

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Marcin ŁOJEK, Karolina SYNOWSKA

GEOFIZYKA OTWOROWA

CEL BADAŃ

Podstawowym celem wiercenia Brojce IG 1 było zbadanie utworów podpermских w południowym obrzeżeniu niecki trzebiatowskiej, w miejscu śledzenia refleksów podcechsztyńskich (Żelichowski i in., 1986). Głównym zadaniem geofizyki otworowej było wyznaczenie poziomów

zbiornikowych i szacunkowe określenie parametrów tych skał, określenie litologii i stratygrafii przewierczanych utworów, wydzielenie warstw zawierających bituminy oraz określenie stanu technicznego odwiertu (Kołodziej, Gałus, 1986).

ZAKRES WYKONANYCH BADAŃ

Opracowanie danych dotyczących geofizyki otworowej przeprowadzono korzystając z dokumentacji wynikowej otworu Brojce IG 1 (Żelichowski i in., 1986). Wykorzystano również scyfrowane dane pomiarowe z Centralnej Bazy Danych Geologicznych (CBDG). Pomiarów wykonano w ośmiu odcinkach w interwale głęb. 0,0–4252,0 m. Wszystkie pomiary w otworze zostały zrealizowane przez Poszukiwania Nafty i Gazu Piła w oparciu o projekt Biura Geologicznego „Geonafta” Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa. W tabeli 17 opisano rodzaje wykonanych pomiarów, typy użytych sond, interwały głębokościowe odcinków pomiarowych wg dokumentacji i wg plików LAS (*Long Ascii Standard*).

Średnica nominalna była zmienna między odcinkami pomiarowymi i została zestawiona w tabeli 18. W tabeli 18 znajduje się również zestawienie interwałów głębokościowych, w których podczas procesu wiercenia użyto kilku rodzajów płuczek, tj. bentonitowej, bentonitowo – skrobiowej, solno – barytowej oraz solno-skrobiowej. Ponadto opisano również typy aparatury i kabli wykorzystywanych przy pomiarach oraz głębokość otworu wg danych wiertniczych i geofizycznych (tab. 18). W tej samej tabeli zestawiono także głębokość zarzucenia otworu wg danych wiertniczych i geofizycznych. Krok próbkowania był równy 0,25 m we wszystkich pomiarach, oprócz pomiaru krzywizny otworu, w którym krok próbkowania wynosił 25 m.

STAN TECHNICZNY OTWORU I OCENA JAKOŚCI OTWORU

Otwór w początkowej fazie został zarzucany na głęb. 2,5 m. Średnica nominalna w pierwszym odcinku pomiarowym wynosi 438 mm (17 ¼ cala) (tab. 18). Wymycia występują na głęb. 2,5–105,0 m, a maksymalna ich wartość wynosi 750 mm. Kolejno zarzucano otwór Brojce IG 1 na głęb. 301,0 m. Nominalna średnica jest równa 311,0 mm (12¼ cala). Obserwuje się wymycia w interwałach głęb.: 360,0–505,0; 595,0–635,0; 665,0–670,0 m. Maksymalnie kawerny osiągają 600 mm. W interwale głęb. 1140,0–1900,0 m występują liczne kawerny – maksymalnie osiągają 800 mm, przy czym średnica nominalna wynosi 311 mm (12¼ cala). W odcinku pomiarowym 1875,0–2405,0 m średnica nominalna również wynosi 311 mm oraz obserwowane

są liczne wymycia, które maksymalnie osiągają 400 mm. Kolejny interwał (2350,0–2920,0 m) charakteryzuje się częstym występowaniem kawern, a średnica nominalna wynosi 308 mm (12⅞ cala). Na głęb. 2917,0 m zarzucano otwór. Od tej głębokości średnica nominalna wynosi 216 mm (8½ cala). Odcinek 2917,0–3235,0 m jest skawernowany, ale na głębokościach większych niż 3235,0 m średnica rzeczywista równa jest średnicy nominalnej. Maksymalna wielkość kawerny jest równa 360 mm. Następnie otwór został zarzucany na głęb. 3562,0 m. W interwale głęb. 3562,0–3960,0 m średnica nominalna jest równa 143 mm (5 ⅔ cala). Obserwuje się występowanie wymyci osiągających ok. 200 mm. W tym interwale wykonano również pomiar PAC

Tabela 17

Wykaz badań geofizyki otworowej wykonanych w otworze Brojce IG 1

List of well logs performed in the Brojce IG 1 borehole

Data wykonania badania Date of measurement	Rodzaj wykonanego pomiaru (skrót), typ sondy Type of measurement, type of probe	Interwał głębokościowy badań wg dokumentacji [m] Depth interval according to documentation	Interwał głębokościowy badań wg plików LAS [m] Depth interval according to LAS files (real depth)
1	2	3	4
21.04.1985	BSO (PO)	8,0–294,0	zależne od konkretnego profilowania (wymienione poniżej)
	PS bezprądowo (PS)	8,0–294,0	9,25–297,25
	PG (GR)	0,0–298,0	0,5–297,75
	PNG (NEGR)	0,0–298,0	0,5–298,25
	Pśr (CALI)	2,5–292,5	0,5–291,75
	PK	25,0–290,0	
	PO, A0.5M0.1N (EL02)	0,0–298,75	2,5–293,75
	PO, A1.0M0.1N (EL03)	0,0–298,75	4,25–293,75
	PO, M2.5A0.25B (EL09)	8,0–294,0	9,25–295,75
	PO, A2.5M0.25N (EL09_2)	0,0–295,75	5,5–293,75
	PO, A5.7M0.4N (EL18)	0,0–295,75	8,75–294,75
	PO, A8.0M1.0N (EL26)	0,0–295,75	10,25–294,5
	PO, B2.5A0.25M (EN10)	8,0–294,0	7,25–293,75
PO, N5.7M0.4A (EN16)	0,0–295,75	0,75–293,75	
1.05.1985–2.05.1985	BSO (PO)	301,0–1164	zależne od konkretnego profilowania (wymienione poniżej)
	PS bezprądowo (PS)	301,0–1165	306,5–1164,75
	PG (GR)	268,0–1168,0	275,25–1164,75
	PNG + IgPNG (NEGR)	268,0–1168,0	275,25–1164,75
	PGG	300,0–1100,0	290,25–1106,25
	Pśr (CALI)	301,0–1164,0	281,25–1164,75
	PK	275,0–1150,0	
	PA (DT)	250,0–1168,0	250,25–1168,75
	PT	1064,0–1164,0	0,75–4152,5
	PO, A0.5M0.1N (EL02)	281,0–1164,75	300,25–1163,75
	PO, A1.0M0.1N (EL03)	281,0–1164,75	300,25–1163,75
	PO, M2.5A0.25B (EL09)	301,0–1164,0	300,25–1163,75
	PO, A2.5M0.25N (EL09_2)	281,0–1164,75	291,25–1163,75
	PO, A5.7M0.4N (EL18)	281,0–1164,75	300,25–1163,75
	PO, A8.0M1.0N (EL26)	281,0–1164,75	300,25–1163,75
	PO, B2.5A0.25M (EN10)	281,0–1164,75	285,5–1163,75
PO, N5.7M0.4A (EN16)	301,0–1164,0	300,25–1163,75	
25.05.1985–26.05.1985	BSO (PO)	1140,0–1900,0	zależne od konkretnego profilowania (wymienione poniżej)
	PS bezprądowo (PS)	1140,0–1900,0	1100,25–1899,75
	PG (GR)	1140,0–1900,0	1100,25–1899,25
	PNG + IgPNG (NEGR)	1140,0–1900,0	1100,25–1899,75
	PGG	1100,0–1900,0	1100,25–1899,25
	Pśr (CALI)	301,0–1902,0	1103,25–1899,75
	PK	1150,0–1900,0	–
	PA (DT)	1140,0–1900,0	1096,25–1899,5
	PT	1800,0–1900,0	0,75–4152,5
	PO, A0.5M0.1N (EL02)	1100,0–1899,75	1100,25–1899,75
	PO, A1.0M0.1N (EL03)	1100,0–1899,75	1100,25–1899,75
	PO, M2.5A0.25B (EL09)	1100,0–1899,75	1100,25–1899,5
	PO, A2.5M0.25N (EL09_2)	1100,0–1899,75	1100,25–1899,75
	PO, A5.7M0.4N (EL18)	1100,0–1899,75	1100,25–1899,5
	PO, A8.0M1.0N (EL26)	1100,0–1899,75	1100,25–1899,5
	PO, B2.5A0.25M (EN10)	1100,0–1899,75	1100,25–1899,5
PO, N5.7M0.4A (EN16)	1100,0–1899,75	1100,25–1899,75	

Tabela 17 cd.

1	2	3	4
24.06.1985	BSO (PO)	1875,0–2405,0	zależne od konkretnego profilowania (wymienione poniżej)
	PS bezprądowo (PS)	1875,0–2405,0	1854,75–2405,75
	PG (GR)	1875,0–2407,0	1853,25–2407,25
	PNG + IgPNG (NEGR)	1875,0–2407,0	1850,5–2404,75
	PGG	1875,0–2407,0	1865,25–2407,75
	Pśr (CALI)	301,0–2405,0	1850,5–2407,75
	PK	1875,0–2400,0	–
	PA (DT)	1875,0–2405,0	1849,25–2404,5
	PT	2300,0–2400,0	0,75–4152,5
	PO, A0.5M0.1N (EL02)	1850,0–2407,5	1853,25–2405,75
	PO, A1.0M0.1N (EL03)	1850,0–2407,5	1854,25–2405,5
	PO, M2.5A0.25B (EL09)	1875,0–2405,0	1851,25–2405,25
	PO, A2.5M0.25N (EL09_2)	1850,0–2407,5	1852,25–2404,75
	PO, A5.7M0.4N (EL18)	1850,0–2407,5	1854,25–2405,75
	PO, A8.0M1.0N (EL26)	1850,0–2407,5	1853,25–2405,25
	PO, B2.5A0.25M (EN10)	1850,0–2407,5	1850,5–2406,75
PO, N5.7M0.4A (EN16)	1875,0–2405,0	1856,25–2405,75	
4.08.1985–5.08.1985	BSO (PO)	2360,0–2920,0	zależne od konkretnego profilowania (wymienione poniżej)
	PS bezprądowo (PS)	2360,0–2920,0	2350,25–2919,75
	PG (GR)	2350,0–2920,0	2350,25–2919,75
	PNG + IgPNG (NEGR)	2350,0–2920,0	2350,25–2921,75
	PGG	2350,0–2920,0	2350,25–2919,75
	Pśr (CALI)	301,0–2921,0	2350,25–2921,25
	PK	2425,0–2920,0	–
	PA (DT)	2350,0–2920,0	2350,25–2919,75
	PT	2870,0–2920,0	0,75–4152,5
	PO, A0.5M0.1N (EL02)	2350,0–2921,75	2358,25–2920,5
	PO, A1.0M0.1N (EL03)	2350,0–2921,75	2358,25–2921,5
	PO, M2.5A0.25B (EL09)	2360,0–2920,0	2350,25–2919,75
	PO, A2.5M0.25N (EL09_2)	2350,0–2921,75	2356,25–2920,75
	PO, A5.7M0.4N (EL18)	2350,0–2921,75	2356,5–2919,75
	PO, A8.0M1.0N (EL26)	2350,0–2921,75	2357,5–2920,5
	PO, B2.5A0.25M (EN10)	2360,0–2920,0	2350,25–2920,25
PO, N5.7M0.4A (EN16)	2350,0–2921,75	2358,25–2916,75	
23.09.1985–26.09.1985	PS bezprądowo (PS)	2917,0–3564,0	2914,25–3564,75
	IgPOst	2917,0–3564,0	2917,5–3564,75
	mPOst + IgPOst	3000,0–3300,0	3010,25–3320,75
	PG (GR)	2895,0–3567,0	2895,5–3572,25
	PNG + IgPNG	2985,0–3567,0	2995,5–3567,25
	PGG	2917,0–3567,0	2898,25–3570,75
	Pśr (CALI)	2917,0–3564,0	1900,25–3565,75
	PK	2900,0–3568,0	–
	PA (DT)	2917,0–2566,0	2861,25–3564,75
	PT	3467,0–3567,0	0,75–4152,5
	PO, M2.5A0.25B (EL09)	2917,0–3564,0	2906,5–3564,25
PO, B2.5A0.25M (EN10)	2917,0–3564,0	2905,25–3564,5	
19.11.1985–20.11.1985	PS bezprądowo (PS)	3562,0–3958,0	3555,25–3959,75
	PG (GR)	3517,0–3960,0	3520,5–3959,75
	PNG + IgPNG	3517,0–3960,0	3520,5–3959,75
	PGG	3562,0–3960,0	3534,75–3959,75
	Pśr (CALI)	3562,0–3960,0	3560,25–3959,75
	PK	3550,0–3950,0	–
	PA (DT)	3562,0–3960,0	3562,25–3959,75
	Pac	2062,0–3562,0	–
	PT	3860,0–3960,0	0,75–4152,5
	PO, M2.5A0.25B (EL09)	3562,0–3958,0	3562,25–3959,75
	PO, B2.5A0.25M (EN10)	3562,0–3958,0	3558,25–3959,75
LL3	brak informacji w dokumentacji	3562,5–3959,75	

Tabela 17 cd.

1	2	3	4
3.01.1986–6.01.1986	PG (GR)	3935,0–4232,0	3893,25–4231,75
	PS bezprądowo (PS)	3935,0–4230,0	3895,5–4231,75
	PNG + IgPNG (NEGR)	3953,0–4232,0	3899,75–4231,75
	PGG	3935,0–4232,0	3895,25–4231,75
	Pśr (CALI)	3561,0–4232,0	3897,25–4234,5
	PK	3925,0–4225,0	–
	PA (DT)	3935,0–4230,0	3900,5–4231,75
	PT	4130,0–4230,0	0,75–4152,5
	PO, A1.0M0.1N (EL03)	3897,0–4234,75	3904,5–4229,5
	PO, M2.5A0.25B (EL09)	3935,0–4230,0	3904,25–4231,5
	PO, A5.7M0.4N (EL18)	3897,0–4234,75	3904,5–4229,5
	PO, A8.0M1.0N (EL26)	3897,0–4234,75	3907,25–4229,5
	PO, B2.5A0.25M (EN10)	3935,0–4230,0	3906,25–4231,75
	mPOst (ML)	brak informacji w dokumentacji	3903,75–4229,5
LL3	brak informacji w dokumentacji	3903,25–4229,5	

Oznaczenia: BSO – boczne sondowanie oporności; PS (SP) – profilowanie potencjałów samoistnych; PG (GR) – profilowanie gamma, PNG + IgPNG (NEGR) – profilowanie neutron gamma; Pśr (CALI) – profilowanie średnicy; PK – profilowanie krzywizny otworu; PO (EN10) – sondowanie oporności gradientowe; PO (EL09) – sondowanie oporności potencjałowe; PA (DT) – profilowanie akustyczne; PT – profilowanie temperatury; PGG (GGDN) – profilowanie gamma – gamma; IgPOst – profilowanie oporności sterowane; mPOst (ML) – mikroprofilowanie oporności sterowane; LL3 – profilowanie oporności sondą 3 – elektrycznie sterowaną

Mnemonics: BSO – lateral resistivity log; PS (SP) – spontaneous potential log; PG (GR) – gamma log; PNG + IgPNG (NEGR) – neutron gamma log; Pśr (CALI) – diameter log; PK – borehole curvature log; PO (EN_X) – gradient resistivity log; PO (EL_X) – potential resistivity log; PA (DT) – acoustic log; PT – temperature log; PGG (GGDN) – gamma-ray log; IgPOst – steerable resistivity profiling; mPOst (ML) – microlaterolog; LL3 – electrode 3 guard log (laterolog)

Tabela 18

Wykaz użytych aparatów pomiarowych i typów kabli w otworze Brojce IG 1 wraz z parametrami zarurowania

List of measuring equipment and cable types used in the Brojce IG 1 borehole, and casing parameters

