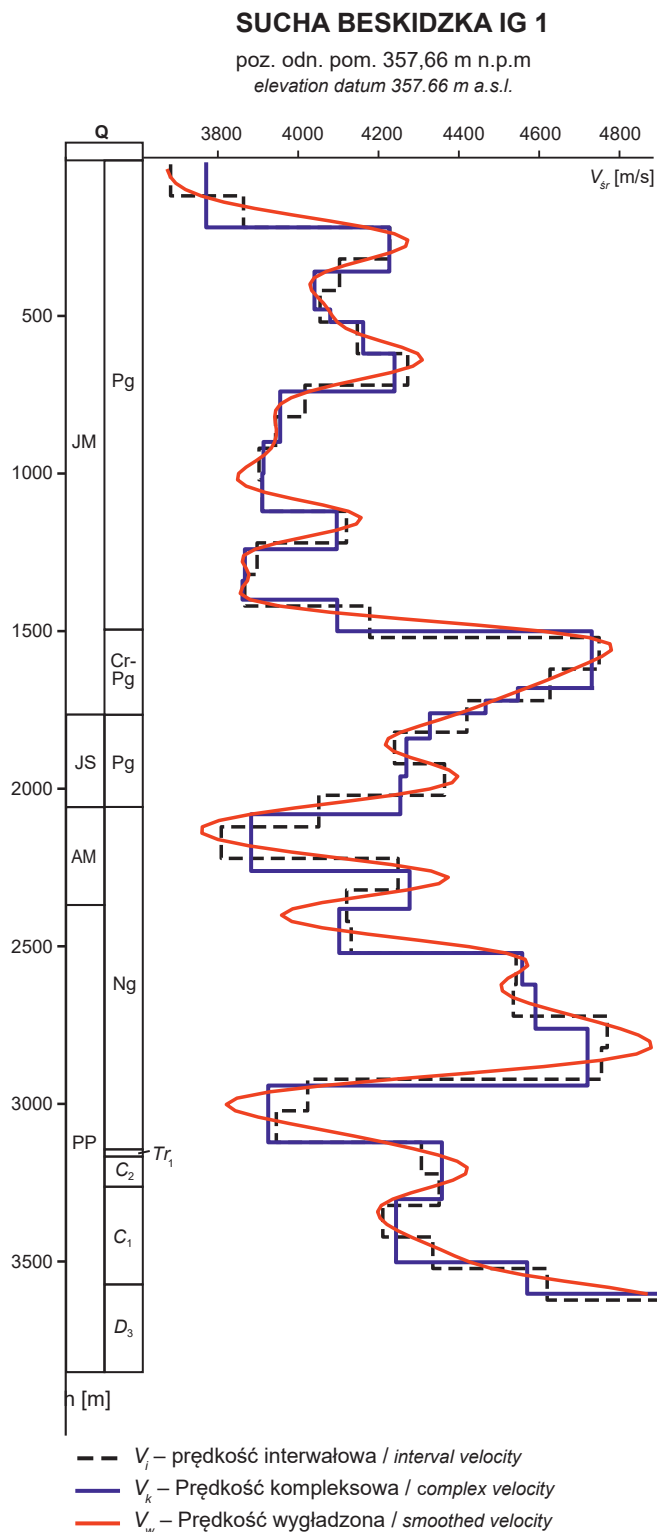


Fig. 38. Wykresy prędkości interwałowych (V_i), prędkości kompleksowych (V_k) i prędkości wygładzonych (V_w) dla otworu Sucha Beskidzka IG 1 (poz. odn. 357,66 m n.p.m.). Objasnienia stratygraficzne jak na figurze 39

Interval velocity (V_i), complex velocity (V_k) and smoothed velocity (V_w) (reference level 357.66 m a.s.l.). Stratigraphical explanations as in Figure 39

kontrast prędkościowy jest związany z granicą pomiędzy zbitymi mułowcami wapnistymi i piaskowcami warstw krosnieńskich oraz brekcją sedimentacyjno-tektoniczną w stropowej części allochtonicznych utworów typu molasowego. Następnie, wyraźny wzrost średniej prędkości z 3885 m/s do 4280 m/s zaobserwowano na głęb. 2260,0 m co jest związane z granicą pomiędzy mułowcami wapnistymi formacji ze Skawiny oraz piaskowcami i zlepieńcami formacji z Dębowca, charakteryzującymi się znacznie wyższą prędkością przebiegu fali sejsmicznej. Granicę kolejnego kompleksu prędkościowego zaobserwowano na głęb. 2380,0 m, gdzie średnia prędkość przebiegu fali spada z 4280 m/s do 4105 m/s. Zaobserwowany kontrast prędkościowy na tej głębokości odpowiada granicy pomiędzy piaskowcami i zlepieńcami allochtonicznego miocenu (baden środkowy) oraz mułowcami wapnistymi formacji ze Skawiny, znajdującymi się w stropowej części podłoża Karpat. Znaczący wzrost średniej prędkości (z 4105 m/s do 4560 m/s) jest widoczny również na głęb. 2520,0 m, co może być efektem występowania zlepieńców podstawowych o podwyższonych prędkościach w strefie granicznej pomiędzy formacją z Dębowca a formacją ze Stryżawy. Następnie w profilu są widoczne dwa kolejne kompleksy prędkościowe, gdzie średnia prędkość fali P stopniowo wzrasta z 4560 m/s do 4593 m/s oraz do 4723 m/s na głęb. 2760,0 m. Wyznaczone kompleksy prędkościowe odpowiadają mułowcom wapnistym ogniwa z Bielska (formacja ze Stryżawy), a widoczne kontrasty prędkościowe są najpewniej związane ze zmiennym udziałem wkładek piaskowców i mułowców w obrębie tego kompleksu. Bardzo wyraźny spadek średniej prędkości z 4723 m/s do 3928 m/s zaobserwowano na głęb. 2940,0 m co jest związane z granicą pomiędzy wysokoprędkościowym kompleksem zlepieńców i piaskowców ze Stachorówki oraz niskoprędkościowymi mułowcami wapnistymi formacji z Suchej. Granica kolejnego kompleksu prędkościowego, gdzie zanotowano wzrost średniej prędkości z 3928 m/s do 4361 m/s znajduje się na głęb. 3120,0 m, gdzie na profilu zaznacza się granica pomiędzy kompleksami olistotromowymi miocenu dolnego Karpat oraz piaskowcami dolnego triasu. Poniżej, na głęb. 3300,0–3480,0 m zaznacza się kolejny kompleks prędkościowy o nieznacznie niższej średniej prędkości wynoszącej 4246 m/s, który w profilu odpowiada mułowcom i iłowcom górnego karbonu. Niżej w profilu, na głęb. 3500,0 m zaznacza się wyraźny wzrost średniej prędkości z 4246 m/s do 4573 m/s, co może być odzwierciedlaniem granicy pomiędzy karbonem górnym i dolnym. Ostatnią, w badanym profilu, granicę kompleksów prędkościowych zaobserwowano na głęb. 3600,0 m, gdzie wartość średniej prędkości wzrasta znacząco z 4573 m/s do 4904 m/s. Taki wzrost prędkości fali P jest związany z przej-

ściem od mułowców i iłowców dolnego karbonu do wysoko-
prędkościowych wapieni i wapieni dolomitycznych dewonu
górnego.

Podsumowując przedstawioną powyżej analizę wyników pomiarów prędkości średnich w otworze Sucha Beskidzka IG 1, zmienność wartości prędkości kompleksowych w poszczególnych jednostkach wygląda następująco (w m/s):

- a) seria magurska (JM):
 - Pg: 3774 – 4230 – 4043 – 4082 – 4164 – 4243 – 3958 – 3916 – 4099 – 3867 – 4100
 - Cr – Pg: 4734 – 4469;
- b) seria śląska (JS):
 - Pg: 4331 – 4272 – 4257;
- c) allochtoniczne utwory typu molasowego (AM):
 - Ng: 3885 – 4280;
- d) podłoże platformowe Karpat (PP):
 - Ng: 4105 – 4560 – 4593 – 4272 – 4257 – 3885 – 4280 – 4105 – 4560 – 4593 – 4723 – 3928 – 3928;
 - Tr₁: 4361;
 - C₂: 4361;
 - C₁: 4361 – 4246 – 4572;
 - D₃: 4904.

Na podstawie przeprowadzonej analizy i otrzymanych wyników dla prędkości kompleksowych jest możliwa identyfikacja najwyraźniejszych odbić refleksyjnych na profilach sejsmicznych i ich późniejsze dowiązanie do odpowiednich jednostek litostratygraficznych. W przypadku badanego otworu, szczególnie wyraźne będą dodatnie refleksy odpowiadające warstwom inoceramowym serii magurskiej oraz zlepieńcom podstawowym dolnego miocenu podłoża Karpat. Z kolei najwyraźniejsze refleksy ujemne będą odpowiadać brekcji sedimentacyjno-tektonicznej w stropowej części allochtonicznych utworów typu molasowego oraz mułowcom wapnistym formacji z Suchej.

Wyniki obliczeń wykonanych w ramach tego opracowania pozwolą na uaktualnienie modelu prędkościowego, który jest kluczową częścią opracowania interpretacji sejsmicznych w najbliższym otoczeniu otworu Sucha Beskidzka IG 1. Dokładny i aktualny model prędkości dla tego otworu jest szczególnie istotny ze względu na trudności w przetwarzaniu i interpretacji danych sejsmicznych w rejonie Karpat zewnętrznych. Wykonanie pomiarów prędkości średnich do głęb. 3620,0 m pozwoli na wykonanie korelacji i przyporządkowanie poziomów refleksyjnych na przekrojach geologicznych poszczególnym piętrami i granicom w szerokim zakresie wydziałów stratygraficznych od czwartorzędu do górnego dewonu, ze szczególnym uwzględnieniem wewnętrznego podziału na jednostki strukturalne w obrębie badanego rejonu Karpat.