Data badania Date of measurement	Rodzaj wykonanego pomiaru (skrót) Type of measurement (abbreviated)	Typ sondy Type of probe	Typ aparatury Type of tool	Typ kabla Type of cable	Rodzaj płuczki Type of mud	Głębokość otworu wg danych wiertniczych / geofizycznych [m] Well depth in driller's/ logger's	Średnica nominalna [mm/inch] Nominal diameter [mm/inch]	Głębokość zarurowania wg danych wiertni- czych / geofizycznych [m] Casing depth in driller's/ logger's
1	2	3	4	5	6	7	8	9
21.04.1985	BSO		AKSŁ–7–2119	KG–3	bentonitowa	300,0/298,0	438 / 17¼	2,5 / 2,5
	PS bezprądowo (PS)		AKSŁ–7–2119					
	PG (GR)	SP–62 nr 11	GNG–2					
	PNG (NEGR)	SP–62 nr 11	GNG–2					
	Pśr (CALI)		KS–3					
	PK		IK nr 117042					
	PO (EL02)	A0.5M0.1N	AKSŁ–7–2119					
	PO (EL03)	A1.0M0.1N	AKSŁ–7–2119					
	PO (EL09)	M2.5A0.25B	AKSŁ–7–2119					
	PO (EL09_2)	A2.5M0.25N	AKSŁ–7–2119					
	PO (EL18)	A5.7M0.4N	AKSŁ–7–2119					
	PO (EL26)	A8.0M1.0N	AKSŁ–7–2119					
PO (EN10)	B2.5A0.25M	AKSŁ–7–2119						
PO (EN16)	N5.7M0.4A	AKSŁ–7–2119						
1–2.05.1985	BSO		AKSŁ–7–2119	KG–3	bentonitowo-skrabiowa	1244,0/1168,0	311 / 12¼	300,0 / 301,0
	PS bezprądowo (PS)		AKSŁ–7–2119					
	PG (GR)	SP–62 nr 11	GNG–2					
	PNG + IgPNG (NEGR)	SP–62 nr 11	GNG–2					
	PGG	GGH–1 nr 1	PRK–62T					
	Pśr (CALI)		KS–3					
	PK		IK nr 116942					
	PA (DT)		SPAK–4					
	PT		TG–5					
	PO (EL02)	A0.5M0.1N	AKSŁ–7–2119					
PO (EL03)	A1.0M0.1N	AKSŁ–7–2119						

Tabela 18 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
cd. 1-2.05.1985	PO (EL09)	M2.5A0.25B	AKSŁ-7-2119	KG-3	bentonitowo- skrobiowa	1244,0/1168,0	311 / 12¼	300,0 / 301,0
	PO (EL09_2)	A2.5M0.25N	AKSŁ-7-2119					
	PO (EL18)	A5.7M0.4N	AKSŁ-7-2119					
	PO (EL26)	A8.0M1.0N	AKSŁ-7-2119					
	PO (EN10)	B2.5A0.25M	AKSŁ-7-2119					
	PO (EN16)	N5.7M0.4A	AKSŁ-7-2119					
25-26.05.1985	BSO		AKSŁ-7-1346	KG-3	bentonitowo- skrobiowa	1907,0/1902,0	311 / 12¼	300,0 / 301,0
	PS bezprądowo (PS)		AKSŁ-7-1347					
	PG (GR)	SP-62 nr 0	PRK-62					
	PNG + IgPNG (NEGR)	SP-62 nr 0	PRK-62					
	PGG	GGH-1	PRK-62T					
	Pśr (CALI)		KS-3					
	PK		IK nr 97213					
	PA (DT)		SPAK-4					
	PT		TG-5					
	PO (EL02)	A0.5M0.1N	AKSŁ-7-1346					
	PO (EL03)	A1.0M0.1N	AKSŁ-7-1346					
	PO (EL09)	M2.5A0.25B	AKSŁ-7-1346					
	PO (EL09_2)	A2.5M0.25N	AKSŁ-7-1346					
	PO (EL18)	A5.7M0.4N	AKSŁ-7-1346					
	PO (EL26)	A8.0M1.0N	AKSŁ-7-1346					
	PO (EN10)	B2.5A0.25M	AKSŁ-7-1346					
PO (EN16)	N5.7M0.4A	AKSŁ-7-1346						
24.06.1985	BSO		AKSŁ-7-2119	KG-3	bentonitowo- skrobiowa	2414,0/2407,0	311 / 12¼	300,0 / 301,0
	PS bezprądowo (PS)		AKSŁ-7-2119					
	PG (GR)	SP-62 nr 730	GNG-2 nr 8/74					
	PNG + IgPNG (NEGR)	SP-62 nr 730	GNG-2 nr 8/74					
	PGG	SP-62 nr 730	GNG-2 nr 8/74					
	Pśr (CALI)		KS-3					
	PK		IK nr 915					
	PA (DT)		SPAK-4					
	PT		TG-5					
	PO (EL02)	A0.5M0.1N	AKSŁ-7-2119					
	PO (EL03)	A1.0M0.1N	AKSŁ-7-2119					
	PO (EL09)	M2.5A0.25B	AKSŁ-7-2119					
	PO (EL09_2)	A2.5M0.25N	AKSŁ-7-2119					
	PO (EL18)	A5.7M0.4N	AKSŁ-7-2119					
	PO (EL26)	A8.0M1.0N	AKSŁ-7-2119					
	PO (EN10)	B2.5A0.25M	AKSŁ-7-2119					
PO (EN16)	N5.7M0.4A	AKSŁ-7-2119						
4-5.08.1985	BSO		AKSŁ-7-1375	KG-3	bentonitowo- skrobiowa	2930,0/2921,0	308 / 12¼	300,0 / 301,0
	PS bezprądowo (PS)		AKSŁ-7-1375					
	PG (GR)	SP-62 nr 719	GNG-2					
	PNG + IgPNG (NEGR)	SP-62 nr 719	GNG-2					
	PGG	SP-62 nr 719	GNG-2					
	Pśr (CALI)		KS-3					
	PK		IK nr 20					
	PA (DT)		SPAK-4					
	PT		TG-5					
	PO (EL02)	A0.5M0.1N	AKSŁ-7-1375					
	PO (EL03)	A1.0M0.1N	AKSŁ-7-1375					
	PO (EL09)	M2.5A0.25B	AKSŁ-7-1375					
	PO (EL09_2)	A2.5M0.25N	AKSŁ-7-1375					
	PO (EL18)	A5.7M0.4N	AKSŁ-7-1375					
	PO (EL26)	A8.0M1.0N	AKSŁ-7-1375					
	PO (EN10)	B2.5A0.25M	AKSŁ-7-1375					
PO (EN16)	N5.7M0.4A	AKSŁ-7-1375						

Tabela 18 cd.

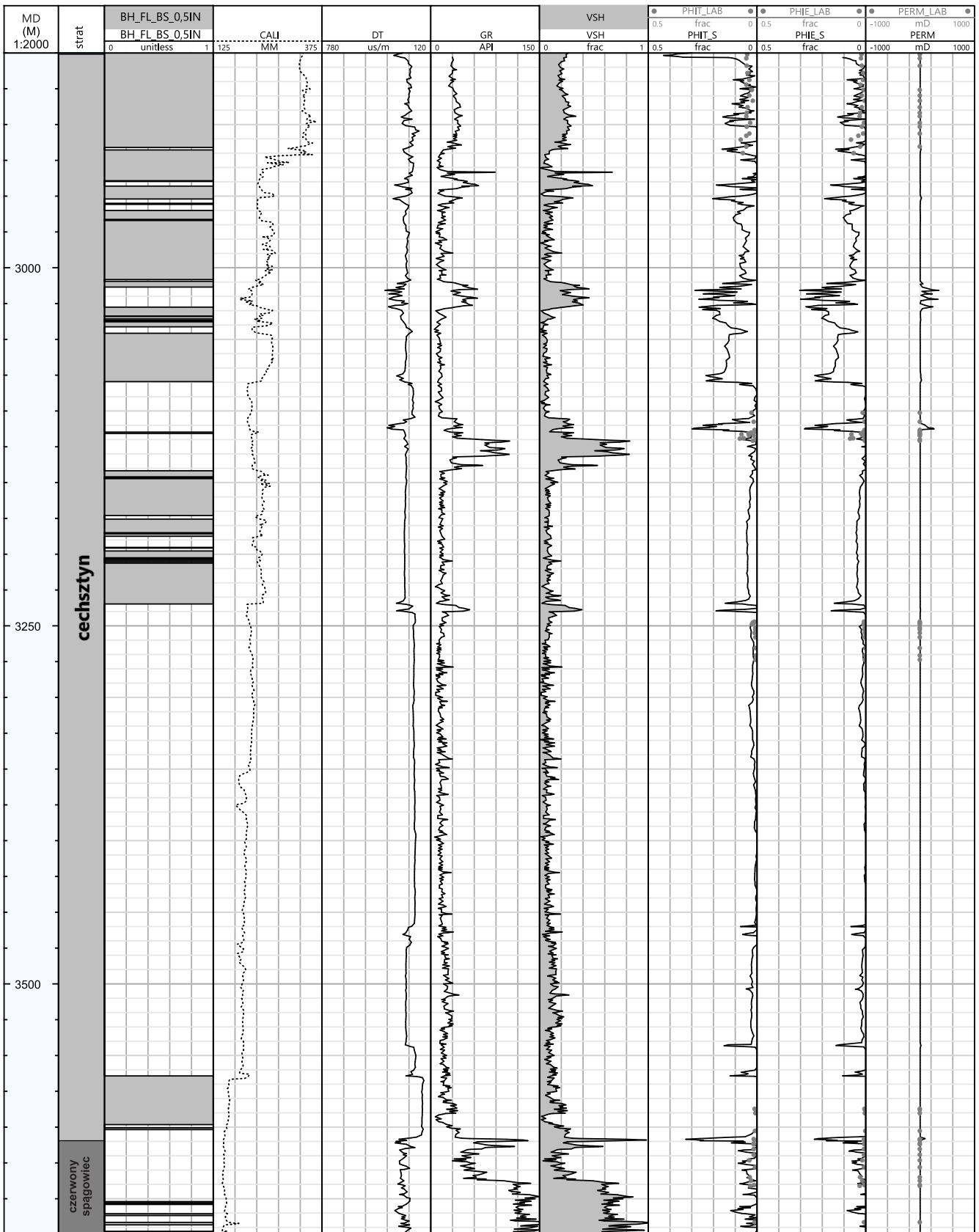
1	2	3	4	5	6	7	8	9
23-26.09.1985	PS bezprądowo (PS)		AKSŁ-7-2119	KG-3	solno-barytowa	3575,0/3568,0	216 / 8½	2925,0 / 2917,0
	IgPOst	ABKT nr 508	AKSŁ-7-2119					
	mPOst + IgPOst	ABKT nr 508	AKSŁ-7-2119					
	PG (GR)	SP-62 nr 719	GNG-2					
	PNG + IgPNG	SP-62 nr 719	GNG-2					
	PGG	SP-62 nr 719	GNG-2					
	Pśr (CALI)		KS-3					
	PK		IK nr 915					
	PA (DT)		SPAK-4					
	PT		TG-5					
	PO (EL09)	M2.5A0.25B	AKSŁ-7-2119					
PO (EN10)	B2.5A0.25M	AKSŁ-7-2119						
19-20.11.1985	PS bezprądowo (PS)		AKSŁ-7-2119	KG-3	solno-skrabiowa	3961,0/3961,0	143 / 5¾	3571,0 / 3562,0
	PG (GR)	SP-62 nr 730	GNG-2					
	PNG + IgPNG	SP-62 nr 730	GNG-2					
	PGG	SP-62 nr 730	GNG-2					
	Pśr (CALI)		KS-3					
	PK		IK nr 27294					
	PA (DT)		SPAK-4					
	Pac		SPAK-4					
	PT		TG-5					
	PO (EL09)	M2.5A0.25B	AKSŁ-7-2119					
	PO (EN10)	B2.5A0.25M	AKSŁ-7-2119					
3-6.01.1986	PG (GR)	SP-62 nr 11	PRK-62	KG-3	solno-skrabiowa	4234,0/4232,0	143 / 5¾	3571,0 / 3562,0
	PS bezprądowo (PS)		AKSŁ-7-1346					
	PNG + IgPNG (NEGR)	SP-62 nr 11	PRK-62					
	PGG	SP-62 nr 11	PRK-62					
	Pśr (CALI)		KG-3					
	PK		IK nr 137					
	PA (DT)		SPAK-4					
	PT		TG-5					
	PO (EL02)	A0.5M0.1N	AKSŁ-7-1346					
	PO (EL03)	A1.0M0.1N	AKSŁ-7-1346					
	PO (EL09)	M2.5A0.25B	AKSŁ-7-1346					
	PO (EL09_2)	A2.5M0.25N	AKSŁ-7-1346					
	PO (EL18)	A5.7M0.4N	AKSŁ-7-1346					
	PO (EL26)	A8.0M1.0N	AKSŁ-7-1346					
	PO (EN10)	B2.5A0.25M	AKSŁ-7-1346					
PO (EN16)	N5.7M0.4A	AKSŁ-7-1346						

Fig. 41. Wybrane profilowania geofizyki otworowej oraz modelowanie zailenia, porowatości całkowitej, porowatości efektywnej oraz przepuszczalności w otworze Brojce IG 1

BH_FL_BS_0.51N – wskaźnik jakości otworu, CALI – profilowanie średnicy otworu, DT – profilowanie czasu interwałowego, GR – profilowanie spektrometryczne gamma, VSH – zailenie, PHIT_S – porowatość całkowita, PHIT_LAB – porowatość całkowita z pomiarów laboratoryjnych, PHIE_S – porowatość efektywna, PHIE_LAB – porowatość efektywna z pomiarów laboratoryjnych, PERM – przepuszczalność absolutna, PERM_LAB – przepuszczalność absolutna z pomiarów laboratoryjnych

Selected logs and modeling of shale volume, total porosity, effective porosity and permeability in Brojce IG 1 borehole

BH_FL_BS_0.51N – Bad Hole Flag, CALI – caliper log, DT – acoustic log, GR – gamma ray log, VSH – shale volume, PHIT_S – total porosity, PHIT_LAB – total porosity (laboratory measurements), PHIE_S – effective porosity, PHIE_LAB – effective porosity (laboratory measurements), PERM – absolute permeability, PERM_LAB – absolute permeability (laboratory measurements)



(profilowanie akustyczne stanu zacementowania), dzięki któremu określono stan zacementowania rur. Dobre związanie cementu z rurami dotyczy interwałów:

- 3208,0–3237,0 m;
- 3460,0–3468,0 m;
- 3475,0–3542,0 m.

W pozostałych interwałach obserwuje się słaby poziom związania cementu.

Ostatni interwał pomiarowy obejmuje głęb. 3935,0–4230,0 m. W tym interwale średnica nominalna wynosi 143 mm (5 $\frac{2}{3}$ cala). Maksymalne kawerny osiągają 180 mm. Analizę stanu technicznego ścian otworu oparto o parametr

Bad Hole Flag, który wskazuje na różnice pomiędzy profilowaniem średnicy (Pśr/CALI) a średnicą nominalną (BSM) (fig. 41).

W otworze Brojce IG 1 pomiary wykonano sondami niekalibrowanymi, co znacząco wpływa na wiarygodność analiz i interpretacji danych geofizycznych. Otwór został wykonany na przełomie lat 1985–1986, dlatego też pomiary radiometryczne są określone w niestandardowych jednostkach (imp/min). Ponadto w otworze występują liczne kawerny, co także wpływa na obniżenie wiarygodności wyników pomiarów.

PROFILOWANIE KRZYWIZNY OTWORU

Pomiary inklinometrem wykonywano odcinkowo w całym otworze aż do głęb. 4225,0 m (ze standardowym krokiem 25,0 m). Od powierzchni do głęb. 200,0 m otwór nie wskazuje odchylenia od pionu. Na głęb. 225,0–300,0 m otwór nabiera odchylenia 0°30' o azymucie 150°. W interwale głęb. 325,0–525,0 m otwór stabilizuje się i nie wykazuje odchylenia. Następnie na odcinku 550,0–1025,0 m ulega minimalnemu odchyleniu 0°15'–0°30' przy azymucie 168–180°. Z kolei od 1025,0 m do głęb. 1925,0 m ponownie powraca do pozycji pionowej 0°. Na głęb. 1950,0–2025,0 m kąt

skrzywienia otworu jest minimalny 0–0°15' przy azymucie 205–215°. W interwale 2050,0–3525,0 m otwór uzyskuje wychylenie 0°. Na głęb. 3550,0–3650,0 m zarejestrowano odchylenie 0°15'–1°30' w kierunku 270°, odchylenie to rośnie wraz z głębokością. Na głęb. 3675,0 m kąt odchylenia od pionu wyniósł 3°15' przy azymucie 46° i nadal rósł wraz z głębokością osiągając na głębokości końcowej otworu odchylenie 30° o azymucie 10°. W celu sprawdzenia prawidłowości wskazań inklinometru wykonano pomiar kontrolny w odcinku 3925,0–4225,0 m.

PROFILOWANIE TEMPERATUROWE OTWORU

Pomiar temperatury w warunkach ustalonej równowagi cieplnej został wykonany w dniu 23.01.1986 r. W interwale 3,0–4153,0 m. Na podstawie wyników niniejszego pomiaru określono wartość gradientu geotermicznego dla poszczególnych interwałów głębokościowych (tab. 19). Średni gradient geotermiczny w interwale głęb. 0,0–4153,0 m wyniósł

2,04°C/100 m, a średni stopień geotermiczny 48,8 m/°C. Wykonane zostały również pomiary temperatury w celu wyznaczenia temperatury spodu otworu. Temperatura na spodzie otworu (4239,0 m) wyniosła 106,5°C. Zestawienie pozostałych pomiarów na aktualnym wówczas spodzie otworu przedstawiono w tabeli 20.

Tabela 19

Wyniki obliczenia gradientu geotermicznego w otworze Brojce IG 1

The results of the calculation of the geothermal gradient in the Brojce IG 1 borehole

Interwał głębokościowy [m] Depth interval	Stratygrafia Stratigraphy	Gradient geotermiczny [°C/100 m] Geothermal gradient
	czwartorzęd i strop jury	19,6
31–350	jura środkowa	0,9
350–1156	jura dolna	1,1
1156–1248	kajper górny	2,1
1248–1444	warstwy zbąszyńskie + jarkowskie	3,0
1444–1784	warstwy gipsowe + piaskowiec trzeźnowy + warstwy sulechowskie	3,0
1784–1921	wapień muszlowy	2,2
1921–2076,5	pstry piaskowiec górny	2,2
2076,5–2853	pstry piaskowiec środkowy + dolny	2,5
2853–3609,5	cechsztyń	1,3
3609,5–3674,5	czerwony spągowiec	1,5
3674,5–4153	dewon	2,2

Tabela 20

Wartości temperatury maksymalnej (BHT) w otworze Brojce IG 1

Bottom Hole Temperature (BHT) in the Brojce IG 1 borehole

Głębokość [m] / Depth	1164	1900	2400	2920	3567	3960	4230
Temperatura [°C] / Temperature	24,3	48	60	72	82,5	91,5	106,5

OPRACOWANIE WYNIKÓW BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

Interpretację pomiarów geofizyki otworowej w otworze Brojce IG 1 przeprowadzono dla dwóch interwałów głęb.:

- 2853,5–3609,5 m – obejmujący swoim zasięgiem utwory cechsztynu;
- 3666,0–3998,0 m – obejmujący swoim zasięgiem utwory czerwonego spągowca i dewonu.

Została ona wykonana w oparciu o krzywe geofizyczne pochodzące z bazy cbdg. Krzywe te poddano łączeniu, normalizacji oraz kalibracji.

Interpretacja miała głównie na celu określenie parametrów zbiornikowych wybranych utworów skalnych (tj. Zailenia, porowatości całkowitej i efektywnej oraz przepuszczalności). Zawartość minerałów ilastych została wyliczona w oparciu o połączoną i skalibrowaną krzywą spektrome-

trycznego profilowania gamma. Do kalibracji krzywej gamma wykorzystano dane z pobliskiego otworu słowieńsko-1. Z kolei porowatość została uzyskana bazując na profilowaniu akustycznym. Przepuszczalność wyznaczono na podstawie wzoru coatesa (coates, dumanoir, 1973). Uzyskane wartości parametrów zbiornikowych dowiązано do pomiarów laboratoryjnych porowatości i przepuszczalności. W większości przypadków zbieżność krzywych uzyskanych w wyniku modelowania i pomiarów laboratoryjnych jest satysfakcjonująca, a uzyskane wartości krzywych geofizycznych zachowują podobne trendy do wartości pomiarów laboratoryjnych. Wartości zailenia, porowatości efektywnej i przepuszczalności przedstawiono w tabelach 21–23.

Tabela 21

Wartości wyliczonego zailenia w otworze Brojce IG 1

Clay volume in the Brojce IG 1 borehole

Nazwa kompleksu Rock formation's name	Jednostka litostratygraficzna Lithostratigraphic unit	Wartość minimalna Minimum	Wartość maksymalna Maximum	Średnia arytmetyczna Arithmetic mean	Mediana Median
Cechsztyń	rewalska formacja (fm)	0,14	0,33	0,22	0,22
	podcyklotem PZ4c	0,15	0,30	0,21	0,20
	sól kamienna najmłodsza stropowa Na4b2	0,00	0,12	0,06	0,06
	ił solny czerwony górny – część górna T4b2	0,07	0,67	0,28	0,27
	sól rozdzielająca Na4b1	0,01	0,21	0,08	0,07
	ił solny czerwony górny – część dolna T4b1	0,14	0,31	0,21	0,21
	sól kamienna najmłodsza górna Na4a2	0,02	0,18	0,08	0,08
	anhydryt pegmatytowy górny	0,04	0,05	0,05	0,05
	sól kamienna najmłodsza dolna Na4a1	0,01	0,20	0,08	0,08
	anhydryt pegmatytowy dolny A4a1	0,03	0,06	0,05	0,04
	sól podścielająca Na4a0	0,05	0,14	0,08	0,07
	ił solny czerwony dolny T4a	0,11	0,48	0,31	0,31
	sól kamienna młodsza Na3	0,00	0,14	0,06	0,06
	anhydryt główny A3	0,01	0,28	0,07	0,06
	dolomit płytowy Ca3	0,20	0,28	0,24	0,23
	ił solny szary T3	0,19	0,31	0,25	0,25
	anhydryt kryjący A2r	0,11	0,16	0,12	0,11
	sól kamienna starsza kryjąca Na2r	0,09	0,52	0,26	0,25
	sól potasowa starsza K2	0,16	0,83	0,47	0,55
	sól kamienna starsza Na2	0,01	0,20	0,08	0,08
	dolomit główny Ca2	0,09	0,39	0,22	0,22
	anhydryt górny A1g	0,00	0,21	0,07	0,07
	sól kamienna najstarsza Na1	0,03	0,27	0,13	0,13
anhydryt dolny A1d	0,01	0,26	0,12	0,11	
wapień cechsztyński Ca1, łupek miedzionośny T1	0,22	1,00	0,36	0,26	
Czerwony spągowiec	Noteci podgrupa	0,03	0,69	0,22	0,20
	wielkopolska podgrupa (pgr)	0,32	1,00	0,67	0,63

Największą zawartością minerałów ilastych charakteryzują się czerwone ility solne, w których zailenie wynosi ok. 30% oraz sól potasowa młodsza, która cechuje się średnim zaileniem równym 47%. Bardzo wysokie zailenie jest obserwowane również w grupie wielkopolskiej w czerwonym spągowcu zbudowanym głównie z piaskowców i wkladek mułowców (67%) oraz w wapieniu cechsztyńskim i łupku miedzionośnym (36%).

Porowatość efektywna zarówno w cechsztynie jak i czerwonym spągowcu nie osiąga wysokich wartości. Najniższe średnie wartości porowatości efektywnej przyjmują: formacja rewalska (0,03), anhydryt pegmatytowy (górnny i dolny – 0,04–0,05), sól potasowa starsza k2 (0,0) oraz anhydryt dolny a1d (0,1).

Z kolei najwyższe średnie wartości porowatości występują w ility solnym szarym t3 (0,21), ility solnym czerwonym dolnym t4a (0,17) oraz anhydrycie kryjącym a2r (0,17). Uzyskane wartości porowatości efektywnej obliczone na podstawie czasu interwałowego przyjmują niewysokie war-

tości, które są zbliżone i wiernie oddają trend wartości porowatości uzyskanych w pomiarach laboratoryjnych.

Przepuszczalność absolutna uzyskana w wyniku pomiarów laboratoryjnych w cechsztynie i czerwonym spągowcu przyjmuje bardzo niskie wartości (w większości pomiarów poniżej 0,01 md). Krzywa przepuszczalności została wyznaczona na podstawie wzoru coatesa (coates, dumanoir, 1973). Wyniki laboratoryjne, jak i te uzyskane w modelowaniu są do siebie zbliżone i charakteryzują się tym samym trendem. Najmniej przepuszczalne są sól potasowa starsza k2 oraz anhydryt górny a1g, przyjmując średnią wartość równą 0 md. Najbardziej przepuszczalne są: ility solny czerwony dolny t4a (osiąga wartość 75,04 md) oraz ility solny szary t3 (osiąga wartość 94,40 md).

Warstwy o najlepszych parametrach zbiornikowych w otworze Brojce IG 1 występują:

- w utworach synemuru górnego (górną część formacji ostrowickiej) o średniej porowatości 21,5% w interwale głęb. 805,0–840,0 m i 862,0–906,0 m;

Tabela 22

Wartości wyliczonej porowatości efektywnej w otworze Brojce IG 1
Effective porosity in the Brojce IG 1 borehole

Nazwa kompleksu Rock formation's name	Jednostka litostratygiczna Lithostratigraphic unit	Wartość minimalna Minimum	Wartość maksymalna Maximum	Średnia arytmetyczna Arithmetic mean	Mediana Median
Cechsztyń	rewalska formacja (fm)	0,00	0,13	0,03	0,02
	podcyklotem PZ4c	0,00	0,14	0,04	0,03
	sól kamienna najmłodsza stropowa Na4b2	0,00	0,13	0,03	0,00
	ility solny czerwony górny – część górna T4b2	0,00	0,16	0,03	0,01
	sól rozdzielająca Na4b1	0,00	0,11	0,03	0,01
	ility solny czerwony górny – część dolna T4b1	0,05	0,19	0,12	0,11
	sól kamienna najmłodsza górna Na4a2	0,01	0,10	0,07	0,07
	anhydryt pegmatytowy górny	0,04	0,04	0,04	0,04
	sól kamienna najmłodsza dolna Na4a1	0,03	0,08	0,06	0,05
	anhydryt pegmatytowy dolny A4a1	0,02	0,07	0,05	0,05
	sól podścielająca Na4a0	0,00	0,07	0,03	0,04
	ility solny czerwony dolny T4a	0,04	0,31	0,17	0,17
	sól kamienna młodsza Na3	0,00	0,25	0,09	0,09
	anhydryt główny A3	0,00	0,08	0,01	0,00
	dolomit płytowy Ca3	0,02	0,16	0,08	0,07
	ility solny szary T3	0,14	0,28	0,21	0,21
	anhydryt kryjący A2r	0,12	0,28	0,17	0,14
	sól kamienna starsza kryjąca Na2r	0,01	0,06	0,02	0,02
	sól potasowa starsza K2	0,00	0,02	0,00	0,00
	sól kamienna starsza Na2	0,00	0,14	0,03	0,04
dolomit główny Ca2	0,00	0,16	0,02	0,00	
anhydryt górny A1g	0,00	0,07	0,01	0,01	
sól kamienna najstarsza Na1	0,00	0,07	0,01	0,02	
anhydryt dolny A1d	0,00	0,14	0,01	0,00	
wapień cechsztyński Ca1, łupki miedzionośny T1	0,00	0,24	0,06	0,00	
Czerwony spągowiec	Noteci podgrupa	0,00	0,10	0,02	0,02
	wielkopolska podgrupa (pgr)	0,00	0,10	0,01	0,00

Tabela 23

Wartości wyliczonej przepuszczalności w otworze Brojce IG 1
Permeability in the Brojce IG 1 borehole

Nazwa kompleksu Rock formation's name	Jednostka litostratygraficzna Lithostratigraphic unit	Wartość minimalna Minimum	Wartość maksymalna Maximum	Średnia arytmetyczna Arithmetic mean	Mediana Median
Cechsztyń	rewalska formacja (fm)	0,00	11,18	0,75	0,03
	podcyklotem PZ4c	0,00	14,79	1,42	0,13
	sól kamienna najmłodsza stropowa Na4b2	0,00	10,56	0,76	0,09
	ił solny czerwony górny – część górna T4b2	0,00	27,58	1,85	0,08
	sól rozdzielająca Na4b1	0,00	6,20	0,51	0,03
	ił solny czerwony górny – część dolna T4b1	0,33	56,40	13,67	5,39
	sól kamienna najmłodsza górna Na4a2	0,00	4,85	1,44	0,51
	anhydryt pegmatytowy górny	0,14	0,16	0,15	0,15
	sól kamienna najmłodsza dolna Na4a1	0,02	1,97	0,50	0,36
	anhydryt pegmatytowy dolny A4a1	0,01	0,90	0,37	0,16
	sól podścielająca Na4a0	0,00	0,99	0,28	0,00
	ił solny czerwony dolny T4a	0,08	360,00	75,04	22,50
	sól kamienna młodsza Na3	0,00	51,35	4,76	1,56
	anhydryt główny A3	0,00	1,85	0,06	0,00
	dolomit płytowy Ca3	0,00	23,57	3,97	0,73
	ił solny szary T3	17,29	239,54	94,40	75,17
	anhydryt kryjący A2r	7,99	255,05	67,88	31,20
	sól kamienna starsza kryjąca Na2r	0,00	0,62	0,06	0,01
	sól potasowa starsza K2	0,00	0,00	0,00	0,00
	sól kamienna starsza Na2	0,00	17,74	0,22	0,04
dolomit główny Ca2	0,00	25,74	1,62	0,13	
anhydryt górny A1g	0,00	0,87	0,00	0,00	
sól kamienna najstarsza Na1	0,00	0,79	0,01	0,00	
anhydryt dolny A1d	0,00	15,64	0,29	0,08	
wapień cechsztyński Ca1, łupek miedzionośny T1	0,00	126,14	15,68	16,33	
Czerwony spągowiec	Noteci podgrupa	0,00	4,75	0,26	0,04
	wielkopolska podgrupa (pgr)	0,00	3,33	0,09	0,01

- w górnej części utworów hetangu (formacja skłobska) o porowatości 20% w interwale głęb. 955,0–985,0 m;
- w warstwach piaskowcowych w ilastych utworach kajpru o porowatości powyżej 22% (głęb. 1197,5–1218,5; 1360,0–1382,5; 1460,0–1482,5 m);
- w utworach piaskowcowych formacji barwickiej (głęb. 1940,0–1965,0; 1976,0–1990,0 m);
- w utworach piaskowcowych formacji połęczyńskiej (głęb. 2135,0–2157,0; 2222,5–2235,0; 2282,5–2312,5; 2350,0–2357,5 m);
- w utworach piaszczystych formacji bałtyckiej (głęb. 2530,0–2540,0 m).

Wśród wytypowanych przez geofizyków warstw o dobrych parametrach zbiornikowych przetestowano utwory piaszczyste formacji bałtyckiej (głęb. 2526,0–2542,0 m), gdzie stwierdzono przyptyw solanki w ilości 6320 l słabo

zgaszanej gazem niepalnym. Przetestowano również interwał głęb. 1938,0–1960,0 m formacji barwickiej, otrzymując silny przyptyw solanki w otworze w ilości 6300 l bez śladów węglowodorów. Przetestowano również najniższy interwał perspektywiczny kajpru 1459,0–1481,0 m głęb., Otrzymując przyptyw solanki w ilości 5050 l bez objawów węglowodorów. Na końcu przetestowano utwory synemuru górnego 858,0–900,0 m głęb., Uzyskując przyptyw 2750 l solanki bez objawów węglowodorów. Przeprowadzone próby złożowe potwierdziły prawidłowość oceny geofizycznej właściwości kolektorskich. Dodatkowym potwierdzeniem było niezyskanie przyptywu w trakcie prób złożowych w warstwach czerwonego spągowca i dolomitu głównego, gdzie wg orzeczeń geofizycznych występowały niekorzystne właściwości kolektorskie. W analizowanym otworze nie występują warstwy nasycone węglowodorami.

Kinga BOBEK

WYNIKI POMIARÓW ŚREDNICH PRĘDKOŚCI

Pomiary prędkości średnich w otworze Brojce IG 1 zostały wykonane przez Grupę Sejsmometrii Wiertniczej Geofizyki Toruń w dniach 07–11 stycznia 1986 r. Prace pomiarowe przeprowadzono za pomocą aparatury CS5-G z sondą 1-geofonową typu NT. Wyniki wykonanych pomiarów zapisano dla interwału głęb. 15–4230 m, z odstępem co 15 m. Wymieniony interwał głębokościowy odpowiada poziomom stratygraficznym od czwartorzędu do środkowego dewonu (żywet). Punkty wzbudzenia usytuowano w następujący sposób:

PW1	$d = 50$ m	$A = 180^\circ$	$N = 0$ m
PW2	$d = 100$ m	$A = 260^\circ$	$N = 0$ m
PW3	$d = 50$ m	$A = 340^\circ$	$N = 0$ m

gdzie:

 d – odległość punktu wzbudzenia od głębokiego odwiertu; A – azymut mierzony w punkcie głębokiego odwiertu w kierunku PW; N – niwelacja PW w stosunku do wylotu głębokiego odwiertu.

Po wykonaniu pomiarów i zebraniu odpowiednich odczytów, wykonano redukcję głębokości do poziomu odniesienia, który w przypadku analizowanego otworu przyjęto na poziomie 0 m n.p.m. Redukcję czasu poprawionego do pionu dla każdego z punktów wzbudzenia: $t_r 1$, $t_r 2$ oraz $t_r 3$ przeprowadzono za pomocą programu emc, zakładając jednorodność ośrodka skalnego, a więc prostoliniowy przebieg promienia sejsmicznego. Taki układ oznacza, że czas można zredukować, korzystając z następującego równania:

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

gdzie:

$$C_s = \frac{H_0}{V_0} + \frac{H_1}{V_1} + \frac{H_2}{V_2}$$

 t_r – czas zredukowany; H – głębokość rejestracji; t_o – czas obserwowany; h_r – głębokość punktu pomiarowego zredukowana do poziomu odniesienia; d – odległość punktu wzbudzenia od głębokiego odwiertu dla danego PW; H_0, H_1, H_2 – miąższości SMP; V_0, V_1, V_2 – prędkości SMP.