Tabela 17

Zestawienie wartości czasów pomierzonych z trzech punktów wzbudzenia (t_{r1} , t_{r2} i t_{r3}), 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_{r1} , t_{r2} and t_{r3}), reduced time (t_r) and values of the average velocity (V_{sr}) for a measured depth (h)

h [m]	t_{r1} [s]	t_{r2} [s]	t_{r3} [s]	t_r [s]	V_{sr} [m/s]
202	0,055	0	0	0,055	3739,128
217	0,058	0	0	0,058	3769,19
232	0,061	0	0	0,061	3785,94
247	0,064	0	0	0,064	3831,677
262	0,068	0	0	0,068	3872,59
277	0,071	0	0	0,071	3899,114
292	0,074	0	0	0,074	3922,3
307	0,078	0	0	0,078	3954,093
322	0,081	0	0	0,081	3964,823
337	0,084	0	0	0,084	3964,881
352	0,089	0	0	0,089	3965,33
367	0,093	0	0	0,093	3964,268
382	0,097	0	0	0,097	3954,195
397	0,1	0	0	0,1	3953,925
412	0,104	0	0	0,104	3953,963
427	0,108	0	0	0,108	3961,117
442	0,112	0	0	0,112	3960,394
457	0,115	0	0	0,115	3959,956
472	0,119	0	0	0,119	3966,041
487	0,123	0	0	0,123	3978,306
502	0,126	0	0	0,126	3983,523
517	0,129	0	0	0,129	3988,786
532	0,133	0	0	0,133	3994,079
547	0,137	0	0	0,137	3993,116
562	0,141	0	0	0,141	3986,196
577	0,145	0	0	0,145	3979,66
592	0,149	0	0	0,149	3978,556
607	0,153	0	0	0,153	3987,722
622	0,156	0	0	0,156	4001,798
637	0,158	0	0	0,158	4020,582
652	0,161	0	0	0,161	4043,884
667	0,164	0	0	0,164	4052,228
682	0,167	0	0	0,167	4054,99
697	0,173	0	0	0,173	4057,343
712	0,176	0	0	0,176	4054,857
727	0,179	0	0	0,179	4052,069

Tabela 17 cd.

<i>h [m]</i>	<i>t_r1 [s]</i>	<i>tr2 [s]</i>	<i>t_r3 [s]</i>	<i>t_r [s]</i>	<i>V_{sr} [m/s]</i>
742	0,183	0	0	0,183	4058,92
757	0,186	0	0	0,186	4052,891
772	0,19	0	0	0,19	4046,63
787	0,196	0	0	0,196	4040,628
802	0,199	0	0	0,199	4034,416
817	0,203	0	0	0,203	4028,451
832	0,206	0	0	0,206	4034,78
847	0,21	0	0	0,21	4037,044
862	0,213	0	0	0,213	4035,722
877	0,217	0	0	0,217	4034,177
892	0,222	0	0	0,222	4032,751
907	0,225	0	0	0,225	4027,653
922	0,229	0	0	0,229	4022,733
937	0,233	0	0	0,233	4021,619
952	0,237	0	0	0,237	4023,628
967	0,241	0	0	0,241	4028,957
982	0,243	0	0	0,243	4027,839
997	0,246	0	0	0,246	4023,686
1012	0,252	0	0	0,252	4022,734
1027	0,257	0	0	0,257	4012,24
1042	0,26	0	0	0,26	4001,671
1057	0,265	0	0	0,265	3997,761
1072	0,268	0	0	0,268	3997,09
1087	0,272	0	0	0,272	3993,408
1102	0,276	0	0	0,276	3995,673
1117	0,28	0	0	0,28	3997,77
1132	0,283	0	0	0,283	4005,45
1147	0,286	0	0	0,286	4010,312
1162	0,288	0	0	0,288	4020,591
1177	0,293	0	0	0,293	4025,258
1192	0,295	0	0	0,295	4029,76
1207	0,3	0	0	0,3	4028,679
1222	0,303	0	0	0,303	4027,83
1237	0,307	0	0	0,307	4021,593
1252	0,312	0	0	0,312	4018,177
1267	0,316	0	0	0,316	4004,848
1282	0,32	0	0	0,32	3998,985
1297	0,327	0	0	0,327	3998,234
1312	0,328	0	0	0,328	3999,928

Tabela 17 cd.

h [m]	t_r 1 [s]	$tr2$ [s]	t_r 3 [s]	t_r [s]	V_{sr} [m/s]
1327	0,331	0	0	0,331	3999,268
1342	0,334	0	0	0,334	4010,688
1357	0,339	0	0	0,339	4012,422
1372	0,341	0	0	0,341	4011,752
1387	0,346	0	0	0,346	4010,992
1402	0,35	0	0	0,35	4001,562
1417	0,353	0	0	0,353	3989,747
1432	0,362	0	0	0,362	3978,283
1447	0,365	0	0	0,365	3971,226
1462	0,37	0	0	0,37	3972,706
1477	0,372	0	0	0,372	3985,279
1492	0,371	0	0	0,371	3995,569
1507	0,375	0	0	0,375	4012,122
1522	0,379	0	0	0,379	4028,48
1537	0,381	0	0	0,381	4031,9
1552	0,383	0	0	0,383	4033,255
1567	0,388	0	0	0,388	4038,697
1582	0,393	0	0	0,393	4041,923
1597	0,395	0	0	0,395	4044,979
1612	0,398	0	0	0,398	4052,135
1627	0,4	0	0	0,4	4059,301
1642	0,403	0	0	0,403	4064,319
1657	0,408	0	0	0,408	4071,218
1672	0,411	0	0	0,411	4074,025
1687	0,413	0	0	0,413	4076,755
1702	0,417	0	0	0,417	4081,482
1717	0,42	0	0	0,42	4086,123
1732	0,424	0	0	0,424	4086,808
1747	0,427	0	0	0,427	4089,395
1762	0,431	0	0	0,431	4090,04
1777	0,434	0	0	0,434	4092,56
1792	0,438	0	0	0,438	4096,867
1807	0,441	0	0	0,441	4103
1822	0,443	0	0	0,443	4105,392
1837	0,446	0	0	0,446	4105,987
1852	0,451	0	0	0,451	4102,972
1867	0,456	0	0	0,456	4099,837
1882	0,461	0	0	0,461	4096,671
1897	0,463	0	0	0,463	4093,644

Tabela 17 cd.

<i>h [m]</i>	<i>t_{r1} [s]</i>	<i>tr2 [s]</i>	<i>t_{r3} [s]</i>	<i>t_r [s]</i>	<i>V_{sr} [m/s]</i>
1912	0,466	0	0	0,466	4097,666
1927	0,471	0	0	0,471	4105,18
1942	0,472	0	0	0,472	4109,123
1957	0,475	0	0	0,475	4109,597
1972	0,479	0	0	0,479	4113,514
1987	0,484	0	0	0,484	4113,898
2002	0,487	0	0	0,487	4117,597
2017	0,49	0	0	0,49	4119,618
2032	0,491	0	0	0,491	4124,997
2047	0,496	0	0	0,496	4131,962
2062	0,499	0	0	0,499	4133,943
2077	0,501	0	0	0,501	4124,497
2092	0,507	0	0	0,507	4118,399
2107	0,515	0	0	0,515	4113,869
2122	0,518	0	0	0,518	4104,537
2137	0,52	0	0	0,52	4100,123
2152	0,525	0	0	0,525	4103,717
2167	0,528	0	0	0,528	4099,625
2182	0,531	0	0	0,531	4093,938
2197	0,539	0	0	0,539	4094,386
2212	0,542	0	0	0,542	4090,311
2227	0,543	0	0	0,543	4086,219
2242	0,549	0	0	0,549	4091,222
2257	0,552	0	0	0,552	4096,171
2272	0,554	0	0	0,554	4098,056
2287	0,557	0	0	0,557	4104,389
2302	0,56	0	0	0,56	4109,21
2317	0,563	0	0	0,563	4113,949
2332	0,567	0	0	0,567	4118,639
2347	0,569	0	0	0,569	4113,334
2362	0,572	0	0	0,572	4115,071
2377	0,582	0	0	0,582	4112,598
2392	0,58	0	0	0,58	4108,659
2407	0,587	0	0	0,587	4101,945
2422	0,59	0	0	0,59	4103,804
2437	0,595	0	0	0,595	4097,219
2452	0,599	0	0	0,599	4096,258
2467	0,603	0	0	0,603	4093,93
2482	0,606	0	0	0,606	4097,029

Tabela 17 cd.

h [m]	t_{r1} [s]	$tr2$ [s]	t_{r3} [s]	t_r [s]	V_{sr} [m/s]
2497	0,61	0	0	0,61	4100,12
2512	0,611	0	0	0,611	4105,865
2527	0,615	0	0	0,615	4110,233
2542	0,617	0	0	0,617	4115,904
2557	0,621	0	0	0,621	4117,53
2572	0,624	0	0	0,624	4120,464
2587	0,628	0	0	0,628	4123,334
2602	0,631	0	0	0,631	4124,902
2617	0,633	0	0	0,633	4123,871
2632	0,638	0	0	0,638	4125,412
2647	0,643	0	0	0,643	4126,924
2662	0,645	0	0	0,645	4125,834
2677	0,648	0	0	0,648	4129,852
2692	0,652	0	0	0,652	4133,88
2707	0,653	0	0	0,653	4135,342
2722	0,658	0	0	0,658	4138,023
2737	0,662	0	0	0,662	4141,941
2752	0,664	0	0	0,664	4144,534
2767	0,667	0	0	0,667	4147,148
2782	0,669	0	0	0,669	4150,984
2797	0,674	0	0	0,674	4154,763
2812	0,677	0	0	0,677	4158,509
2827	0,679	0	0	0,679	4158,553
2842	0,682	0	0	0,682	4163,466
2857	0,687	0	0	0,687	4169,554
2872	0,688	0	0	0,688	4174,377
2887	0,69	0	0	0,69	4179,164
2902	0,693	0	0	0,693	4183,951
2917	0,696	0	0	0,696	4183,911
2932	0,701	0	0	0,701	4182,643
2947	0,706	0	0	0,706	4183,716
2962	0,709	0	0	0,709	4181,252
2977	0,71	0	0	0,71	4175,396
2992	0,716	0	0	0,716	4168,497
3007	0,724	0	0	0,724	4165,009
3022	0,73	0	0	0,73	4161,438
3037	0,73	0	0	0,73	4156,849
3052	0,731	0	0	0,731	4159,159
3067	0,738	0	0	0,738	4162,623

Tabela 17 cd.