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 średnią arytmetyczną oznaczoną symbolem t_r zestawiono w tabeli 24.

Zestaw otrzymanych wyników stanowił podstawę konstrukcji krzywej prędkości średnich (fig. 42A) oraz hodografu pionowego (fig. 42B). Krzywa prędkości średnich została dodatkowo wygładzona metodą średniej ruchomej, w celu zredukowania wpływu wartości odstających. Uzyskany hodograf pionowy wskazuje na liniową zależność między wzrostem głębokości a czasem rejestracji.

Przeprowadzenie wymienionych obliczeń pozwoliło na wyznaczenie średnich wartości czasu pomierzonego i wyznaczenie średniej prędkości fali P dla poszczególnych kompleksów prędkościowych przez zastosowanie procedury wygładzenia pomiarów. 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 (20,0–4180,0 m). Następnie wygładzenie otrzymanych wyników przeprowadzono stosując splot z filtrem trójkątnym dobranym odpowiednio do wartości uzyskanych w danym otworze. Zastosowanie tej procedury pozwoliło na zniwelowanie wpływu przypadkowych skoków wartości wywołanych błędami pomiarowymi oraz zaokrągleniem otrzymanych wyników do 1 ms. W wyniku powtarzania wymienionych operacji otrzymano załamania hodografu odpowiadające zmianom prędkości w kolejnych warstwach. Powstałe w ten sposób 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 wyżej zbiorami danych, zawarte są w banku danych prędkościowych utworzonych w latach 90. XX w. w Zakładzie Geofizyki PIG na potrzeby interpretacji sejsmiki refleksyjnej. Bank ten znajduje się obecnie w CBDG.

Wykryte różnice czasów pomiędzy kolejnymi wygładzeniami spowodowane są zmianami prędkości fali sejsmicznej w kolejnych warstwach, związane ze zmiennością litologiczną poszczególnych kompleksów skalnych. Zjawisko to wykorzystano w celu wyznaczenia granic kompleksów prędkościowych w miejscach maksymalnych bezwzględnych różnic czasu wygładzonego n i $n + 1$ razy. Granice te wyznaczono poprzez obliczenie maksymalnych gradientów średniej prędkości fali. Otrzymane wartości w interwałach pomiędzy kolejnymi punktami przegięcia, odpowiadają uśrednionym wartościom kompleksów o prędkościach istotnie różnych od tych uzyskanych dla warstw sąsiednich. Wszystkie wymienione powyżej obliczenia oraz graficzna prezentacja wyników zostały wykonane z wykorzystaniem

Tabela 24

Zestawienie wartości czasów pomierzonych z trzech punktów wzbudzenia (t_1 , t_2 i t_3),
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_1 , t_2 i t_3), reduced time (t_r) and values of the average velocity (V_{sr}) for a measured depth (h)

h [m]	t_1 [s]	t_2 [s]	t_3 [s]	t_r [s]	V_{sr} [m/s]
11	0,000	0,007	0,000	0,007	1476,555
26	0,000	0,018	0,000	0,018	1466,391
41	0,000	0,029	0,000	0,029	1473,115
56	0,040	0,039	0,038	0,039	1475,395
71	0,048	0,048	0,046	0,047	1517,654
86	0,054	0,056	0,053	0,054	1577,751
101	0,060	0,064	0,059	0,061	1646,226
116	0,067	0,071	0,065	0,068	1708,206
131	0,072	0,078	0,071	0,074	1761,754
146	0,079	0,085	0,078	0,081	1803,753
161	0,085	0,092	0,084	0,087	1837,873
176	0,092	0,099	0,092	0,094	1864,879
191	0,099	0,106	0,099	0,101	1890,617
206	0,105	0,112	0,106	0,108	1911,661
221	0,112	0,118	0,112	0,114	1931,725
236	0,119	0,124	0,119	0,121	1952,754
251	0,126	0,131	0,126	0,128	1970,569
266	0,132	0,136	0,133	0,134	1987,406
281	0,139	0,143	0,139	0,140	2004,563
296	0,146	0,148	0,145	0,146	2023,143
311	0,152	0,154	0,151	0,152	2040,150
326	0,158	0,160	0,157	0,158	2058,498
341	0,164	0,166	0,163	0,164	2077,941
356	0,170	0,172	0,168	0,170	2098,514
371	0,175	0,177	0,173	0,175	2119,458
386	0,180	0,182	0,178	0,180	2139,291
401	0,185	0,188	0,183	0,185	2158,031
416	0,191	0,193	0,190	0,191	2174,162
431	0,197	0,198	0,196	0,197	2187,834
446	0,203	0,203	0,202	0,203	2199,268
461	0,209	0,208	0,208	0,208	2210,787
476	0,215	0,214	0,214	0,214	2221,011
491	0,221	0,219	0,220	0,220	2230,664
506	0,228	0,224	0,226	0,226	2238,524
521	0,234	0,229	0,232	0,232	2245,379
536	0,241	0,235	0,238	0,238	2251,815
551	0,247	0,242	0,244	0,244	2257,934
566	0,253	0,247	0,250	0,250	2263,691
581	0,259	0,253	0,256	0,256	2270,949
596	0,265	0,258	0,262	0,262	2279,093
611	0,270	0,263	0,268	0,267	2286,892
626	0,276	0,268	0,274	0,273	2294,958
641	0,282	0,273	0,280	0,278	2303,777
656	0,288	0,278	0,286	0,284	2312,766
671	0,293	0,283	0,291	0,289	2320,931
686	0,298	0,288	0,296	0,294	2329,328
701	0,304	0,294	0,302	0,300	2337,956
716	0,309	0,300	0,307	0,305	2345,748
731	0,314	0,306	0,312	0,311	2353,717
746	0,319	0,312	0,317	0,316	2361,972
761	0,323	0,318	0,321	0,321	2369,482
776	0,327	0,325	0,327	0,326	2376,275
791	0,332	0,331	0,333	0,332	2382,376
806	0,338	0,336	0,339	0,338	2386,367
821	0,344	0,341	0,345	0,343	2390,666
836	0,350	0,347	0,351	0,349	2394,826
851	0,356	0,352	0,356	0,355	2398,853
866	0,362	0,357	0,362	0,360	2404,053
881	0,368	0,362	0,368	0,366	2410,431
896	0,372	0,367	0,373	0,371	2416,633
911	0,377	0,373	0,377	0,376	2423,532
926	0,382	0,379	0,382	0,381	2431,949
941	0,387	0,384	0,387	0,386	2440,557
956	0,391	0,389	0,391	0,390	2449,788
971	0,395	0,394	0,395	0,395	2459,243
986	0,399	0,399	0,399	0,399	2467,691
1001	0,404	0,404	0,404	0,404	2474,721
1016	0,410	0,409	0,410	0,410	2480,755
1031	0,416	0,413	0,416	0,415	2485,814
1046	0,422	0,416	0,422	0,420	2489,959
1061	0,428	0,419	0,428	0,425	2493,641
1076	0,434	0,424	0,434	0,431	2496,849
1091	0,440	0,429	0,441	0,437	2499,947
1106	0,446	0,435	0,446	0,442	2503,678
1121	0,451	0,440	0,451	0,447	2509,182
1136	0,455	0,445	0,455	0,452	2517,180
1151	0,458	0,451	0,458	0,456	2526,889
1166	0,461	0,456	0,461	0,459	2537,537
1181	0,465	0,460	0,465	0,463	2548,373
1196	0,469	0,464	0,469	0,467	2558,306
1211	0,473	0,468	0,473	0,471	2566,621
1226	0,478	0,472	0,478	0,476	2573,709
1241	0,483	0,477	0,483	0,481	2579,587
1256	0,488	0,482	0,488	0,486	2584,622
1271	0,493	0,487	0,493	0,491	2589,550
1286	0,498	0,491	0,498	0,496	2594,042
1301	0,503	0,495	0,503	0,500	2598,449
1316	0,508	0,500	0,509	0,506	2602,436
1331	0,513	0,505	0,514	0,511	2606,330
1346	0,518	0,510	0,520	0,516	2609,801
1361	0,523	0,515	0,524	0,521	2613,547
1376	0,528	0,520	0,529	0,526	2616,895
1391	0,533	0,525	0,534	0,531	2620,513
1406	0,539	0,530	0,539	0,536	2623,729
1421	0,544	0,535	0,544	0,541	2626,882
1436	0,549	0,540	0,549	0,546	2629,975
1451	0,554	0,545	0,554	0,551	2634,276
1466	0,559	0,550	0,559	0,556	2640,077
1481	0,563	0,554	0,563	0,560	2647,364
1496	0,566	0,558	0,566	0,563	2655,186
1511	0,569	0,562	0,569	0,567	2663,848
1526	0,573	0,567	0,573	0,571	2672,398
1541	0,577	0,571	0,577	0,575	2678,980
1556	0,581	0,575	0,581	0,579	2683,922
1571	0,586	0,580	0,587	0,584	2688,781
1586	0,591	0,585	0,592	0,589	2693,550
1601	0,594	0,590	0,597	0,594	2698,533
1616	0,597	0,594	0,602	0,598	2704,958

Tabela 24 cd.

h [m]	t_r 1 [s]	t_r 2 [s]	t_r 3 [s]	t_r [s]	V_{sr} [m/s]
1631	0,600	0,598	0,606	0,601	2711,909
1646	0,603	0,602	0,610	0,605	2719,071
1661	0,607	0,607	0,614	0,609	2725,846
1676	0,611	0,611	0,618	0,613	2732,232
1691	0,616	0,616	0,621	0,618	2737,940
1706	0,621	0,620	0,624	0,622	2743,573
1721	0,626	0,624	0,628	0,626	2749,127
1736	0,631	0,628	0,632	0,630	2754,610
1751	0,635	0,632	0,636	0,634	2760,016
1766	0,639	0,637	0,640	0,639	2765,926
1781	0,643	0,641	0,644	0,643	2772,337
1796	0,647	0,644	0,648	0,646	2778,102
1811	0,651	0,647	0,652	0,650	2783,800
1826	0,656	0,651	0,657	0,655	2789,146
1841	0,661	0,654	0,662	0,659	2794,135
1856	0,666	0,657	0,667	0,663	2799,050
1871	0,671	0,660	0,671	0,667	2805,304
1886	0,675	0,664	0,674	0,671	2812,048
1901	0,678	0,667	0,677	0,674	2819,557
1916	0,681	0,671	0,681	0,678	2826,993
1931	0,684	0,675	0,684	0,681	2834,905
1946	0,688	0,679	0,688	0,685	2842,459
1961	0,691	0,682	0,691	0,688	2850,490
1976	0,694	0,685	0,695	0,691	2858,442
1991	0,697	0,688	0,698	0,694	2866,598
2006	0,700	0,692	0,701	0,698	2874,401
2021	0,703	0,696	0,705	0,701	2882,131
2036	0,706	0,700	0,708	0,705	2889,239
2051	0,709	0,704	0,711	0,708	2896,007
2066	0,712	0,708	0,715	0,712	2902,978
2081	0,716	0,711	0,719	0,715	2909,072
2096	0,720	0,714	0,722	0,719	2914,027
2111	0,725	0,718	0,726	0,723	2918,924
2126	0,730	0,722	0,731	0,728	2924,030
2141	0,734	0,726	0,734	0,731	2929,075
2156	0,737	0,730	0,737	0,735	2934,867
2171	0,740	0,734	0,740	0,738	2941,143
2186	0,743	0,738	0,743	0,741	2947,096
2201	0,747	0,742	0,747	0,745	2952,726
2216	0,751	0,746	0,751	0,749	2957,774
2231	0,754	0,750	0,755	0,753	2963,026
2246	0,758	0,754	0,759	0,757	2968,750
2261	0,761	0,757	0,762	0,760	2974,942
2276	0,765	0,760	0,765	0,763	2981,340
2291	0,769	0,763	0,768	0,767	2988,463
2306	0,773	0,766	0,771	0,770	2995,007
2321	0,776	0,769	0,774	0,773	3001,496
2336	0,780	0,773	0,777	0,777	3007,672
2351	0,783	0,777	0,780	0,780	3013,537
2366	0,786	0,781	0,784	0,784	3018,835
2381	0,789	0,785	0,788	0,787	3024,086
2396	0,792	0,789	0,792	0,791	3029,031
2411	0,795	0,792	0,797	0,795	3033,679
2426	0,799	0,795	0,801	0,798	3038,030
2441	0,803	0,799	0,805	0,802	3042,589
2456	0,807	0,803	0,809	0,806	3047,607
2471	0,810	0,806	0,813	0,810	3053,081
2486	0,813	0,809	0,816	0,813	3059,263
2501	0,816	0,812	0,819	0,816	3065,651

h [m]	t_r 1 [s]	t_r 2 [s]	t_r 3 [s]	t_r [s]	V_{sr} [m/s]
2516	0,819	0,815	0,822	0,819	3071,493
2531	0,823	0,819	0,825	0,822	3077,285
2546	0,827	0,823	0,829	0,826	3083,028
2561	0,830	0,826	0,832	0,829	3088,473
2576	0,833	0,829	0,835	0,832	3094,123
2591	0,836	0,833	0,838	0,836	3100,226
2606	0,839	0,837	0,841	0,839	3105,789
2621	0,842	0,841	0,844	0,842	3110,815
2636	0,845	0,845	0,848	0,846	3115,800
2651	0,848	0,849	0,852	0,850	3120,498
2666	0,851	0,853	0,855	0,853	3124,913
2681	0,854	0,857	0,859	0,857	3129,050
2696	0,857	0,861	0,863	0,860	3133,151
2711	0,861	0,865	0,867	0,864	3137,214
2726	0,865	0,868	0,871	0,868	3141,483
2741	0,869	0,871	0,874	0,871	3145,956
2756	0,873	0,874	0,877	0,875	3150,876
2771	0,877	0,877	0,880	0,878	3155,998
2786	0,881	0,880	0,883	0,881	3160,605
2801	0,885	0,883	0,886	0,885	3165,176
2816	0,889	0,887	0,890	0,889	3169,472
2831	0,893	0,890	0,893	0,892	3173,498
2846	0,897	0,893	0,897	0,896	3177,018
2861	0,901	0,896	0,901	0,899	3180,980
2876	0,905	0,900	0,905	0,903	3184,908
2891	0,908	0,904	0,908	0,907	3189,039
2906	0,911	0,908	0,911	0,910	3193,139
2921	0,914	0,911	0,915	0,913	3197,908
2936	0,917	0,915	0,919	0,917	3202,642
2951	0,920	0,918	0,922	0,920	3207,111
2966	0,923	0,922	0,925	0,923	3211,085
2981	0,927	0,926	0,928	0,927	3215,260
2996	0,931	0,930	0,932	0,931	3219,170
3011	0,935	0,933	0,935	0,934	3223,277
3026	0,939	0,936	0,938	0,938	3227,813
3041	0,942	0,939	0,941	0,941	3232,551
3056	0,945	0,942	0,944	0,944	3237,255
3071	0,948	0,946	0,948	0,947	3242,155
3086	0,951	0,950	0,951	0,951	3247,021
3101	0,953	0,953	0,955	0,954	3251,853
3116	0,956	0,956	0,958	0,957	3256,881
3131	0,959	0,959	0,961	0,960	3262,104
3146	0,962	0,963	0,964	0,963	3267,294
3161	0,965	0,966	0,967	0,966	3272,450
3176	0,968	0,969	0,970	0,969	3277,348
3191	0,971	0,972	0,973	0,972	3282,665
3206	0,974	0,975	0,977	0,975	3288,172
3221	0,977	0,977	0,980	0,978	3294,096
3236	0,980	0,979	0,983	0,981	3300,434
3251	0,982	0,982	0,985	0,983	3307,637
3266	0,984	0,985	0,987	0,985	3315,253
3281	0,986	0,987	0,989	0,987	3323,058
3296	0,988	0,989	0,991	0,989	3330,605
3311	0,991	0,991	0,993	0,992	3338,116
3326	0,994	0,994	0,995	0,994	3345,146
3341	0,997	0,996	0,997	0,997	3351,692
3356	1,000	0,999	0,999	0,999	3357,982
3371	1,003	1,002	1,001	1,002	3364,239
3386	1,006	1,004	1,004	1,005	3370,464

Tabela 24 cd.