<i>h [m]</i>	<i>t_{r1} [s]</i>	<i>tr2 [s]</i>	<i>t_{r3} [s]</i>	<i>t_r [s]</i>	<i>V_{sr} [m/s]</i>
3082	0,74	0	0	0,74	4162,654
3097	0,745	0	0	0,745	4159,282
3112	0,748	0	0	0,748	4159,334
3127	0,752	0	0	0,752	4158,245
3142	0,756	0	0	0,756	4159,381
3157	0,759	0	0	0,759	4162,682
3172	0,762	0	0	0,762	4161,643
3187	0,763	0	0	0,763	4164,927
3202	0,771	0	0	0,771	4167,107
3217	0,771	0	0	0,771	4167,125
3232	0,775	0	0	0,775	4168,149
3247	0,78	0	0	0,78	4172,444
3262	0,78	0	0	0,78	4171,361
3277	0,785	0	0	0,785	4173,453
3292	0,79	0	0	0,79	4176,612
3307	0,791	0	0	0,791	4171,335
3322	0,795	0	0	0,795	4169,226
3337	0,803	0	0	0,803	4169,224
3352	0,805	0	0	0,805	4169,161
3367	0,808	0	0	0,808	4172,203
3382	0,809	0	0	0,809	4174,281
3397	0,81	0	0	0,81	4173,283
3412	0,819	0	0	0,819	4173,281
3427	0,824	0	0	0,824	4170,199
3442	0,826	0	0	0,826	4168,06
3457	0,83	0	0	0,83	4170,058
3472	0,83	0	0	0,83	4175,06
3487	0,835	0	0	0,835	4177,038
3502	0,837	0	0	0,837	4181,986
3517	0,842	0	0	0,842	4181,916
3532	0,843	0	0	0,843	4179,923
3547	0,848	0	0	0,848	4177,897
3562	0,855	0	0	0,855	4177,854
3577	0,857	0	0	0,857	4177,757
3592	0,86	0	0	0,86	4179,627
3607	0,861	0	0	0,861	4183,013
3622	0,864	0	0	0,864	4186,063

Tabela 18

Zestawienie wartości głębokości (h), prędkości interwałowej (V_i), prędkości kompleksowej (V_k) oraz prędkości wygładzonej (V_w)Values of the measured depth (h), interval velocity (V_i), complex velocity (V_k) and smoothed velocity (V_w)

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
20	3685,006	3773,585	
40	3685,006	3773,585	3677,823
60	3685,006	3773,585	3684,598
80	3685,006	3773,585	3697,883
100	3685,006	3773,585	3721,969
120	3866,527	3773,585	3760,812
140	3866,527	3773,585	3817,887
160	3866,527	3773,585	3894,46
180	3866,527	3773,585	3986,049
200	3866,527	3773,585	4083,299
220	4230,655	4229,522	4173,623
240	4230,655	4229,522	4241,782
260	4230,655	4229,522	4275,331
280	4230,655	4229,522	4270,311
300	4230,655	4229,522	4232,804
320	4105,596	4229,522	4177,546
340	4105,596	4229,522	4119,889
360	4105,596	4043,181	4072,076
380	4105,596	4043,181	4042,446
400	4105,596	4043,181	4031,852
420	4057,124	4043,181	4036,327
440	4057,124	4043,181	4050,223
460	4057,124	4043,181	4065,454
480	4057,124	4082,466	4077,472
500	4057,124	4082,466	4087,472
520	4149,894	4164,498	4100,041
540	4149,894	4164,498	4121,587
560	4149,894	4164,498	4158,436
580	4149,894	4164,498	4208,311
600	4149,894	4164,498	4260,758
620	4275,331	4242,501	4300,151
640	4275,331	4242,501	4311,739
660	4275,331	4242,501	4288,165
680	4275,331	4242,501	4234,148
700	4275,331	4242,501	4163,631
720	4019,616	4242,501	4091,235

Tabela 18 cd.

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
740	4019,616	3957,821	4029,821
760	4019,616	3957,821	3985,255
780	4019,616	3957,821	3958,436
800	4019,616	3957,821	3946,719
820	3946,33	3957,821	3944,384
840	3946,33	3957,821	3945,941
860	3946,33	3957,821	3948,278
880	3946,33	3957,821	3947,888
900	3946,33	3916,385	3943,995
920	3905,182	3916,385	3935,458
940	3905,182	3916,385	3919,647
960	3905,182	3916,385	3897,496
980	3905,182	3916,385	3872,967
1000	3905,182	3913,282	3854,307
1020	3913,282	3913,282	3851,709
1040	3913,282	3913,282	3872,967
1060	3913,282	3913,282	3920,416
1080	3913,282	3913,282	3988,831
1100	3913,282	3913,282	4064,628
1120	4122,861	4098,697	4127,967
1140	4122,861	4098,697	4159,301
1160	4122,861	4098,697	4147,657
1180	4122,861	4098,697	4097,101
1200	4122,861	4098,697	4024,55
1220	3900,308	4098,697	3951,398
1240	3900,308	3869,969	3895,598
1260	3900,308	3869,969	3866,976
1280	3900,308	3869,969	3863,614
1300	3900,308	3869,969	3872,967
1320	3869,67	3869,969	3880,105
1340	3869,67	3863,988	3876,345
1360	3869,67	3863,988	3863,988
1380	3869,67	3863,988	3858,397
1400	3869,67	4099,831	3882,741
1420	4180,777	4099,831	3955,305
1440	4180,777	4099,831	4082,883
1460	4180,777	4099,831	4255,319
1480	4180,777	4099,831	4443,951

Tabela 18 cd.

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
1500	4180,777	4733,568	4611,483
1520	4751,948	4733,568	4726,456
1540	4751,948	4733,568	4778,973
1560	4751,948	4733,568	4782,401
1580	4751,948	4733,568	4758,506
1600	4751,948	4733,568	4724,781
1620	4629,63	4733,568	4688,233
1640	4629,63	4733,568	4651,163
1660	4629,63	4733,568	4612,546
1680	4629,63	4549,591	4570,906
1700	4629,63	4549,591	4528,986
1720	4422,626	4469,274	4488,834
1740	4422,626	4469,274	4447,904
1760	4422,626	4330,567	4403,831
1780	4422,626	4330,567	4356,349
1800	4422,626	4330,567	4305,705
1820	4242,501	4330,567	4258,49
1840	4242,501	4272,044	4226,989
1860	4242,501	4272,044	4219,854
1880	4242,501	4272,044	4239,534
1900	4242,501	4272,044	4281,738
1920	4367,003	4272,044	4333,694
1940	4367,003	4272,044	4378,284
1960	4367,003	4256,949	4399,956
1980	4367,003	4256,949	4385,965
2000	4367,003	4256,949	4329,942
2020	4053,999	4256,949	4236,839
2040	4053,999	4256,949	4119,04
2060	4053,999	4256,949	3994,807
2080	4053,999	3885,476	3885,004
2100	4053,999	3885,476	3805,537
2120	3811,121	3885,476	3763,997
2140	3811,121	3885,476	3762,935
2160	3811,121	3885,476	3802,643
2180	3811,121	3885,476	3879,352
2200	3811,121	3885,476	3986,446
2220	4251,339	3885,476	4112,265
2240	4251,339	3885,476	4236,839

Tabela 18 cd.

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
2260	4251,339	4280,089	4333,694
2280	4251,339	4280,089	4376,368
2300	4251,339	4280,089	4353,031
2320	4123,371	4280,089	4274,418
2340	4123,371	4280,089	4166,667
2360	4123,371	4280,089	4062,563
2380	4123,371	4104,809	3988,831
2400	4123,371	4104,809	3961,18
2420	4134,623	4104,809	3986,843
2440	4134,623	4104,809	4062,563
2460	4134,623	4104,809	4175,365
2480	4134,623	4104,809	4305,705
2500	4134,623	4104,809	4428,698
2520	4545,248	4560,483	4520,285
2540	4545,248	4560,483	4567,774
2560	4545,248	4560,483	4574,042
2580	4545,248	4560,483	4553,216
2600	4545,248	4560,483	4524,887
2620	4538,235	4593,477	4508,058
2640	4538,235	4593,477	4511,109
2660	4538,235	4593,477	4535,662
2680	4538,235	4593,477	4579,279
2700	4538,235	4593,477	4634,457
2720	4772,131	4593,477	4693,734
2740	4772,131	4593,477	4751,158
2760	4772,131	4723,108	4804,805
2780	4772,131	4723,108	4849,661
2800	4772,131	4723,108	4878,049
2820	4757,827	4723,108	4881,621
2840	4757,827	4723,108	4844,961
2860	4757,827	4723,108	4755,677
2880	4757,827	4723,108	4613,61
2900	4757,827	4723,108	4433,115
2920	4026,251	4723,108	4240,882
2940	4026,251	3928,019	4065,867
2960	4026,251	3928,019	3931,59
2980	4026,251	3928,019	3850,226
3000	4026,251	3928,019	3823,726

Tabela 18 cd.