h [m]	t_r 1 [s]	t_r 2 [s]	t_r 3 [s]	t_r [s]	V_{sr} [m/s]
3401	1,009	1,006	1,007	1,007	3376,879
3416	1,011	1,008	1,010	1,010	3383,262
3431	1,013	1,010	1,013	1,012	3389,391
3446	1,016	1,012	1,016	1,015	3395,266
3461	1,019	1,015	1,019	1,018	3400,665
3476	1,022	1,018	1,022	1,021	3405,367
3491	1,025	1,021	1,025	1,024	3410,040
3506	1,028	1,025	1,028	1,027	3414,685
3521	1,031	1,027	1,031	1,030	3419,304
3536	1,034	1,030	1,034	1,033	3424,116
3551	1,037	1,033	1,037	1,036	3429,343
3566	1,040	1,035	1,040	1,038	3434,542
3581	1,043	1,037	1,043	1,041	3439,713
3596	1,045	1,040	1,046	1,044	3444,857
3611	1,048	1,043	1,049	1,047	3449,535
3626	1,051	1,046	1,052	1,050	3453,966
3641	1,054	1,050	1,055	1,053	3458,153
3656	1,057	1,053	1,058	1,056	3462,315
3671	1,060	1,056	1,061	1,059	3466,453
3686	1,063	1,059	1,064	1,062	3471,002
3701	1,066	1,062	1,067	1,065	3475,310
3716	1,068	1,065	1,070	1,068	3479,378
3731	1,071	1,069	1,073	1,071	3483,637
3746	1,074	1,073	1,076	1,074	3488,089
3761	1,076	1,076	1,079	1,077	3492,299
3776	1,078	1,079	1,082	1,080	3496,703
3791	1,081	1,082	1,085	1,083	3501,299

h [m]	t_r 1 [s]	t_r 2 [s]	t_r 3 [s]	t_r [s]	V_{sr} [m/s]
3806	1,084	1,085	1,088	1,086	3505,656
3821	1,087	1,088	1,091	1,089	3509,774
3836	1,090	1,091	1,094	1,092	3513,870
3851	1,093	1,094	1,097	1,095	3517,943
3866	1,096	1,097	1,100	1,098	3521,993
3881	1,099	1,100	1,103	1,101	3526,235
3896	1,102	1,103	1,106	1,104	3530,668
3911	1,105	1,105	1,109	1,106	3535,077
3926	1,108	1,108	1,111	1,109	3539,465
3941	1,111	1,111	1,114	1,112	3543,831
3956	1,114	1,114	1,117	1,115	3548,172
3971	1,117	1,117	1,120	1,118	3552,280
3986	1,120	1,119	1,123	1,121	3556,366
4001	1,123	1,122	1,126	1,124	3560,431
4016	1,126	1,125	1,129	1,127	3564,476
4031	1,129	1,128	1,132	1,130	3568,498
4046	1,132	1,131	1,135	1,133	3572,501
4061	1,135	1,134	1,137	1,135	3576,482
4076	1,138	1,137	1,140	1,138	3580,444
4091	1,141	1,140	1,143	1,141	3584,386
4106	1,144	1,143	1,146	1,144	3588,097
4121	1,147	1,146	1,149	1,147	3591,789
4136	1,150	1,149	1,152	1,150	3595,462
4151	1,153	1,152	1,155	1,153	3599,115
4166	1,156	1,155	1,158	1,156	3602,542
4181	1,159	1,158	1,161	1,159	3604,308
4196	1,163	1,161	1,164	1,163	3606,032

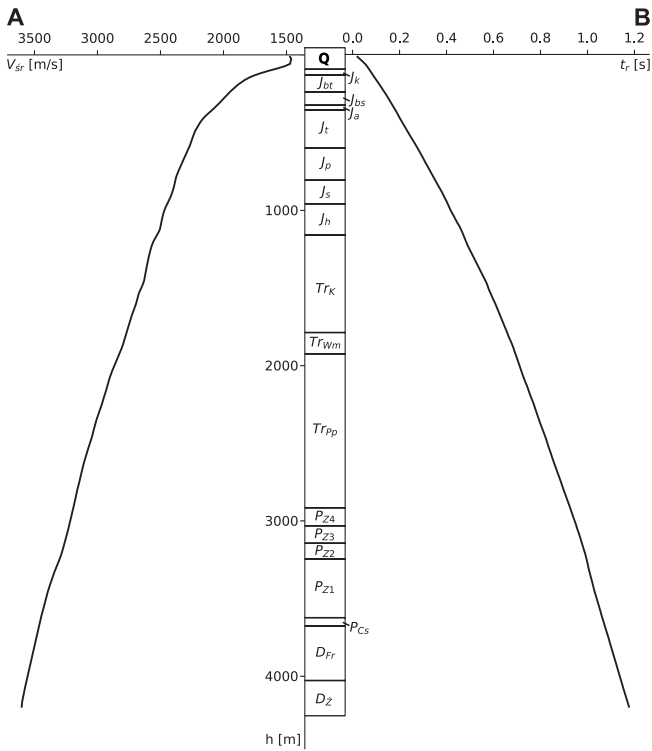


Fig. 42. Wykres prędkości średnich (A) i hodograf pionowy (B) otrzymane dla otworu Brojce IG 1 (poziom odniesienia 0 m n.p.m.)

t_r – średni czas zredukowany, V_{sr} – prędkość średnia, h – głębokość. Symbole stratygraficzne: Q – czwartorzęd, J_{kl} – kelowej, J_{bt} – baton, J_{bs} – bajos, J_a – aalen, J_t – toark, J_p – pliensbach, J_s – symenur, J_h – hettang, Tr_k – kajper, Tr_{wm} – wapień muszlowy, Tr_{pp} – pstry piaskowiec, PZ4 – cechszryn 4 (aller), PZ3 – cechszryn 3 (leine), PZ2 – cechszryn 2 (stassfurt), PZ1 – cechszryn 1 (werra), P_{cs} – czerwony spągowiec, D_{fr} – fran, D_z – żywet

Average seismic velocity (A) and travel-time curve (B)
(reference level 0 m a.s.l.)

t_r – average reduced time, V_{sr} – average velocity, h – depth. Stratigraphical symbols: Q – Quaternary, J_{kl} – Callovian, J_{bt} – Bathonian, J_{bs} – Bajocian, J_a – Aalenian, J_t – Toarcian, J_p – Pliensbachian, J_s – Sinemurian, J_h – Hettangian, Tr_k – Keuper, Tr_{wm} – Muschelkalk, Tr_{pp} – Buntsandstein, Pz4 – Zechstein 4 (aller), PZ3 – Zechstein 3 (leine), PZ2 – Zechstein 2 (stassfurt), PZ1 – Zechstein 1 (werra), P_{cs} – Rotliegend, D_{fr} – Fransian, D_z – Givetian

przygotowanego w tym celu modułu obliczeniowego utworzonego w języku Python (v. 3.9).

Zestaw uzyskanych wyników zawierający wartości prędkości wygładzonych (V_w), prędkości interwałowych (V_i) oraz prędkości kompleksowych (V_k) przedstawiono w tabeli 25, natomiast uzyskane krzywe tych prędkości przedstawiono w formie graficznej na figurze 43. W celu powiązania otrzymanych różnic prędkości średniej z poszczególnymi kompleksami odpowiadającymi jednostkom litologicznym rozpoznany w otworze Brojce IG 1, otrzymane wykresy zestawiono z profilem stratygraficznym.

W najwyższej części profilu otworu Brojce IG 1, obejmującej interwał głębokościowy od 0,0 do 100,0 m i odpowiadającej poziomom stratygraficznym od czwartorzędu do stropo-

wej części batonu, rozpoznano jako jeden kompleks prędkościowy o średniej prędkości fali wynoszącej 1775 m/s. Na granicy pomiędzy kelowejem a batonem widoczny jest istotny wzrost średniej prędkości kompleksowej z 1775 do 2238 m/s, co ma zapewne związek ze zwiększeniem się zawartości węglanów oraz występowaniem wkładek piaszczystych w stropowej części batonu. Poniżej, w obrębie kolejnych jednostek stratygraficznych środkowej i dolnej jury zmiany średniej prędkości są stosunkowo niewielkie (zwykle do ok. 100 m/s) i nie zaobserwowano wyraźnych refleksów będących efektem istotnych zmian litologicznych. Wyraźną granicę kompleksów prędkościowych zaobserwowano na głęb. 1120,0 m, co odpowiada granicy pomiędzy hettangiem (jura dolna) a kajprem (górnym trias). Na tej głębokości średnia prędkość fali P wzrasta z 2994 m/s do 3273 m/s, co może być efektem znaczącego zmniejszenia się zawartości materiału ilastego w formacjach piaskowcowych. Istotny spadek średniej prędkości z 3273 do 3123 m/s następuje na głęb. 1260,0 m, gdzie ma miejsce przejście fali z formacji piaskowcowych do serii iłowców wiśniowozielonych. Dalszy wzrost średniej prędkości z 3123 do 3515 m/s zaobserwowano na głęb. ok. 1500,0 m, w formacjach piaskowca trzciniowego, co jest wynikiem pojawienia się warstw piaszczystych w obrębie utworów ilastych. Znaczący wzrost średniej prędkości kompleksowej z 3876 m/s do 4267 m/s następuje na głęb. 1920,0 m, która odpowiada granicy pomiędzy wapieniem muszlowym a pstrym piaskowcem. Zaobserwowany wzrost jest efektem przejścia fali sejsmicznej z utworów marglistych do wapieni znajdujących się w spągowej części tego poziomu. Poniżej, na głęb. 2100,0 m następuje spadek średniej prędkości z 4264 do 4105 m/s, który związany jest ze zwiększeniem się ilości materiału ilastego w obrębie formacji z Połczyna. Poniżej, na głęb. 2220,0 m następuje widoczny wzrost prędkości kompleksowej z 4105 m/s do 4283 m/s, gdzie następuje zmiana litologii z ceglasczerwonych mułowców do drobnziarnistych piaskowców o wyższych prędkościach. Kolejną istotną granicę kompleksów, gdzie następuje wzrost średniej prędkości z 4284 do 4400 m/s, odnotowano na głęb. 2520,0 m w spągowej części formacji pomorskiej dolnego pstręgo piaskowca. Zmiana ta jest najpewniej spowodowana przejściem fali P z formacji ılasto-mułowcowych do piaskowców i piaskowców wapienistych znajdujących się na tej głębokości. Poniżej, na głęb. ok. 2660,0 m następuje spadek prędkości z 4400 m/s do 4244 m/s, co ma związek ze zmianą litologii z wysokoprędkościowych wapieni oolitowych do ıłowców i mułowców. Bardzo wyraźna granica kompleksów prędkościowych widoczna jest na głęb. 2840,0 m, gdzie następuje średni wzrost prędkości z 4249 do 4652 m/s. Granica ta w profilu stratygraficznym odpowiada granicy pomiędzy triasem a permem i odznacza się występowaniem wkładek anhydrytowych pomiędzy utworami ılastymi i mułowcowymi. Najbardziej wyraźna zmiana średniej prędkości w całym profilu badanego odwiertu widoczna jest w najniższym cyklotemie cechsztynu na głęb. 3260,0 m, gdzie następuje wzrost średniej prędkości z 4652 do 5919 m/s. Zmiana ta jest spowodowana przejściem fali P ze starszej soli kamiennej (Na2) i dolomitu głównego (Ca2) do anhydrytu górnego (Alg). Znaczący spadek widocznej prędkości do 5270 m/s następuje na głęb. 3440,0 m gdzie wi-

doczna jest zmiana litologii z anhydrytów (A1g) do soli kamiennych (Na1). Poniżej, na głęb. 3580,0 m, następuje spadek średniej prędkości z 5270 do 5110 m/s, co jest efektem zmiany litologii z jasnych anhydrytów najniższej części cechsztynu (A1d) do wapieni onkolitowych poziomu Ca1. Poniżej tej granicy następuje stopniowy spadek prędkości kompleksowej z 5110 do 5020 m/s bez gwałtownych przejść pomiędzy kolejnymi kompleksami.

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 Brojce IG 1 i odzwierciedla budowę geologiczną w jego najbliższym otoczeniu. Zmienność wartości prędkości kompleksowych dla poszczególnych wydziałów stratygraficznych przedstawia się następująco:

- $Q + J_k + J_{bt}$ – 1775 m/s;
- J_{bt} – 2238 m/s;
- J_{bs} – 2449 m/s;
- J_a – 2623 m/s;
- J_t – 2623 m/s – 2613 m/s;
- J_p – 2613 m/s – 2756 m/s – 2826 m/s;
- J_s – 2826 m/s – 2994 m/s;
- J_h – 2994 m/s – 3047 m/s;
- Tr_k – 3273 m/s – 3123 m/s – 3515 m/s – 3578 m/s – 3628 m/s – 3798 m/s;
- Tr_{Wm} – 3798 m/s – 4264 m/s;
- Tr_{pp} – 4105 m/s – 4284 m/s – 4400 m/s – 4244 m/s;
- Pz_4 – 4652 m/s;
- Pz_3 – 4652 m/s;
- Pz_2 – 4652 m/s;
- Pz_1 – 5919 m/s – 5270 m/s – 5110 m/s;
- P_{cs} – 5110 m/s – 5031 m/s;
- D_{Fr} – 5031 m/s – 5066 m/s – 5110 m/s – 5130 m/s;
- D_z – 5021 m/s.

Otrzymane wyniki pozwalają na identyfikację najbardziej wyraźnych odbić refleksyjnych na profilach sejsmicznych i ich dowiązanie do odpowiednich jednostek litostratygraficznych. W przypadku otworu Brojce IG 1, najbardziej wyraźnym refleksem będzie ten odpowiadający granicy pomiędzy dolomitem głównym (Ca2) i solami poziomu Na2 oraz anhydrytem górnym (A1g). W profilu sejsmicznym dobrze widocznymi refleksami powinny być również te odpowiadające granicy pomiędzy hettangiem (jura dolna) a kajprem (trias górny), granicy pomiędzy wapieniem muszlowym i pstrym piaskowcem oraz odnotowany wyraźny wzrost prędkości spowodowanym zmianą litologii na granicy pomiędzy triasem (dolny pstry piaskowiec) i permem (najwyższy cyklotem cechsztynu).

Wyniki obliczeń wykonanych w ramach przedstawionych analiz pozwolą na uzupełnienie aktualnego modelu prędkościowego, który jest kluczową częścią opracowania interpretacji sejsmicznych w najbliższym otoczeniu wybranego otworu. Przeprowadzone pomiary prędkości średnich w otworze Brojce IG 1 pozwolą na wykonanie korelacji i przyporządkowanie poziomów refleksyjnych na przekrojach sejsmicznych w interwałach głębokościowych odpowiadających poziomom stratygraficznym od czwartorzędu do żywetu.

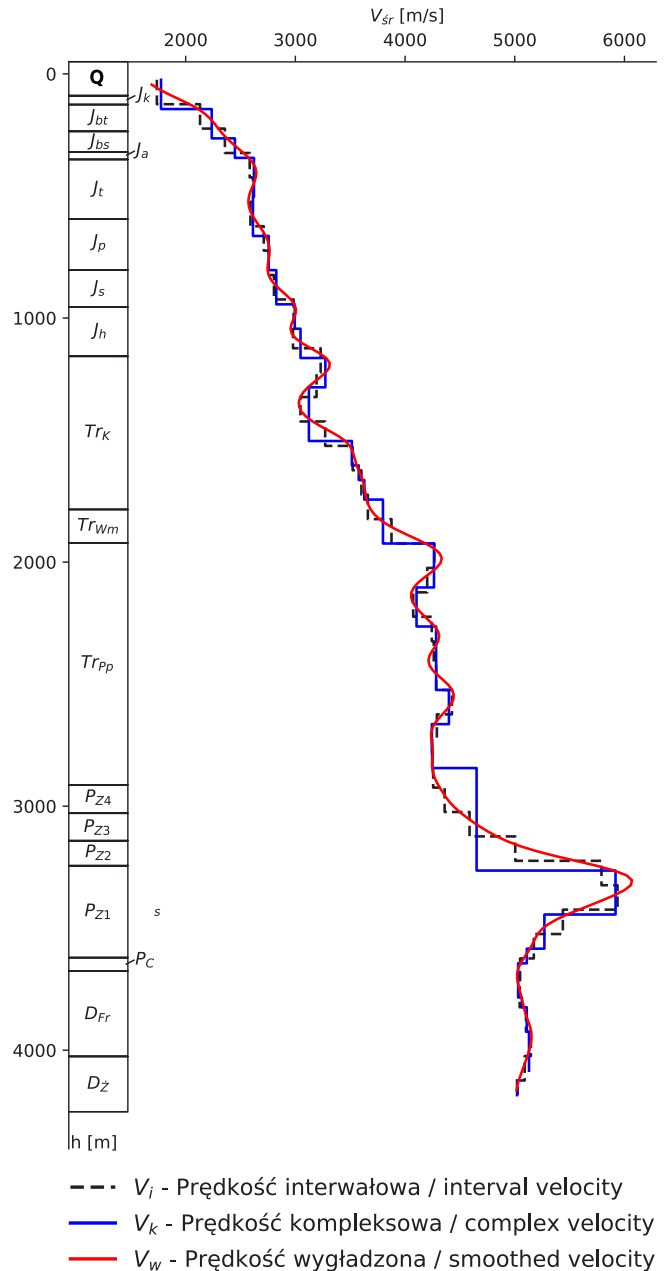


Fig. 43. Wykresy prędkości wygładzonych (V_w), prędkości interwałowych (V_i) oraz kompleksowych (V_k) dla otworu Brojce IG 1 (poz. odn. 0 m n.p.m.)

h – głębokość. Symbole stratygraficzne: Q – czwartorzęd, J_{kl} – kelowej, J_{bt} – baton, J_{bs} – bajos, J_a – aalen, J_t – toarc, J_p – pliensbach, J_s – symenur, J_h – hettang, Tr_k – kajper, Tr_{Wm} – wapień muszlowy, Tr_{pp} – pstry piaskowiec, PZ4 – cechsztyń 4 (aller), PZ3 – cechsztyń 3 (leine), PZ2 – cechsztyń 2 (stassfurt), PZ1 – cechsztyń 1 (werra), P_{cs} – czerwony spągowiec, D_{Fr} – fran, D_z – żywet

Smoothed velocity (V_w), interval velocity (V_i) and complex velocity (V_k) (reference level 0 m a.s.l.)

h – depth. Stratigraphical symbols: Q – Quaternary, J_{kl} – Callovian, J_{bt} – Bathonian, J_{bs} – Bajocian, J_a – Aalenian, J_t – Toarcian, J_p – Pliensbachian, J_s – Sinemurian, J_h – Hettangian, Tr_k – Keuper, Tr_{Wm} – Muschelkalk, Tr_{pp} – Buntsandstein, PZ4 – Zechstein 4 (aller), PZ3 – Zechstein 3 (leine), PZ2 – Zechstein 2 (stassfurt), PZ1 – Zechstein 1 (werra), P_{cs} – Rotliegend, D_{Fr} – Frasnian, D_z – Givetian

Tabela 25

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]	h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
20	0,012	1737,076	1775,069	1120	0,445	3230,600	3046,830
40	0,024	1737,076	1775,069	1140	0,451	3230,600	3046,830
60	0,036	1737,076	1775,069	1160	0,457	3230,600	3273,430
80	0,047	1737,076	1775,069	1180	0,463	3230,600	3273,430
100	0,058	1737,076	1775,069	1200	0,469	3230,600	3273,430
120	0,068	2130,833	1775,069	1220	0,475	3193,052	3273,430
140	0,077	2130,833	2237,637	1240	0,482	3193,052	3273,430
160	0,087	2130,833	2237,637	1260	0,488	3193,052	3273,430
180	0,096	2130,833	2237,637	1280	0,494	3193,052	3123,487
200	0,104	2130,833	2237,637	1300	0,501	3193,052	3123,487
220	0,113	2357,656	2237,637	1320	0,507	3046,273	3123,487
240	0,122	2357,656	2237,637	1340	0,514	3046,273	3123,487
260	0,130	2357,656	2448,780	1360	0,520	3046,273	3123,487
280	0,139	2357,656	2448,780	1380	0,527	3046,273	3123,487
300	0,147	2357,656	2448,780	1400	0,533	3046,273	3123,487
320	0,155	2583,579	2448,780	1420	0,540	3271,716	3123,487
340	0,163	2583,579	2622,509	1440	0,546	3271,716	3123,487
360	0,170	2583,579	2622,509	1460	0,552	3271,716	3123,487
380	0,178	2583,579	2622,509	1480	0,558	3271,716	3123,487
400	0,186	2583,579	2622,509	1500	0,564	3271,716	3515,093
420	0,193	2613,901	2622,509	1520	0,570	3522,119	3515,093
440	0,201	2613,901	2622,509	1540	0,575	3522,119	3515,093
460	0,208	2613,901	2622,509	1560	0,581	3522,119	3515,093
480	0,216	2613,901	2622,509	1580	0,587	3522,119	3515,093
500	0,224	2613,901	2613,403	1600	0,592	3522,119	3577,818
520	0,232	2590,271	2613,403	1620	0,598	3602,176	3577,818
540	0,239	2590,271	2613,403	1640	0,604	3602,176	3577,818
560	0,247	2590,271	2613,403	1660	0,609	3602,176	3628,447
580	0,255	2590,271	2613,403	1680	0,615	3602,176	3628,447
600	0,262	2590,271	2613,403	1700	0,620	3602,176	3628,447
620	0,270	2711,864	2613,403	1720	0,626	3660,992	3628,447
640	0,277	2711,864	2613,403	1740	0,631	3660,992	3798,490
660	0,285	2711,864	2756,276	1760	0,637	3660,992	3798,490
680	0,292	2711,864	2756,276	1780	0,642	3660,992	3798,490
700	0,299	2711,864	2756,276	1800	0,648	3660,992	3798,490
720	0,307	2757,024	2756,276	1820	0,653	3876,269	3798,490
740	0,314	2757,024	2756,276	1840	0,658	3876,269	3798,490
760	0,321	2757,024	2756,276	1860	0,663	3876,269	3798,490
780	0,328	2757,024	2756,276	1880	0,668	3876,269	3798,490
800	0,336	2757,024	2826,123	1900	0,673	3876,269	3798,490
820	0,343	2804,813	2826,123	1920	0,678	4267,304	4263,824
840	0,350	2804,813	2826,123	1940	0,683	4267,304	4263,824
860	0,357	2804,813	2826,123	1960	0,688	4267,304	4263,824
880	0,364	2804,813	2826,123	1980	0,692	4267,304	4263,824
900	0,371	2804,813	2826,123	2000	0,697	4267,304	4263,824
920	0,378	2984,006	2826,123	2020	0,701	4201,857	4263,824
940	0,385	2984,006	2994,460	2040	0,706	4201,857	4263,824
960	0,391	2984,006	2994,460	2060	0,711	4201,857	4263,824
980	0,398	2984,006	2994,460	2080	0,716	4201,857	4263,824
1000	0,405	2984,006	2994,460	2100	0,721	4201,857	4104,609
1020	0,412	2978,407	2994,460	2120	0,725	4074,150	4104,609
1040	0,418	2978,407	3046,830	2140	0,730	4074,150	4104,609
1060	0,425	2978,407	3046,830	2160	0,735	4074,150	4104,609
1080	0,432	2978,407	3046,830	2180	0,740	4074,150	4104,609
1100	0,438	2978,407	3046,830	2200	0,745	4074,150	4104,609
2220	0,750	4243,582	4104,609	3220	0,977	5790,723	4652,191

Tabela 25 cd.

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]	h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
2240	0,755	4243,582	4104,609	3240	0,980	5790,723	4652,191
2260	0,759	4243,582	4283,114	3260	0,984	5790,723	5918,911
2280	0,764	4243,582	4283,114	3280	0,987	5790,723	5918,911
2300	0,769	4243,582	4283,114	3300	0,990	5790,723	5918,911
2320	0,773	4261,666	4283,114	3320	0,994	5937,185	5918,911
2340	0,778	4261,666	4283,114	3340	0,997	5937,185	5918,911
2360	0,783	4261,666	4283,114	3360	1,000	5937,185	5918,911
2380	0,787	4261,666	4283,114	3380	1,004	5937,185	5918,911
2400	0,792	4261,666	4283,572	3400	1,007	5937,185	5918,911
2420	0,797	4283,572	4283,572	3420	1,011	5438,625	5918,911
2440	0,802	4283,572	4283,572	3440	1,014	5438,625	5270,324
2460	0,806	4283,572	4283,572	3460	1,018	5438,625	5270,324
2480	0,811	4283,572	4283,572	3480	1,022	5438,625	5270,324
2500	0,815	4283,572	4283,572	3500	1,026	5438,625	5270,324
2520	0,820	4427,718	4399,956	3520	1,029	5174,109	5270,324
2540	0,824	4427,718	4399,956	3540	1,033	5174,109	5270,324
2560	0,829	4427,718	4399,956	3560	1,037	5174,109	5270,324
2580	0,833	4427,718	4399,956	3580	1,041	5174,109	5109,862
2600	0,838	4427,718	4399,956	3600	1,045	5174,109	5109,862
2620	0,843	4290,188	4399,956	3620	1,049	5048,720	5109,862
2640	0,847	4290,188	4399,956	3640	1,053	5048,720	5031,025
2660	0,852	4290,188	4244,302	3660	1,057	5048,720	5031,025
2680	0,857	4290,188	4244,302	3680	1,061	5048,720	5031,025
2700	0,861	4290,188	4244,302	3700	1,065	5048,720	5031,025
2720	0,866	4247,186	4244,302	3720	1,069	5044,900	5031,025
2740	0,871	4247,186	4244,302	3740	1,073	5044,900	5031,025
2760	0,875	4247,186	4244,302	3760	1,077	5044,900	5031,025
2780	0,880	4247,186	4249,442	3780	1,081	5044,900	5065,856
2800	0,885	4247,186	4249,442	3800	1,085	5044,900	5065,856
2820	0,890	4256,225	4249,442	3820	1,088	5102,561	5109,536
2840	0,894	4256,225	4652,191	3840	1,092	5102,561	5109,536
2860	0,899	4256,225	4652,191	3860	1,096	5102,561	5109,536
2880	0,904	4256,225	4652,191	3880	1,100	5102,561	5109,536
2900	0,908	4256,225	4652,191	3900	1,104	5102,561	5109,536
2920	0,913	4360,909	4652,191	3920	1,108	5147,210	5130,084
2940	0,918	4360,909	4652,191	3940	1,112	5147,210	5130,084
2960	0,922	4360,909	4652,191	3960	1,116	5147,210	5130,084
2980	0,927	4360,909	4652,191	3980	1,120	5147,210	5130,084
3000	0,931	4360,909	4652,191	4000	1,124	5147,210	5130,084
3020	0,936	4587,998	4652,191	4020	1,127	5090,872	5130,084
3040	0,940	4587,998	4652,191	4040	1,131	5090,872	5130,084
3060	0,945	4587,998	4652,191	4060	1,135	5090,872	5130,084
3080	0,949	4587,998	4652,191	4080	1,139	5090,872	5130,084
3100	0,953	4587,998	4652,191	4100	1,143	5090,872	5020,921
3120	0,957	5004,755	4652,191	4120	1,147	5026,412	5020,921
3140	0,961	5004,755	4652,191	4140	1,151	5026,412	5020,921
3160	0,965	5004,755	4652,191	4160	1,155	5026,412	5020,921
3180	0,969	5004,755	4652,191	4180	1,159	5026,412	5020,921
3200	0,973	5004,755	4652,191				

Edyta NOWAK-KOSZLA, Sylwia KIJEWSKA

BADANIA SEJSMICZNE W REJONIE OTWORU WIERTNICZEGO BROJCE IG 1

W rejonie otworu wiertniczego Brojce IG 1 wykonano kilkadziesiąt profili sejsmicznych 2D oraz kilka zdjęć sejsmicznych 3D. Pierwsze dane, rejestrowane metodą cyfrową, pozyskiwano od drugiej połowy lat 70. XX w. Profile sejsmiczne 2D zrealizowano w ramach zdjęć sejsmicznych Gorzysław-Petrykozy 2D (1976), Wysoka Kamieńska-Białogard 2D, rejon Gryfice-Trzebiatów (1979-83), Jarkowo-Piaski 2D (1996-7), Piaski-Resko 2D (2002), Rybokarty-Komorowo 2D (2006), Piaski-Łosońnica-Żabowo 2D (2008) (CBDG, 2024). Natomiast badania sejsmiczne 3D obejmowały wykonanie m.in. zdjęcia Jarkowo 3D (2018), na skraju którego zlokalizowany jest otwór Brojce IG 1, Gorzysław 3D (2012), Drozdowo 3D (2018), Ślepce 3D (1995), czy Ciechanowo-Sławoborze-Biały Zdrój 3D (1997) (CBDG, 2024). Głównym celem realizacji ww. prac było szczegółowe rozpoznanie budowy geologicznej utworów dewonu, karbonu oraz permu (Makarewicz i in., 2009), które są uznawane za perspektywiczne pod względem występowania złóż węglowodorów. W wyniku prowadzonych poszukiwań odkryto złoża gazu ziemnego Gorzysław N, Gorzysław S i Trzebusz (Binder i in., 1980) oraz Dargosław (Gamrot i in., 2019), znajdujące się w piaskowcach karbonu, natomiast w utworach dolomitu głównego zidentyfikowano nagromadzenia ropy naftowej – struktury Petrykozy (Makarewicz i in., 2009).

W celu zobrazowania budowy geologicznej analizowanego obszaru zinterpretowano fragment profilu sejsmicznego T0870580 (fig. 44). Został on wykonany w 1980 roku w ramach tematu Wysoka Kamieńska-Białogard, rejon Gryfice-Trzebiatów, przez firmę Geofizyka Toruń Sp. z o.o. na zlecenie Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa w Warszawie. Przekrój ten usytuowany jest w kierunku NW–SE i przechodzi przez otwór Brojce IG 1.

Interpretowany fragment profilu T0870580 położony jest w północno-zachodniej części wału pomorskiego i przebiega wzdłuż osi synkliny Trzebiatowa.

Jakość sygnału prezentowanego przekroju jest zadowalająca i pozwoliła na prześledzenie przebiegu wybranych granic refleksyjnych oraz identyfikację uskoków. Jedynie w górnej części profilu, z uwagi na stosowaną w ówczesnych czasach metodykę pomiarową, obraz sejsmiczny jest bardzo słabej jakości lub brakuje zapisu. Widoczne są również opuszczenia punktów wzbudzenia.

W ramach prac interpretacyjnych została wykonana korelacja horyzontów sejsmicznych, związanych ze stropami utworów: górnej, środkowej i dolnej jury, górnego, środkowego i dolnego triasu, górnego i dolnego permu, górnego i dolnego karbonu, górnego i środkowego dewonu. Przed rozpoczęciem interpretacji granic refleksyjnych dane sejsmiczne zostały dowiązane do otworu Brojce IG 1. Podczas analizy budowy geologicznej rejonu zauważono, iż wzdłuż profilu T0870580 występują utwory kredy, górnej jury oraz górnego i dolnego karbonu, których obecności nie stwier-

dzono w otworze Brojce IG 1. Horyzonty związane z tymi utworami (spąg kredy/strop górnej jury, strop górnego i dolnego karbonu) zidentyfikowano i zinterpretowano na fragmencie profilu T0070582, po uprzednim dowiązaniu go do otworu Sadlno 1, a następnie korelowano je na przekroju T0870580. Profil T0070582 jest usytuowany w kierunku SW–NE i przecina sekcję T0870580 w jej północno-zachodniej części (fig. 44).

Najstarszymi zinterpretowanymi utworami były osady środkowego dewonu. Prześledzona granica refleksyjna związana była z kontaktem występujących w stropie środkowego dewonu margli z zalegającymi powyżej iłowcami marglistymi. Przebieg tego horyzontu jest hipotetyczny z uwagi na brak wyraźnego odbicia od tej granicy.

Horyzont sejsmiczny, odpowiadający stropowi utworów górnego dewonu, był słabo widoczny. W rejonie otworu Brojce IG 1 formował się on na kontakcie występujących w stropie górnego dewonu iłowców z zalegającymi powyżej skałami wylewnymi czerwonego spągowca. Wzdłuż interpretowanego profilu, w kierunku północno-zachodnim i południowo-wschodnim od najbliższego otoczenia otworu, stanowił on kontakt z prawdopodobnie występującymi tu utworami dolnego karbonu.

Granica refleksyjna związana ze stropem dolnego karbonu ma charakter hipotetyczny i odpowiada kontaktowi stropu piaskowców utworów tego wieku z zalegającymi w spągu iłowcami górnego karbonu (CBDG, 2024) oraz występującymi w spągu osadami czerwonego spągowca (Binder i Szewc, 1978).

Horyzont sejsmiczny, interpretowany jako strop górnego karbonu, tworzy się na kontakcie występujących w stropie tych utworów piaskowcach oraz stwierdzonych w spągu czerwonego spągowca skałach wylewnych (Binder i in., 1978). Zasięg i przebieg tego horyzontu sejsmicznego mają charakter umowny.

Dolny perm (czerwony spągowiec) reprezentowany jest przez skały wulkaniczne, tufy i tufity, skały piroklastyczne oraz osadowe (Makarewicz i in., 2009). Jako strop zinterpretowano wyraźne ujemne odbicie, pochodzące z kontaktu tych utworów ze spągiem wapienia cechsztyńskiego.

Górny perm (cechsztyń) tworzą utwory czterech cyklotemów. Na profilu sejsmicznym manifestuje bardzo złożoną budowę geologiczną. Liczne obserwowane odbicia pochodzą najprawdopodobniej od kontaktu soli z anhydrytami i skałami węglanowymi. W otworze Brojce IG 1 stwierdzono nieciągłość tektoniczną pomiędzy solą kamienną starszą (Na₂) a dolomitem głównym (Ca₂), która została zidentyfikowana na interpretowanym profilu w postaci dyslokacji o niewielkim zrzucie (fig. 44). W północno-zachodniej części sekcji sejsmicznej widoczny jest bardzo wyraźny układ odbić. Nie obserwuje się tu dyslokacji.

Strop utworów cechsztyń prezentuje się w postaci bardzo słabego refleksu, interpretowanego jako strop formacji

rewalskiej, reprezentowanej w górnej części profilu otworu Brojce IG 1 głównie przez iłowce i mułowce.