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
3020	3948,2	3928,019	3846,154
3040	3948,2	3928,019	3903,201
3060	3948,2	3928,019	3978,912
3080	3948,2	3928,019	4060,914
3100	3948,2	3928,019	4141,644
3120	4309,416	4360,505	4217,63
3140	4309,416	4360,505	4288,165
3160	4309,416	4360,505	4350,663
3180	4309,416	4360,505	4398,505
3200	4309,416	4360,505	4423,311
3220	4353,694	4360,505	4419,401
3240	4353,694	4360,505	4387,889
3260	4353,694	4360,505	4338,395
3280	4353,694	4360,505	4284,031
3300	4353,694	4246,285	4238,186
3320	4213,365	4246,285	4209,64
3340	4213,365	4246,285	4200,357
3360	4213,365	4246,285	4206,541
3380	4213,365	4246,285	4223,419
3400	4213,365	4246,285	4250,345
3420	4337,83	4246,285	4283,572
3440	4337,83	4246,285	4320,588
3460	4337,83	4246,285	4357,298
3480	4337,83	4246,285	4392,226
3500	4337,83	4572,735	4431,151
3520	4622,567	4572,735	4484,305
3540	4622,567	4572,735	4562,044
3560	4622,567	4572,735	4664,723
3580	4622,567	4572,735	4777,26
3600	4622,567	4904,365	4868,549
3620	4904,365	4904,365	

Olga ROSOWIECKA

MAGNETOTELLURYKA I GRAWIMETRIA

MAGNETOTELLURYKA

Obszar karpacki jest chyba najlepiej rozpoznany magnetotellurycznie rejonem Polski. Badania takie rozpoczęto w latach 80. XX w., projektem o regionalnym zasięgu (Molek, Oraczewski, 1987, 1988). Lokalizacje sondowań magnetotellurycznych w sąsiedztwie otworu Sucha Beskidzka IG 1 zaznaczono na figurze 39. W wyniku przeprowadzonych prac m.in. skonstruowano mapę głębokości horyzontu magnetotellurycznego wiązanego ze skonsolidowanym podłożem fliszu. Zauważono również, że na badanym obszarze złoża gazu ziemnego generalnie grupują się wzdłuż izolinii wyznaczonych przez podwyższone wartości ρ_{yx} , czego przykładem jest wysokooporowa lokalna anomalia w rejonie złoża Lachowice–Stryżawa (fig. 40).

Pod koniec lat 90. XX w., w bezpośrednim sąsiedztwie otworu Sucha Beskidzka IG 1, zrealizowano profil Zawoja–Potrójna o długości 16,5 km (Stefaniuk i in., 1998). Wyniki przedstawiono w formie przekroju geoelektrycznego (fig. 41)

– rozkładu oporności elektrycznej – sięgającego głębokości 15 km. Wydzielono na nim dwa główne kompleksy o wyraźnym różnym charakterze rozkładu oporności, rozdzielone jednolitym kompleksem niskooporowym (~15 Ω m), obejmującym serię podśląską, dolne partie serii śląskiej i miocenu autochtoniczny, leżący poniżej nasunięcia karpackiego. Kompleks górny charakteryzuje się dużą zmiennością oporności szczególnie wyraźną w części płytkiej, przy czym oporności mieszczą się w granicach 2–500 Ω m i generalnie odpowiada serii magurskiej oraz (w południowej i północnej części profilu) górnej partii serii śląskiej (Stefaniuk i in., 1998).

Odmienny charakter rozkładu oporności obserwuje się w dolnym, wysokooporowym kompleksie, którego strop odpowiada granicy pomiędzy utworami miocenu i karbonu górnego. Zaproponowano obecność przynajmniej dwóch dużych stref uskokowych, wygasających w wyżej leżących

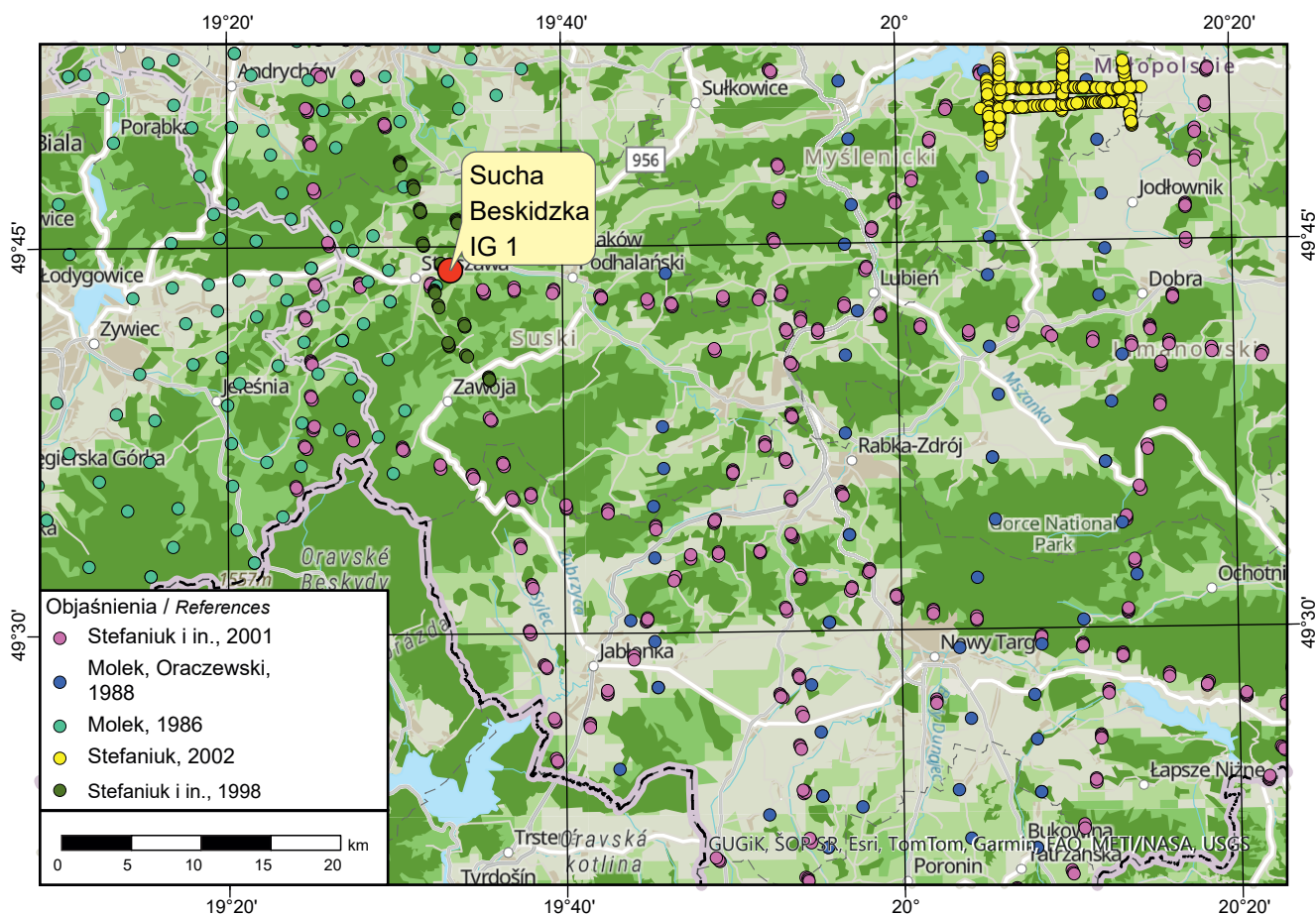


Fig. 39. Lokalizacja badań magnetotellurycznych

Location of magnetotelluric survey

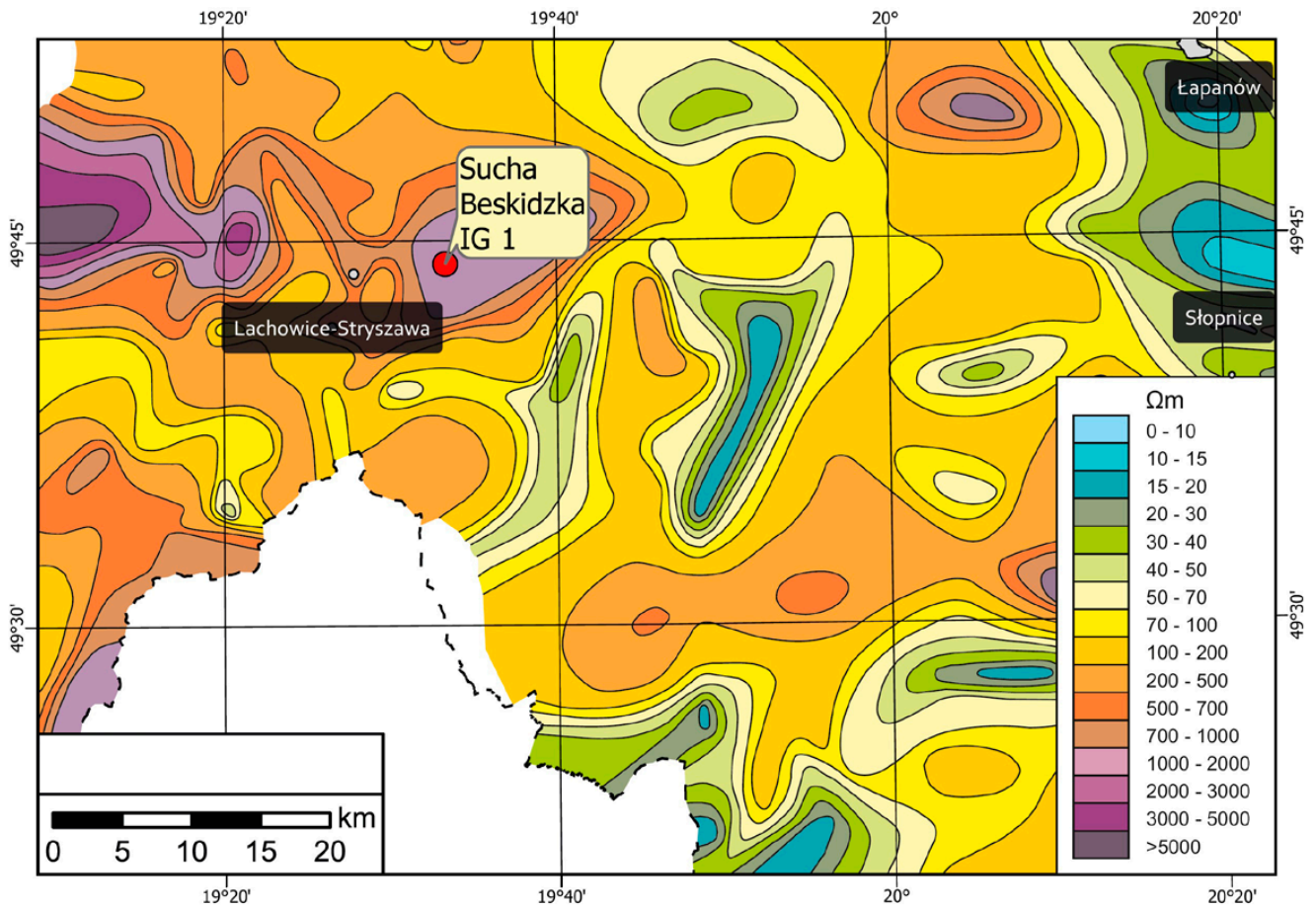


Fig. 40. Mapa oporności pozornych ρ_{yx} dla T-36s (Molek, Oraczewski, 1988)