W południowo-wschodniej części fragmentu prezentowanego przekroju (fig. 44) widoczne są liczne uskoki, mające swoje założenia w utworach dewonu, a wygasające w górnym permie. Niektóre dyslokacje obserwowane są wyłącznie w utworach cechsztynu. Uskoki przebiegają pod różnymi kątami, a niektóre z nich mają charakter przeciwny.

Na profilu T0870580 w utworach permu i dewonu widoczna jest struktura Brojce, którą pierwotnie zidentyfikowano na archiwalnych materiałach (Makarewicz i in., 2009). Stanowi ona zrąb tektoniczny, ograniczony uskokiemi od północnego-zachodu i południowego-wschodu.

Strop dolnego triasu został zinterpretowany na mocnym ujemnym odbiciu, powstałym na granicy iłowców i mułowców, zalegających w stropie dolnego triasu z wapieniami, występującymi w spągowej części środkowego triasu. W utworach dolnego triasu, na głębokości odpowiadającej około jednej trzeciej miąższości tych osadów w odniesieniu do stropu cechsztynu, obserwuje się bardzo wyraźną granicę refleksyjną, związaną z obecnością piaskowca drawskiego. Liczne odbicia w górnej partii utworów dolnego triasu występują w związku z kontrastem impedancji akustycznej, pochodzącym od naprzemianległych pakietów piaskowców oraz warstw iłowców i mułowców.

Bardzo słabo zaznaczającą się na obrazie sejsmicznym granicę refleksyjną związaną ze stropem utworów środkowego triasu, korelowano wzdłuż granicy pakietu iłowców, piaskowców i mułowców, występujących w stropie utworów tego wieku z iłowcami, zalegającymi w spągu górnego triasu. W osadach środkowego triasu manifestuje się bardzo

silny refleks, odpowiadający stropowi wysokopiędkościowych utworów wapienia muszlowego.

Strop górnego triasu został zinterpretowany na granicy iłowców i mułowców, występujących w najwyższej partii utworów górnego triasu oraz piaskowców, stanowiących spąg osadów jury. W górnym triasie widoczne jest bardzo silne odbicie, związane ze stropem iłowców dolomitycznych.

Strop górnej jury stanowi kontakt pomiędzy zalegającymi w stropie piaskowcami, a iłowcami, występującymi w spągu utworów środkowej jury. Granica refleksyjna jest bardzo słabo widoczna i może mieć przebieg jedynie umowny.

Interpretacja horyzontu sejsmicznego pomiędzy środkową i górną jurą ma charakter hipotetyczny, z uwagi na brak wyraźnego odbicia od kontaktu pomiędzy tymi utworami. W otworze Brojce IG 1 strop tych utworów tworzą mułowce, natomiast bezpośrednio na nich zalegają utwory czwartorzędu. W otworze Sadlno 1 w stropie utworów środkowej jury stwierdzono obecność mułowców, natomiast w spągu górnej jury występuje pakiet, na który składają się mułowce, iłowce, węgle i wkładki piaskowców (Zasławski i Sikorska-Piekut, 1988).

Strop utworów górnej jury stanowi granicę pomiędzy pakietem mułowców, iłowców i węgla, a piaskowcami, występującymi w spągu kredy (Zasławski, Sikorska-Piekut, 1988).

W obrębie zalegających powyżej utworów kredy, którą reprezentują piaskowce i margle (Zasławski i in., 1988), nie są widoczne istotne granice refleksyjne.

Utwory mezozoiku na fragmencie interpretowanego profilu T0870580 (fig. 44) mają układ monoklinalny i zapadają w kierunku północno-zachodnim.

Jerzy NAWROCKI

WYNIKI BADAŃ MAGNETOSTRATYGRAFICZNYCH UTWORÓW PSTREGO PIASKOWCA

Magnetostratygrafia jest ważną metodą badań stratygraficznych utworów pstrego piaskowca z trzech powodów. Po pierwsze, utwory wypełniające basen niemiecko-polski pstrego piaskowca są ubogie w skamieniałości przewodnie, a zwłaszcza w te o krótkich i dobrze zdefiniowanych zasięgach stratygraficznych. Po drugie, ze względu na dużą zawartość tlenków żelaza, w tym zwłaszcza hematytu są wystarczająco silnie namagnesowane i co udowodniono licznymi badaniami – zawierające namagnesowanie o charakterze pierwotnym, tj. bliskim czasu sedymentacji skały. Po trzecie, zapis magnetostratygraficzny ujęty w globalnej skali zmian polarności magnetycznej na odcinku związanym z przełomem permu i triasu i w dolnym triasie charak-

teryzuje się obecnością szeregu zon o normalnej i odwrotnej polarności, które można korelować zarówno w skali basenu, jak i też globalnie. Pierwsza wiarygodna skala zmian polarności magnetycznej w obrębie utworów pstrego piaskowca basenu niemiecko-polskiego powstała w Polsce w oparciu o wyniki badań próbek rdzeni z ośmiu otworów, w tym z otworu Brojce IG 1 (Nawrocki, 1997). W następnych latach wykonano badania magnetostratygraficzne skał pstrego piaskowca z innych otworów wiertniczych na Niżu Polskim (Becker, Nawrocki, 2014; Nawrocki, Becker, 2020; Becker i in., 2020), jak również z odsłoneń w Górach Świętokrzyskich (Nawrocki i in., 2003).

ZAKRES I METODA BADAŃ

Przedmiotem badań paleomagnetycznych było 60 fragmentów rdzenia z otworu wiertniczego Brojce IG 1, pozyskanych z przedziału głęb. od 2921,5 m do 2851,3 m oraz od

2682,2 m do 2674,8 m. Badaniami objęto więc utwory kończącej sedymentację cechsztynu formacji rewalskiej oraz formacji bałtyckiej, zaliczanej już do dolnego pstrego pia-

skowca. Rdzeń wiertniczy z badanego otworu nie był orientowany horyzontalnie względem północy geograficznej. Stąd badane jego fragmenty posiadały jedynie orientację góra–dół. Tak więc jedynym parametrem wyznaczającym polarność kierunku paleomagnetycznego była jego inklinacja. Wystarczająco wysokie wartości inklinacji oczekiwanej na przelomie permu i triasu dla miejsca badań (30–35°) (np. Torsvik i in., 2012), przy jednoczesnej dużej różnicy między nimi a inklinacją współczesnego pola geomagnetycznego o wartości ok. 65° w miejscu badań, pozwalają na łatwe odróżnienie składowej pierwotnej od ewentualnych, późniejszych składowych wtórnych. Z każdego badanego fragmentu rdzenia wycięto diamentową koronką po kilka cylindrycznych próbek o średnicy 25 mm. W celu usunięcia wtórnych składowych namagnesowania i poznania struktury naturalnej pozostałości magnetycznej (NRM), każdą próbkę rozmagnesowywano termicznie w niemagnetycznym piecu własnej konstrukcji, który osłonięty był od wpływów zewnętrznego pola geomagnetycznego wielowarstwowym ekranem wykonanym z permalaju. Natężenia składowym NRM mierzono za pomocą magnetometru rotacyjnego JR-4, produkcji firmy *Geofizyka Brno*. Podatność magnetyczną próbek i jej anizotropię mierzono za pomocą mostka KLY-2 tej samej firmy. Do obliczeń statystycznych wykorzystano program komputerowy oparty na algorytmie Kirschvinka (1980). Nośniki namagnesowania identyfikowano za pomocą metody termomagnetycznej.

Uzyskane wyniki kategoryzowano. I tak polarność magnetyczną najwyższej, pierwszej kategorii przypisywano wynikom pozyskanym z co najmniej dwóch próbek danego fragmentu rdzenia, w których charakterystyczny kierunek paleomagnetyczny z przelomu permu i triasu zdefiniowano za pomocą metody dopasowania linii (Kirschvink, 1980). Kategorię drugą przyznawano danym pozyskanym również z co najmniej dwóch próbek, ale kierunek charakterystyczny wyznaczano tutaj metodą stabilnego punktu końcowego. Wyniki uzyskane jedną bądź drugą metodą, ale tylko w jednej próbce z fragmentu rdzenia, były zaliczane do najniższej, trzeciej kategorii.

WYNIKI BADAŃ

Nośniki naturalnej pozostałości magnetycznej

Głównym nośnikiem namagnesowania badanych skał jest hematyt. O jego obecności świadczy zanotowana na krzywej termomagnetycznej temperatura całkowitego rozmagnesowania izotermicznej pozostałości magnetycznej bliska 700°C (fig. 45A), jak również temperatury rozmagnesowania pierwotnej składowej NRM zawierające się między 600 a 700°C (fig. 46C). Wklęsły kształt krzywej termomagnetycznej wskazuje na obecność hematytu drobnoziarnistego tzw. pigmentu. Pierwotność namagnesowania oparte o ten nośnik jest przedmiotem dyskusji od wielu lat, jednak występowanie w obrębie czerwonych, hematytowych skał z wielu rejonów świata zmiennej polarności magnetycznej oraz negatywne paleomagnetyczne testy spójno-

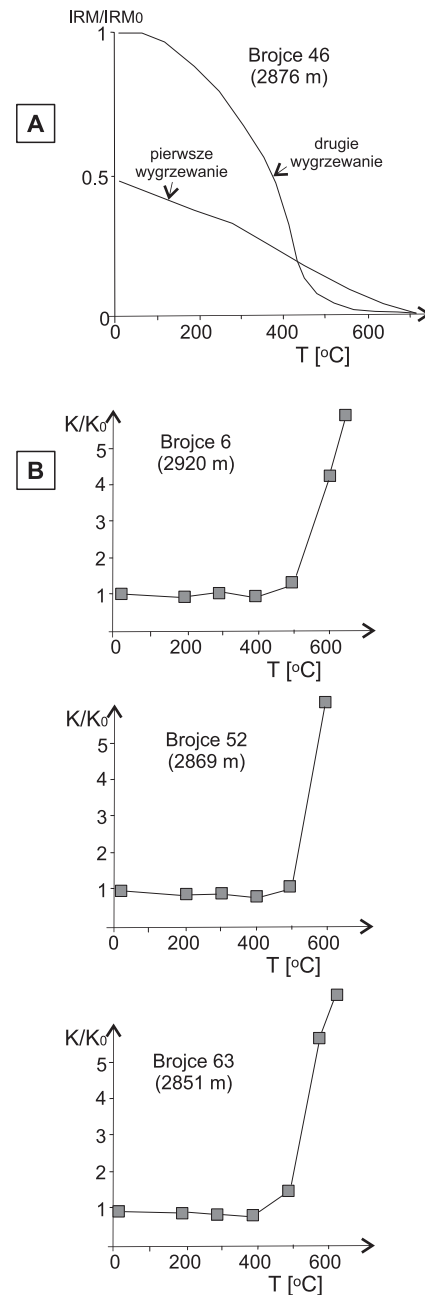


Fig. 45. A. Zmiany izotermicznej pozostałości magnetycznej ze wzrostem temperatury w próbce skalnej utworów cechsztynu z otworu Brojce IG 1. **B.** Zmiany podatności magnetycznej ze wzrostem temperatury w próbkach skalnych utworów cechsztynu i pstręgo piaskowca z otworu Brojce IG 1

IRM – izotermiczna pozostałość magnetyczna, IRM0 – wartość początkowa izotermicznej pozostałości magnetycznej; K – podatność magnetyczna, K0 – wartość początkowa podatności magnetycznej

A. Changes of isothermal remanent magnetization during progressive heating in the rock sample taken from Zechstein sediments of Brojce IG 1 borehole. **B.** Changes of magnetic susceptibility during progressive heating of rock samples from Zechstein and Buntsandstein sediments of Brojce IG 1 borehole

IRM – isothermal remanent magnetization, IRM0 – initial value of isothermal remanent magnetization; K – magnetic susceptibility, K0 – initial value of magnetic susceptibility

ści kierunków paleomagnetycznych w otoczkach ze zlepieńców z tych skał można przyjąć za wskaźniki pierwotności namagnesowania opartego na pigmentach hematytowym. W trakcie rozmagnesowania termicznego, w większości próbek z hematytowym nośnikiem NRM na ostatnich stopniach rozmagnesowania występuje znaczny wzrost wartości podatności magnetycznej (fig. 45B). Wzrost ten związany jest z powstawaniem nowej frakcji magnetycznej, najprawdopodobniej magnetytu z minerałów ilastych. Proces ten jednak dzięki ekranowaniu miejsca wygrzewania od wpływu zewnętrznego pola geomagnetycznego generalnie nie wpływał na zachowanie się wektora NRM z biegiem rozmagnesowania.

Charakterystyczne kierunki paleomagnetyczne

We wszystkich analizowanych próbkach w rezultacie termicznego rozmagnesowania składowa pierwotna NRM została wyodrębniona dopiero po usunięciu składowej wtórnej o wysokiej inklinacji (fig. 46). Składowa wtórna NRM dominuje w jej strukturze do temperatury co najmniej 350°C, a w wielu próbkach jest usuwana dopiero w temperaturze przekraczającej 600°C. W części próbek inklinacje początkowe są bliskie pionowym (fig. 46C). Nie można wykluczyć, że w tym przypadku wtórne namagnesowanie powstało w trakcie procesu wiercenia. W innych próbkach inklinacje te są bliskie 60°, co może wskazywać na utrwalenie się wtórnej pozostałości w wyniku pograżenia badanych skał i zmian diagenetycznych w nich pod wpływem nacisku nadkładu i podwyższonej temperatury.

Kierunki paleomagnetyczne związane z wysokotemperaturową składową NRM, zarówno te z inklinacją dodatnią jak i ujemną, na sferze rzutów układają się pasem w obsza-

rze o wartościach bezwzględnych inklinacji zawartych między 5° a 45° (fig. 46A). Deklinacje kierunków paleomagnetycznych są na sferze rozproszone ponieważ badane próbki nie były orientowane geograficznie lecz wyłącznie górną dół.

Polarność magnetyczna

W skałach formacji rewalskiej i najniższej części formacji bałtyckiej zidentyfikowano zapis zmiennej polarności magnetycznej. Najlepiej udokumentowana została magnetozone normalnej polarności występująca na granicy tych formacji i oparta na danych z 11 fragmentów rdzenia, z których 6 dostarczyło wyników kategorii pierwszej (fig. 47, magnetozone Tbn1). Poniżej tej magnetozony dominuje zapis polarności odwrotnej, przerwany tylko w 3 miejscach cienkimi magnetozonami polarności normalnej. Należy podkreślić jednak, że jakość wyników jest tutaj niższa – te pierwszej kategorii dotyczą tylko trzech fragmentów rdzenia. Stąd zdecydowano się tutaj zaznaczyć nazwą (PZr1) tylko najwyższą magnetozonę polarności odwrotnej, której górna granica z magnetozoną Tbn1 oparta jest na danych kategorii pierwszej. Powyżej ostatniej próbki wyznaczającej magnetozonę Tbn1, na przestrzeni 150 m nie pozyskano materiału badawczego. Pakiet osadów o miąższości ok. 12 m znajdujący się nad tą luką, także należący do formacji bałtyckiej, ujawnił obecność namagnesowania o polarności normalnej. Zidentyfikowaną tutaj magnetozonę nazwano Tbn3 (fig. 47). Taka numeracja (bez Tbn2) wynika z przeprowadzonej korelacji magnetostratygraficznej tej części otworu Brojce IG 1 z odpowiadającymi jej fragmentami profilu skał z pogranicza permu i triasu, nawierconymi w innych otworach na Niżu Polskim.

DYSKUSJA WYNIKÓW

Zmienna polarność oraz inklinacje kierunków charakterystycznych, odpowiadające tym oczekiwany dla miejsca badań w okresie permu i triasu, wskazują, że wysokotemperaturowe kierunki paleomagnetyczne są pierwotne lub zbliżone do pierwotnych. Stąd uzyskane magnetozone można uznać za realne, przydatne dla korelacji stratygraficznej zarówno w obrębie niemiecko-polskiego basenu sedymentacyjnego, jak i poza nim. Magnetozone normalnej polarności Tbn1 zdefiniowana na pograniczu pstrego piaskowca i cechsztynu została zidentyfikowana w tym miejscu również w innych otworach wiertniczych zlokalizowanych na Niżu Polskim – Kamień Pomorski IG 1, Otyń IG 1 (fig. 48), a także Jaworzna IG 1, Kosierz M-25 i Mszczonów IG 1. Miąższość skał, w których została ona utrwalona, wynosi generalnie od 60 do 80 m, będąc mniejszą (ok. 20 m) tylko w tym ostatnim z wymienionych otworów. W badanym otworze Brojce IG 1 nie zdefiniowano stropu magnetozony

Tbn1. Strefa normalnej polarności magnetycznej ma w nim 22 m miąższości, więc można przypuszczać, że jest to nie więcej niż połowa osadu związanego z zapisem magnetozone Tbn1 w polskiej części basenu niemiecko-polskiego. Poniżej tej magnetozony, w środkowej części formacji rewalskiej utrwalił się zapis odwrotnej polarności magnetycznej ujęty w postaci magnetozone PZr1 (fig. 48), którą zidentyfikowano również w wyżej wymienionych otworach wiertniczych. Jej miąższość wynosi w otworze Brojce IG 1 ok. 20 m. Zapis zmiennej polarności magnetycznej w niższej części formacji rewalskiej oparty jest głównie na danych trzeciej i drugiej kategorii. Stąd nie wprowadzono tutaj podziału na magnetozone.

Bardzo dobrej, pierwszej kategorii są natomiast dane magnetostratygraficzne z głęb. 2670,0–2682,0 m otworu Brojce IG 1, gdzie zdefiniowano magnetozonę normalnej polarności Tbn3. Magnetozone ta występuje ok. 200 m powy-

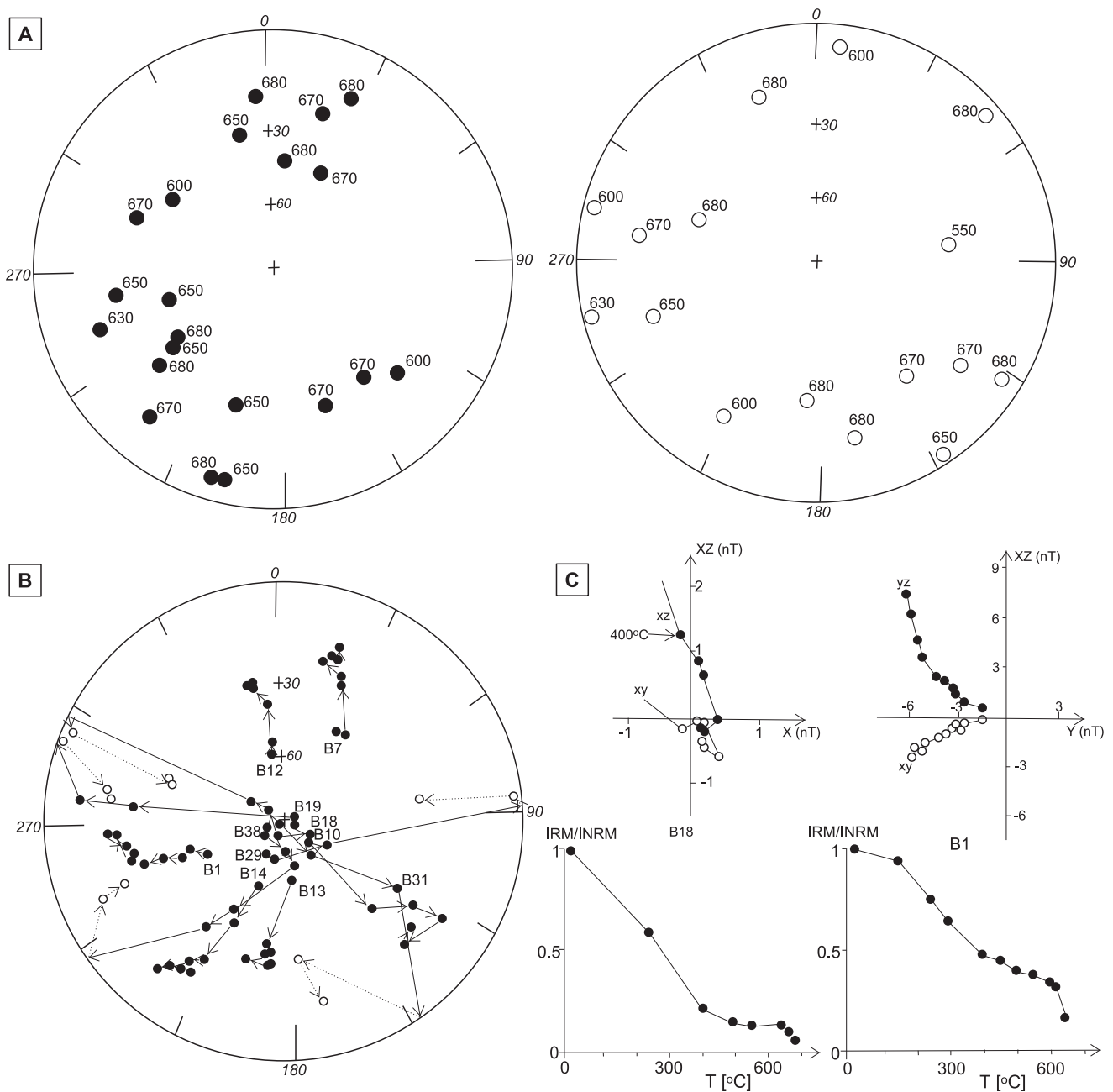


Fig. 46. **A.** Projekcja sferyczna kierunków charakterystycznych pozostałości magnetycznej otrzymanych z próbek utworów cechsztynu i pstrego piaskowca nawierzonych w otworze Brojce IG 1. **B.** Projekcja sferyczna ścieżek rozmagnesowania wybranych próbek z otworu Brojce IG 1. **C.** Przebieg rozmagnesowania dwóch próbek osadów pstrego piaskowca z otworu Brojce IG 1 zaprezentowany na diagramach ortogonalnych i krzywych spadku natężenia pozostałości magnetycznej

Czarne kółka – kierunki o inklinacji dodatniej (polarność normalna), białe kółka – kierunki o inklinacji ujemnej (polarność odwrotna); INRM – natężenie naturalnej pozostałości magnetycznej, IRM – natężenie pozostałości magnetycznej na danym stopniu rozmagnesowania

A. Stereographic projection of characteristic directions of magnetic remanence isolated from specimens of Zechstein and Buntsandstein sediments drilled in Brojce IG 1 borehole. **B.** Stereographic projections of demagnetization directional tracks of selected specimens from Brojce IG 1 borehole. **C.** The course of demagnetization of two Buntsandstein specimens from Brojce IG 1 borehole as presented on orthogonal plots and intensity of remanent magnetization decay curves

Black/white circles mark the directions with positive/negative inclination (normal/reversed polarity)

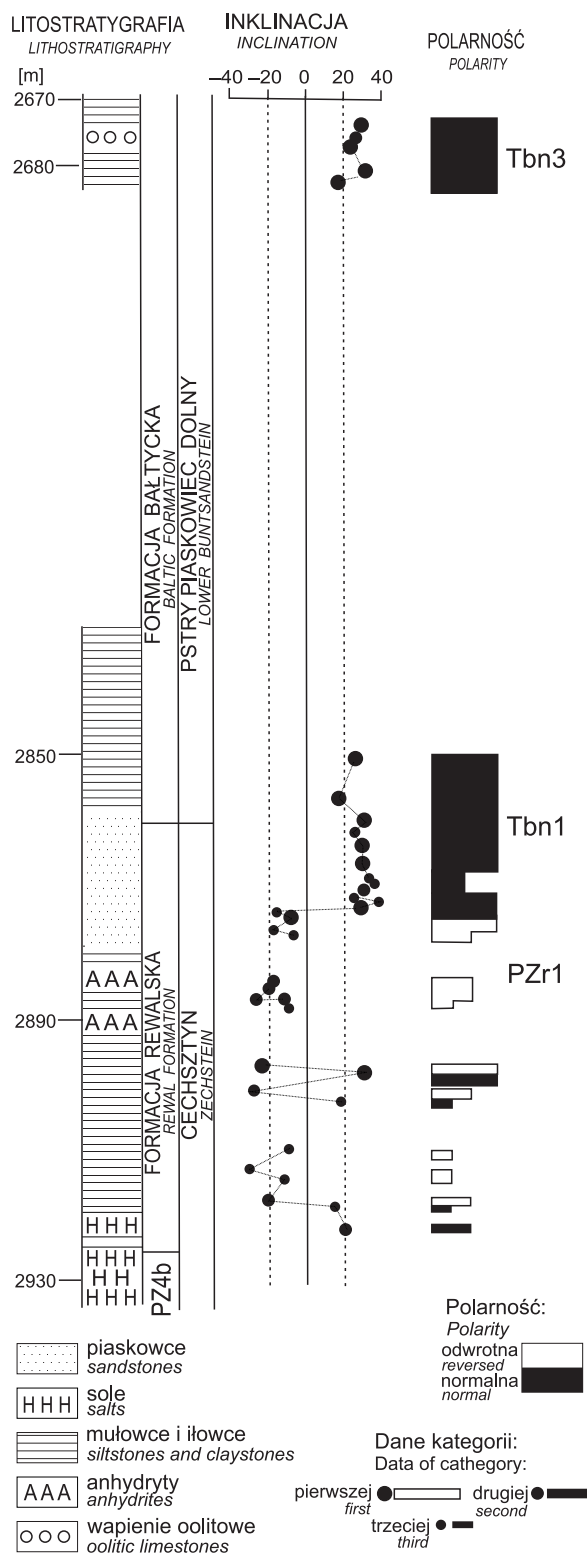


Fig. 47. Wykres zmian inklinacji kierunku charakterystycznego i polarności magnetycznej w obrębie badanych utworów cechsztyń i pstrego piaskowca z otworu Brojce IG 1

Chart with changes of characteristic direction and magnetic polarity changes in the studied Zechstein and Buntsandstein sediments from Brojce IG 1 borehole

żej spągu magnetozy Tbn1. W otworach Otyń IG 1 i Kamień Pomorski IG 1 odległość ta wynosi ok. 220 m. W otworze Otyń IG 1 pomiędzy magnetozonami Tbn1 i Tbn3 zidentyfikowano, mniej więcej w połowie odległości między nimi, magnetozonę polarności normalnej Tbn2. Stąd przyjęto, że zapis magnetostratygraficzny z głęb. 2670,0–2682,0 m odpowiada magnetozone Tbn3 a nie Tbn2. Brak zapisu Tbn2 wynika najprawdopodobniej tutaj z liczącej ok. 172 m luki w opróbowaniu sekwencji skalnej z otworu Brojce IG 1 (fig. 47).

Korelację magnetozon wyróżnionych w utworach z pogranicza permu i triasu otworu Brojce IG 1 ze światową skalą zmian polarności magnetycznej oparto na fakcie, że sedymentacja pstrego piaskowca rozpoczyna się w Polsce morską, klastyczną sekwencją transgresywną, która zawiera mikrospory najwcześniejszego triasu *Lundbladispora obsoleta*–*Protohaploxypinus panti* (Orłowska-Zwolińska, 1984). I rzeczywiście najniższe piętro triasu charakteryzuje obecność namagnesowania normalnego, które można korelować z magnetozoną Tbn1 (Nawrocki, 1997; Ogg, Steiner, 1991; fig. 48). Nie jest sprawą do końca wyjaśnioną, czy granica permu z triasem znajduje się w spągu tej magnetozy o normalnej polarności, czy też gdzieś wyżej w jej obrębie. Prace magnetostratygraficzne z niemieckiej części basenu niemiecko-polskiego, gdzie podstawą dowiązania do skali globalnej są poziomy małżoraczkowe, mogą przemawiać za tą drugą możliwością (Szurliés i in., 2003). Kolejne, dwie magnetozony o polarności normalnej również mają swoje odzwierciedlenie w obrębie globalnej skali zmian polarności magnetycznej. Zidentyfikowana w otworze Brojce IG 1 magnetozona Tbn3 zapewne odpowiada magnetozone, która rozpoczyna olenek (fig. 48). Można zatem stwierdzić, że badana część profilu utworów facji pstrego piaskowca powstawała w okresie od późnego czangsingu do najwcześniejszego oleneku. Zgodnie ze skalą czasową w najnowszej tabeli stratygraficznej (Cohen i in. 2013, zaktualizowane) okres ten obejmuje około jednego miliona lat. Tempo depozycji badanych osadów wynosiło zatem średnio 2,4 cm na 100 lat.

PODSUMOWANIE

Nawiercone w otworze Brojce IG 1 utwory formacji rewalskiej cechsztyń i formacji bałtyckiej dolnego pstrego piaskowca dostarczyły danych magnetostratygraficznych umożliwiających wyróżnienie trzech magnetozon. Dzięki temu możliwa była ich korelacja chronostratygraficzna z analogicznymi utworami z innych miejsc Niżu Polskiego, jak również dowiązanie ich do światowej skali zmian polarności magnetycznej. Dowiązanie to wskazuje, że badana część profilu otworu Brojce IG 1 powstawała w okresie późny czangsing – wczesny olenek. Średnie tempo sedymentacji badanych utworów wynosiło 2,4 cm na 100 lat.

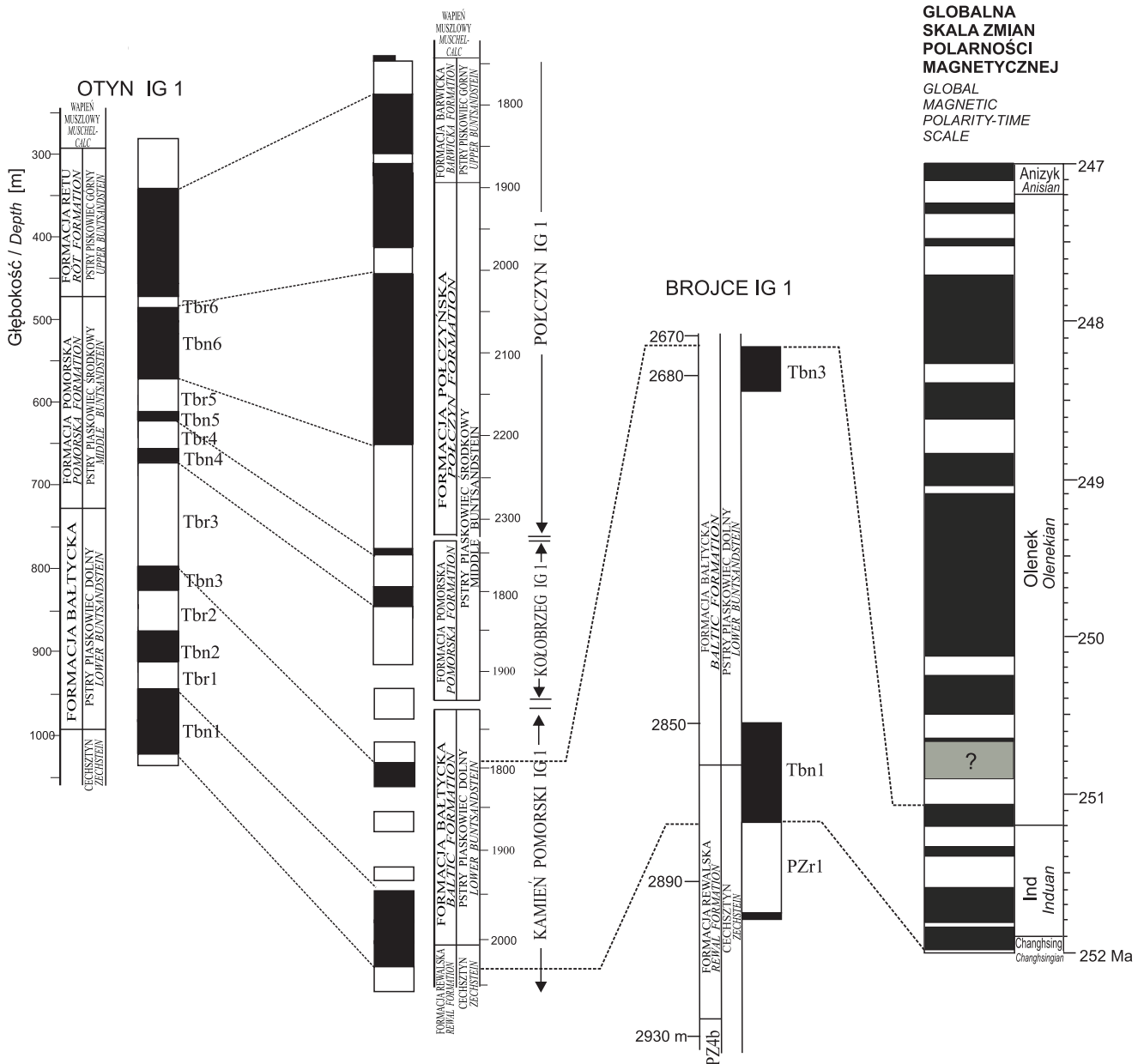


Fig. 48. Korelacja magnetozon wyróżnionych w osadach cechsztynu i pstrego piaskowca z otworu Brojce IG 1 z zapisem magnetostratygraficznym w analogicznych utworach nawierconych w otworach Otyń IG 1 i Kamień Pomorski IG 1, a także z globalną skalą zmian polarności (Hounslow, Muttoni, 2010)

Stratigraphic correlation of magnetozones that were defined in the Zechstein and Buntsandstein sediments of Brojce IG 1 borecore with magnetostratigraphic record from coeval sediments drilled in the Otyń IG 1 and Kamień Pomorski IG 1 boreholes, and also with the global magnetic polarity-time scale (Hounslow, Muttoni, 2010)