Map of apparent resistance ρ_{yx} for T-36s (Molek, Oraczewski, 1988)

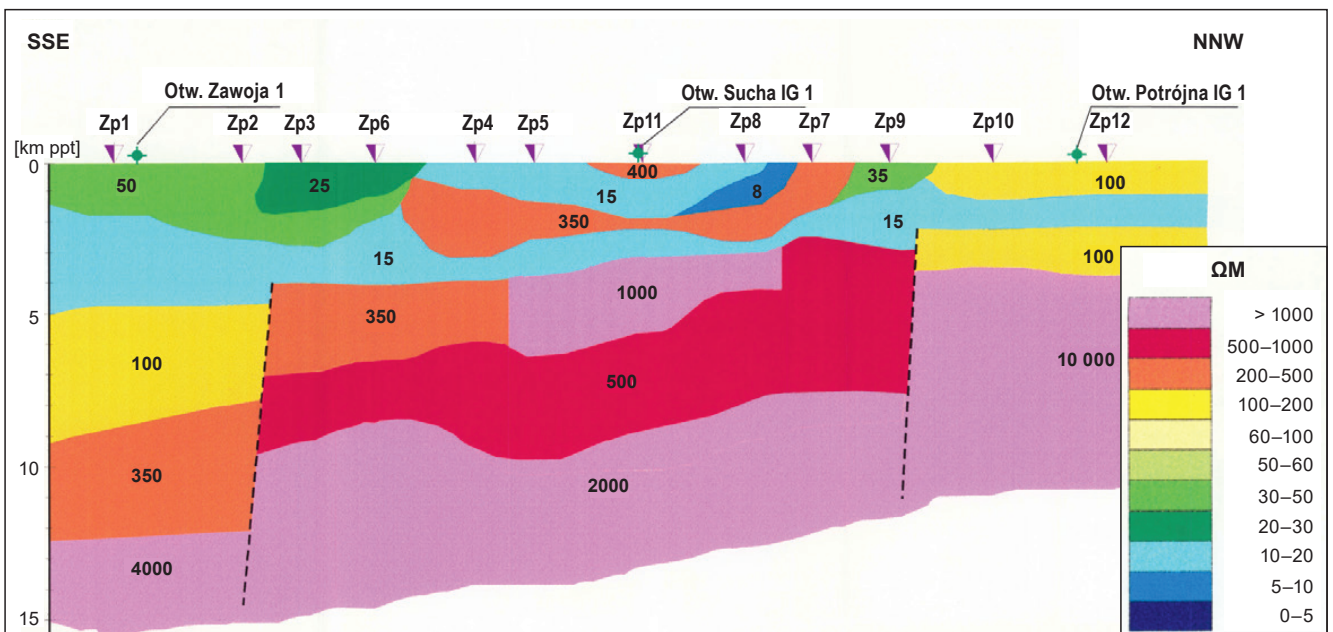


Fig. 41. Przekrój geoelektryczny wzdłuż profilu Zawoja-Potrójna (Stefaniuk i in., 1998)

Geo-electrical cross-section along the profile of Zawoja-Potrójna (Stefaniuk *et al.*, 1998)

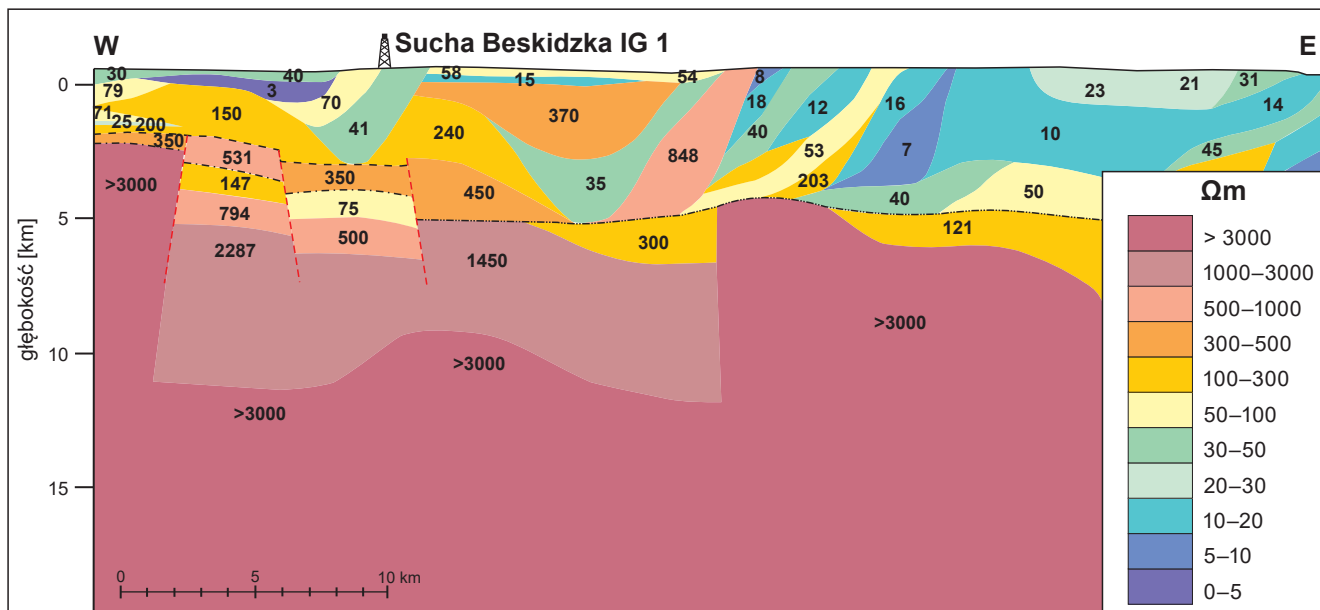


Fig. 42. Fragment przekroju geoelektrycznego wzdłuż profilu Bielsko Biała–Grybów (nr 21) (Stefaniuk i in., 2001)

Fragment of a geoelectric cross-section along the Bielsko Biała–Grybów profile (no. 21) (Stefaniuk *et al.*, 2001)

utworach miocenu. Komplex karboński jest cienki i charakteryzuje się zbliżonymi opornościami do leżących poniżej utworów dewonu, tak że nie może być przedmiotem wiarygodnej interpretacji ilościowej. Utwory karbonu i dewonu tworzą prawdopodobnie jeden kompleks wysokooporowy o zróżnicowanych opornościach, być może podzielony uskokiemi na mniejsze bloki. Poniżej tego kompleksu obserwuje się warstwę o relatywnie niskiej oporności, obcięta od północy uskokiemi. Poniżej tej warstwy pojawia się podłoże bardzo wysokooporowe, które prawdopodobnie należy wiązać ze skałami krystalicznymi.

Opisany powyżej profil Zawoja–Potrójna przecina się niemal prostopadłe z profilem Bielsko Biała–Grybów

(Stefaniuk i in., 2001). Podstawowa struktura przedstawiona na wynikowym przekroju geoelektrycznym (fig. 42) jest zgodna ze znaną z profilu Zawoja–Potrójna: górny, niskooporowy kompleks o dużej zmienności oporności, sięgający głębokości ok. 5 km i wysokooporowy kompleks dolny. Wartością dodaną jest natomiast uszczegółowienie obrazu tektonicznego w okolicach otworu Sucha Beskidzka IG 1 – wyznaczono tam trzy strefy tektoniczne, przy stosunkowo płytkim zaleganiu podłoża miocenu. Dodatkowo wyznaczono powierzchnie stropu dewonu (bloku o oporności 350 Ωm) i prekambru (bloki o oporności 75 Ωm) – oporność prekambru często jest niższa od oporności dewonu.

GRAWIMETRIA

Otwór Sucha Beskidzka IG 1 znajduje się na obszarze w całości pokrytym półszczegółowym zdjęciem grawimetrycznym, wykonanym w latach 70. XX wieku. Jest zlokalizowany na południowym skraju wyżu grawimetrycznego związanego z blokiem górnośląskim, ok. 20 km na północ od granicy niżu karpackiego. Lokalizację punktów grawimetrycznych w sąsiedztwie otworu Sucha Beskidzka IG 1 przedstawiono na figurze 43.

Północno-zachodnia część analizowanego obszaru została objęta zdjęciem rejonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (Reczek, 1973), natomiast w latach 1972–1977 wykonano zdjęcie Karpat Zachodnich (Reczek, 1978). Średnie zagęszczenie punktów pomiarowych w obu kampaniach wynosiło 4 pkt/km². W tym rejonie zrealizowano również kilka zdjęć o charakterze szczegółowym.

Na wschód od otworu Sucha Beskidzka IG 1 wykonano zdjęcia Raciechowice–Stadniki (Ostrowski i in., 2002) oraz

Tarnawa–Łąka–Czechów (Ostrowska i in., 2006). Zastosowano w nich zarówno metodę rozproszoną, jak i profilową. Krok pomiarowy na profilach wynosił 100 m, natomiast zagęszczenie punktów rozproszonych osiągało 6–10 pkt/km². Celem tych prac było odwzorowanie budowy geologicznej oraz udokumentowanie pułapek złożowych nasyconych węglowodorami, przede wszystkim w utworach mezozoicznych i paleozoicznych, a także w transgresywnie zalegających osadach miocenu.

Mapa anomalii w redukcji Bouguera (fig. 44) została wykreślona na bazie wymienionych wyżej półszczegółowych zdjęć, dla gęstości redukcji 2,67 g/cm³. Zgodnie z podziałem na jednostki grawimetryczne, przyjętym w „Atlasie grawimetrycznym Polski” (Królikowski, Petecki, 1995), analizowany obszar znajduje się w obrębie tak zwanego, niżu szczecińsko-mogileńskiego-miechowskiego, a dokładniej w jego

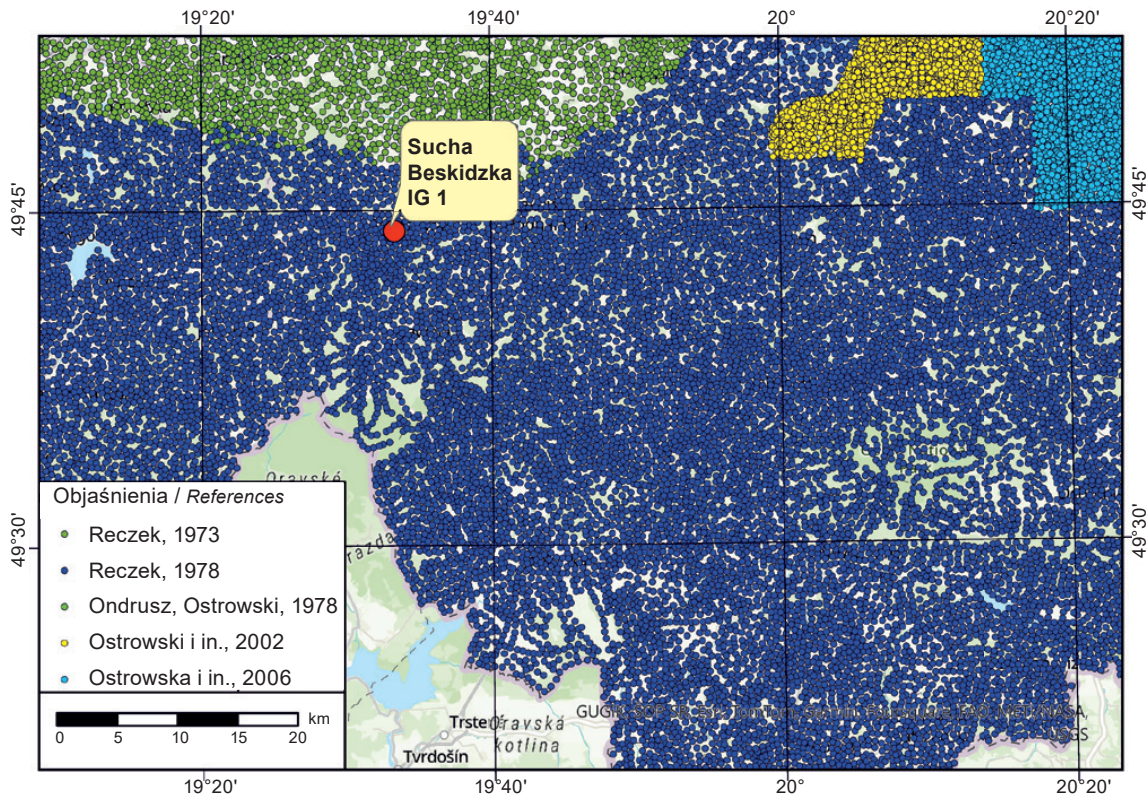


Fig. 43. Lokalizacja badań grawimetrycznych

Location of gravimetric studies

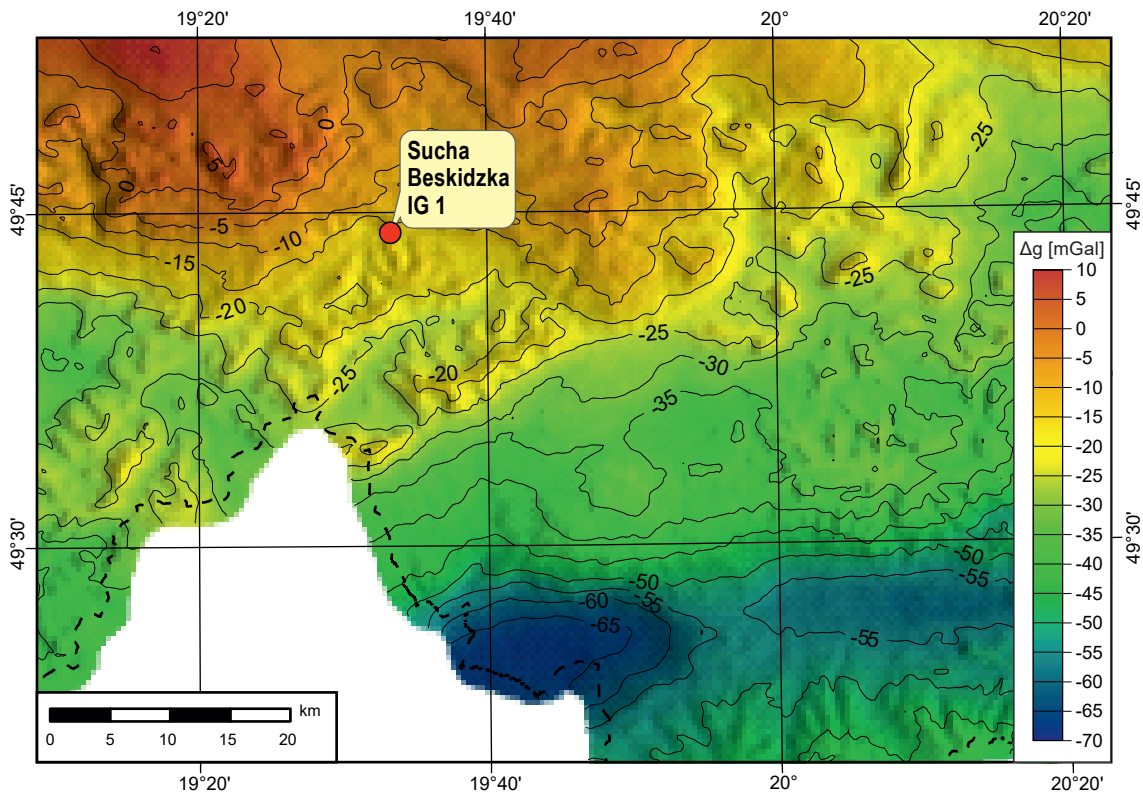


Fig. 44. Mapa anomalii grawimetrycznych w redukcji Bouguera
(na bazie zdjęcia półszczegółowego opisanego w tekście)

Map of gravity anomalies in the Bouguer reduction (based on the semi-detail photograph described in the text)

skrajnie południowej części czyli tak zwanej depresji Nidy, niespełna 10 km na północ od granicy z niżem karpackim. Niż karpacki to jedna głęboka anomalia ujemna o najniższej w kraju wartości pola grawitacyjnego, która to wartość jest rejestrowana w rejonie Chyżnego. Jednostka ta obejmuje Karpaty bez ich północno-zachodniej części.

Obraz anomalii Bouguera jest zdominowany silnym polem regionalnym, pochodzącym od głębokiego podłoża. Na trend regionalny, którego oś przebiega z południowego za-

chodu między Nowym Targiem i Zakopanem, dalej przez Stary Sącz do Krosna, Ustrzyki Dolne i dalej w kierunku Ukrainy, nakładają się drobniejsze formy anomalne o mniejszych amplitudach i lokalnym zasięgu, odwzorowujące elementy strukturalne i/lub litologiczne niższego rzędu (Lemberger i in., 2008). Formy te zostały pokazane na mapie anomalii rezydualnych siły ciężkości dla orientacyjnej głębokości śledzenia od 0 do 6 km (fig. 45). Wykazują ściśle związki ze zróżnicowanymi utworami fliszowymi.

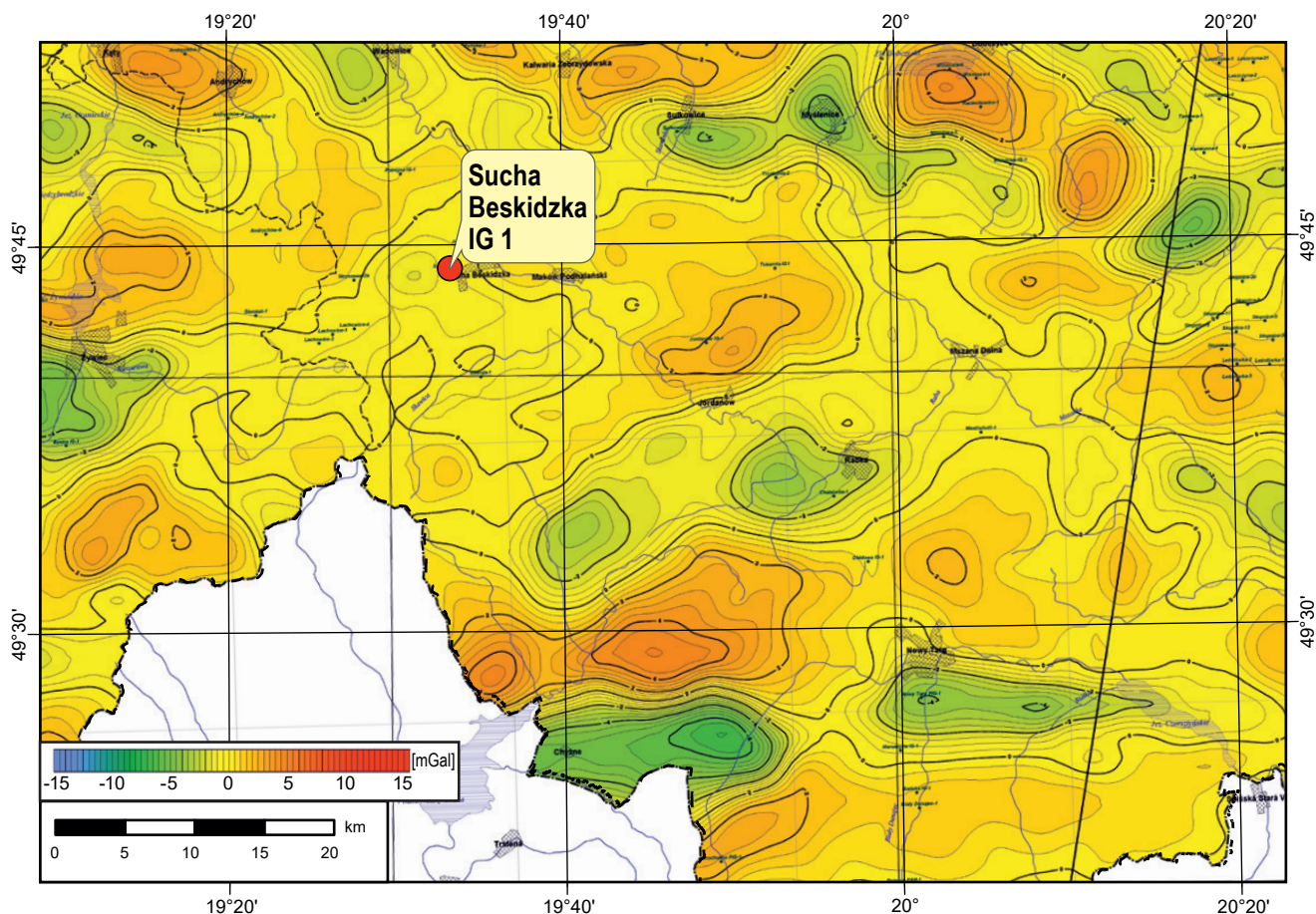


Fig. 45. Mapa grawimetryczna – anomalie rezydualne na podstawie filtracji częstotliwościowej dla orientacyjnej głębokości śledzenia od 0 km do 3 km p.p.m. (Lemberger i in., 2008)

Gravimetric map – residual anomalies based on frequency filtering for approximate tracking depths from 0 km to 3 km u.s.l. (Lemberger *et al.*, 2008)

Sylwia KIJEWSKA, Patryk BLADUSIAK

WYNIKI BADAŃ SEJSMIKI REFLEKSYJNEJ

Otwór Sucha Beskidzka IG 1 został odwiercony w obrębie polskich Karpat zewnętrznych, w zachodniej ich części. Do interpretacji budowy strukturalnej w okolicach otworu wybrano profil 14–1–87K (fig. 46), o przebiegu NNW–SSE, pomierzony w 1987 r. przez Geofizykę Kraków, oddalony niespełna 90 m od otworu.

Z powodu braku pomiarów krzywej akustycznej w pełnym zakresie głębokości, w celu dowiązania danych sejsmicznych i otworowych wykorzystano pomiary prędkości średnich, które okazały się wystarczające i umożliwiły stosunkowo dobre dopasowanie. W celu lepszej identyfikacji poszczególnych wydzielen na obrazie sejsmicznym wspomagano

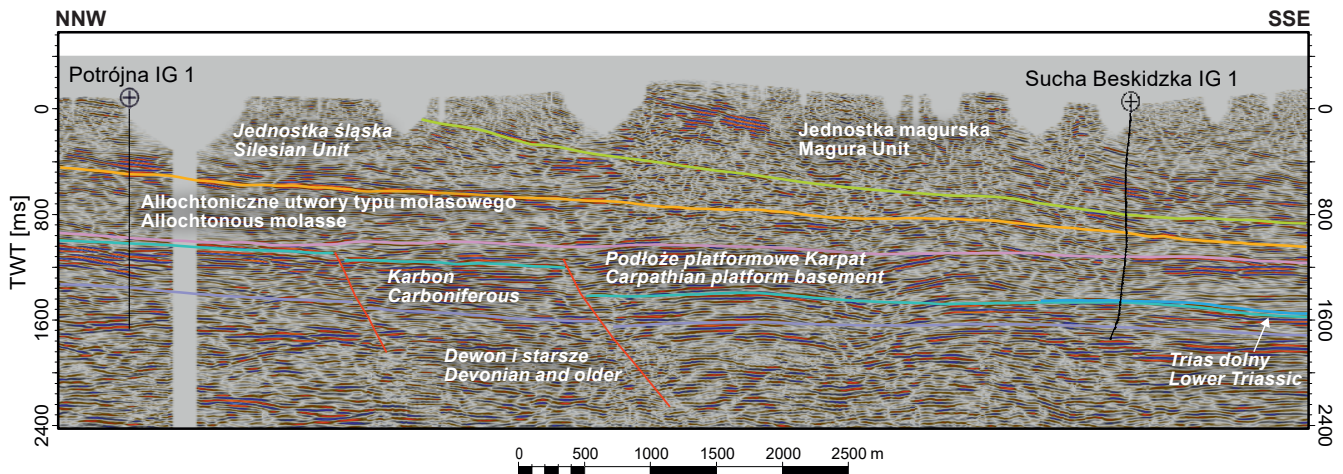


Fig. 46. Fragment czasowego profilu sejsmicznego 14–1–87K z interpretacją.

Poziom 0 wyznaczono na poziomie 300 m n.p.m. Kolorem czerwonym oznaczono uskoki

A part of time seismic section 14–1–87K with interpretation.

Seismic reference datum 0 is at 300 m a.s.l. Faults are marked by red colour

się również opisem litologii oraz podstawowymi dostępnymi informacjami z otworu wiertniczego Potrójna IG 1. Korelację wykonano dla horyzontów sejsmicznych, odpowiadających powierzchniom stropowym dewonu, karbonu, triasu, mioce- nu autochtonicznego oraz powierzchniom spągów jednostek śląskiej i magurskiej.

Horyzonty związane ze stropami wydziałów chrono- i litostratygraficznych korelowano po maksimum amplitudy, co wynika z różnicy impedancji akustycznej pomiędzy poszczególnymi warstwami. W stropie osadów dewonu stwierdzono występowanie wapieni, które wykazują wyższe prędkości fali sejsmicznej w porównaniu z wyżej leżą serią węglano-wo-teryogeniczną najniższego missisipu. Bardziej skomplikowana wydaje się identyfikacja stropu karbonu i stropu triasu. Miąższość triasu w otworze Sucha Beskidzka IG 1 wynosi zaledwie 23 m, co sprawia, że oba horyzonty znajdują się na jednym refleksie. Pomiar prędkości średnich oraz prześledzenie poszczególnych wydziałów litologicznych wykazały jednakże, że w pobliżu otworu Sucha Beskidzka IG 1 utwory triasu prawdopodobnie się wyklinowują, gdyż nie stwierdzono ich chociażby w otworze Potrójna IG 1. W miejscach, w których trias nie występuje, karbon bezpośrednio przykrywają utwory mioce- nu. Różnica impedancji akustycznej utworów karbonu i mioce- nu pozwala na śledzenie stropu karbonu po dodatniej amplitudzie fali. W stropie mioce- nu autochtonicznego występują różnorodne litologicznie utwo- ry, od mułowców w otworze Sucha Beskidzka IG 1 po zlepieńce i piaskowce w otworze Potrójna IG 1, dając zmienne sygnał impedancji wzdłuż tego horyzontu sejsmicznego. Jednak w celu ułatwienia korelacji poprowadzono go po dodatniej amplitudzie fali.

W celu porównania i wyróżnienia podobieństw w zapisie obrazu falowego oraz identyfikacji artefaktów bardzo pomocne okazały się obrazy z sąsiednich profili sejsmicznych. Pozwoliło to na identyfikację w podłożu Karpat dwóch uskoków normalnych, które zaznaczają się w stropie karbonu.

Dodatkową przesłanką obecności deformacji nieciągłych mogą być różnice miąższości poszczególnych wydziałów stratygraficznych w otworach Potrójna IG 1 i Sucha Beskidzka IG 1 (np. miąższość mioce- nu autochtonicznego wynosi odpowiednio 82 m i 778,5 m; Ślącza, 1985). Największy zrzut wykazuje uskoki zlokalizowany bliżej otworu Sucha Beskidzka IG 1. W związku z tymi ograniczeniami, obraz sejsmiczny Karpat fliszowych wzdłuż analizowanego profilu stanowi jedynie przybliżenie rzeczywistej struktury geologicznej. W celu przeprowadzenia jak najdokładniejszej analizy sejsmicznej jednostek Karpat zewnętrznych i ich bezpośredniego podłoża, przy interpretacji kierowano się przede wszystkim dowiązaniem do otworów wiertniczych oraz do danych pochodzących z kartografii powierzchniowej.

Na figurze 46 można zauważyć główne nasunięcia jednostki śląskiej i magurskiej oraz szereg nasunięć w obrębie samej jednostki magurskiej, wszystkie zapadające w kierunku południowym. W tym też kierunku wzrasta miąższość najwyższej położonej jednostki magurskiej.

Ogólna interpretacja obrazu sejsmicznego Karpat wewnętrznych w rejonie posadowienia wiercenia Sucha Beskidzka IG 1 cechuje się mniejszym poziomem szczegółowości od przekroju geologicznego wykonanego na potrzeby niniejszego opracowania (fig. 47), ponieważ niektóre wydziałenia stratygraficzne charakteryzują się podobną litologią lub ich miąższość jest zbyt mała, aby mogły zostać wyodrębnione przy danej rozdzielczości zdjęcia sejsmicznego. W rezultacie kilka wydziałów litostratygraficznych może być reprezentowanych na obrazie sejsmicznym jako jedna warstwa lub horyzont sejsmiczny.

Idąc od powierzchni terenu, pierwsza warstwa sejsmiczna odpowiada piaskowcom glaukonitowym z Wątkowej. Wzdłuż profilu sejsmicznego 14–1–87K (fig. 47) piaskowce te występują głównie w miejscach, gdzie na obrazie sejsmicznym brakuje zapisu obrazu falowego lub występują liczne artefakty. Górną granicę tej warstwy wyznaczono na

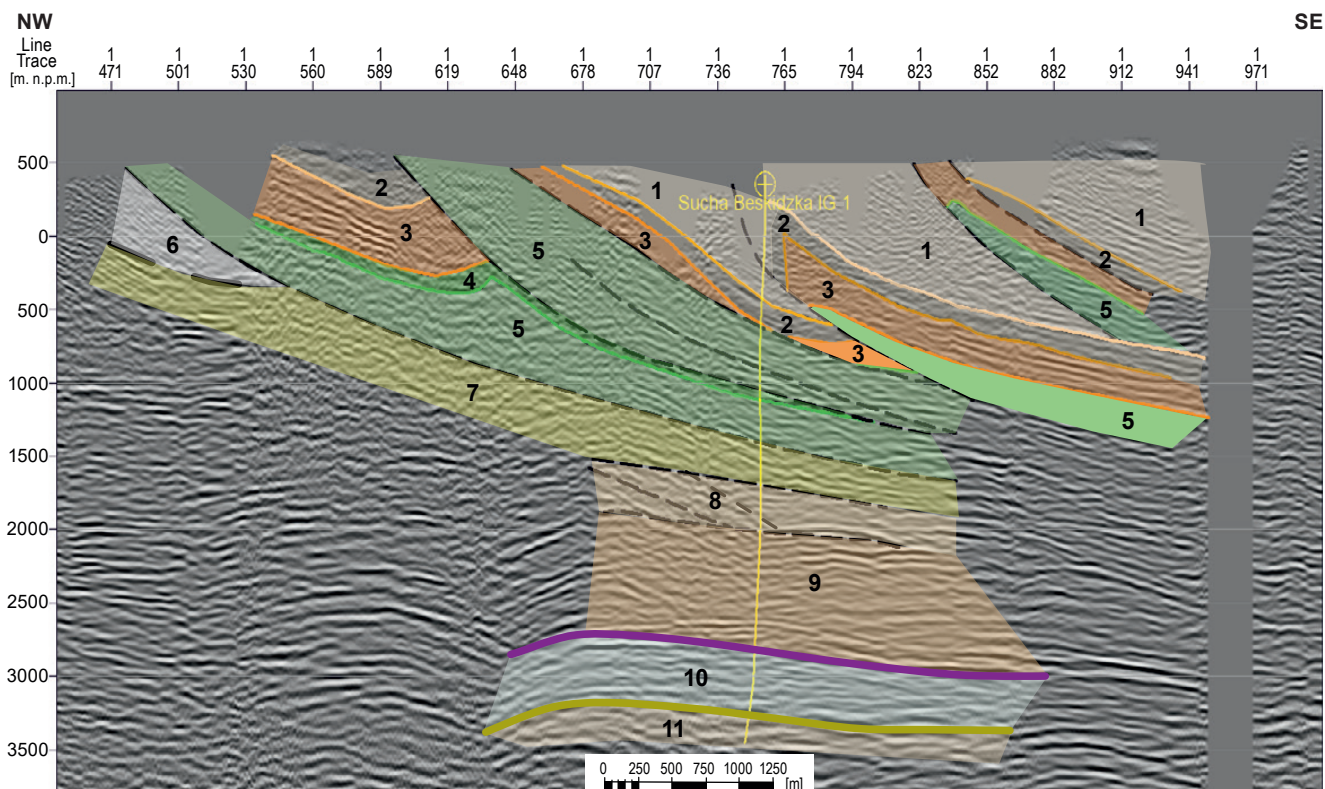


Fig. 47 Fragment profilu sejsmicznego 14–1–87K z interpretacją w domenie głębokościowej z otworem Sucha Beskidzka IG 1

1 – piaskowce glaukonitowe (piaskowce z Wątkowej), 2 – łupki margliste i łupki bezwapniste z przeławieniami piaskowców (warstwy podmagurskie i warstwy hieroglify), 3 – piaskowce gruboławicowe i zlepienie (piaskowce ciężkowickie) oraz łupki czerwone i zielone (łupki pstre), 4 – piaskowce i mułowce (piaskowce z Mutnego i warstwy z Gołyni), 5 – piaskowce i łupki (warstwy inoceramowe), 6 – piaskowce i łupki (warstwy krośnieńskie) i piaskowce gruboławicowe (piaskowce typu cergowskiego), 7 – piaskowce i łupki (warstwy krośnieńskie), 8 – brekcje sedimentacyjno-tektoniczne, mułowce, piaskowce, zlepienie (miocen allochtoniczny zapadliska przedkarpackiego z formacją z Dębowca i formacją ze Skawiny), 9 – mułowce, zlepienie, piaskowce (miocen autochtoniczny zapadliska przedkarpackiego), 10 – mułowce, piaskowce i zlepienie (karbon+trias), 11 – wapienie, dolomity i margle (devon)

Fragment of the seismic profile 14–1–87K with interpretation in the depth domain with the Sucha Beskidzka IG 1 borehole

1 – glauconitic sandstones (Wątkowa Sandstone) 2 – marly shales and non-calcareous shales with sandstone interbeddings (Submagura Beds and Hieroglyphic Beds), 3 – thick-bedded sandstones and conglomerates (Ciężkowice Sandstone) and red and green shales (Variegated Shales), 4 – sandstones and mudstones (Mutne Sandstone and Gołynia Beds), 5 – sandstones and shales (Inoceraman Beds), 6 – sandstones and shales (Krosno Beds) and thick-bedded sandstones (Cergowa-type sandstones), 7 – sandstones and shales (Krosno Beds), 8 – sedimentary-tektonic mélanges, mudstones, sandstones, conglomerates (allochthonous Miocene of the Carpathian Foredeep with Dębowiec Formation and Skawina Formation), 9 – mudstones, conglomerates, sandstones (autochthonous Miocene of the Carpathian Foredeep), 10 – mudstones, sandstones and conglomerates (Carboniferous + Triassic) 11 – limestones, dolomites and marls (Devonian)

podstawie danych pochodzących głównie z kartografii powierzchniowej, natomiast dolną – na podstawie różnic w charakterystyce refleksów pomiędzy piaskowcami z Wątkowej a warstwami podmagurskimi.

Łupki margliste i łupki bezwapniste z nielicznymi przeławieniami piaskowców zaliczone do warstw podmagurskich i hieroglify zostały wyznaczone jako jedna warstwa sejsmiczna ze względu na brak wyraźnej różnicy impedancji akustycznej w obrębie utworów drobnoziarnistych. Granice tej warstwy określono na podstawie danych z otworu Sucha Beskidzka IG 1 oraz kartografii powierzchniowej. Na obrazie sejsmicznym spąg warstwy jest dobrze zaznaczony, gdyż w większości spoczywa ona na piaskowcach ciężkowickich z łupkami pstrymi. Różnica w zapisie sejsmicznym między piaskowcami

ciężkowickimi, a warstwami podmagurskimi i hieroglify wyniki z różnic facjalnych. Piaskowce ciężkowickie są wykształcone w facjach piaskowcowo-zlepieńcowych, a warstwy podmagurskie i hieroglify to głównie mułowce.

Piaskowce ciężkowickie oraz łupki pstre na obrazie falowym zostały zinterpretowane jako jedna warstwa sejsmiczna, ze względu na zbyt małą miąższość kolejnych poziomów łupków pstrych w porównaniu z rozdzielczością danych sejsmicznych. Kompleks piaskowców ciężkowickich daje charakterystyczną silną odpowiedź sejsmiczną, widoczną na obrazie falowym jako mocny refleks, co odróżnia je od sąsiadujących warstw.

Warstwa sejsmiczna obejmująca piaskowce z Mutnego oraz warstwy z Gołyni została wydzielona po maksimum amplitu-

dy pomiędzy nasunięciem antykliny Bładzonki–Grygłowa (fig. 47) a piaskowcami i łupkami warstw inoceramowych.

Kolejna warstwa sejsmiczna odpowiada wydzieleniu piaskowców i łupków warstw inoceramowych. Ta warstwa nie została wewnętrznie rozdzielona ze względu na brak wyraźnych ciągłych refleksów korelacyjnych. Na obrazie sejsmicznym zaobserwowano liczne zaburzenia fali w obrębie warstw inoceramowych, co może być spowodowane sfałdowaniem warstw i występowaniem podrzędnych nasunięć/ścięć. Powierzchnie graniczne warstw inoceramowych wyznaczono na podstawie informacji z kartografii powierzchniowej, danych otworowych oraz charakterystycznych zaburzonych

refleksów, mogących wskazywać na obecność głównych nasunięć.

Na profilu sejsmicznym zinterpretowano również warstwę obejmującą piaskowce i łupki warstw krośnieńskich, znajdującą się pomiędzy nasunięciami magurskim i śląskim. Ta warstwa została wydzielona na podstawie danych z otworu Sucha Beskidzka IG 1.

Utwory miocenu allochtonicznego pod nasunięciem karpackim na obrazie sejsmicznym zostały zinterpretowane jako jedna warstwa, ponieważ obecność licznych zaburzeń tektonicznych uniemożliwiła pewną identyfikację poszczególnych horyzontów litostratygraficznych.