WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Jan SZEWCZYK

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ W OTWORZE WIERTNICZYM SŁAWA IG 1

WSTĘP

Zgodnie z projektem geologicznym otworu Sława IG 1 w trakcie realizacji prac wiertniczych w otworze sukcesywnie prowadzono badania z zakresu geofizyki wiertniczej. Wybór odcinków głębokościowych był związany zarówno z konstrukcją otworu, jak i z charakterem profilu litologiczno-stratygraficznego. W projekcie otworu przewidywano badania w trzech odcinkach pomiarowych, każdorazowo przed zarurowaniem kolejnych odcinków profilu. Badania prowadzono między 12.02.1974 r. a 19.09.1975 r., a ich wykonawcą był II Zespół Geofizyki Wiertniczej Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych z bazy w Poznaniu.

Badania wykonano w trzech odcinkach strefowych:

- 57–491 m (12.02.1974 r.) w odcinku o nominalnej średnicy 308 mm,
- 471–1640 m (1.07.1974 r.) w odcinku o średnicy 216 mm,
- 1643–2255 m (28.08.1974 r.) w odcinku o średnicy 141 mm.

Badania w dwóch pierwszych odcinkach rejestrowano analogowo w skali głębokościowej 1:500, a w odcinku trzecim, najgłębszym, zastosowano skalę 1:200. Poza standardowymi pomiarami radiometrycznymi badania objęły również sondowania oporności (SO). W trakcie wiercenia kilkakrotnie dodatkowo sprawdzono krzywiznę osi otworu (pomiar PK osi azymutu oraz odchylenia od pionu). Do tych ostatnich pomiarów, przeprowadzonych w odcinkach 25–490 oraz 500–1445 m, wykorzystano aparaturę typu AEKS-900. W celu określenia stanu zacementowania rur okładzinowych w całej jego zarurowanej części wykonano pomiar akustycznie ukierunkowany na zbadanie tego problemu. W pierwszym oraz trzecim odcinku badawczym przeprowadzono profilowanie temperatury w warunkach nieustabilizowanych (TN) w celu określenia temperatury płuczki wiertniczej – parametru wymaganego w interpretacji danych geofizycznych.

Po zakończeniu wiercenia otworu, po ok. 7-dobowej stabilizacji termicznej, przeprowadzono w otworze profilowanie temperatury w warunkach zbliżonych do stanu równowagi termicznej. W każdym z odcinków pomiarowych zmierzono temperaturę maksymalną na dnie otworu (ang. *BHT*).

Szczegółowe informacje na temat zakresu wykonanych badań geofizycznych przedstawiono w tabeli 13.

Tabela 13

Pomiary geofizyczne w otworze wiertniczym Sława IG 1

Well logs in the Sława IG 1 borehole

Numer strefy badań Measurement zone number	Rodzaj pomiaru Type of measurement	Początek [m] Start	Koniec [m] End	Typ sondy Instrument type	Data pomiaru Date of measurement	H_MAX [m]	Średnica nominalna wiercenia Caliper
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1	PO	57,0	491,0	M2,5A0,25B	12-02-1974	494,00	308
1	PO	57,0	491,0	B2,5A0,25M	12-02-1974	494,00	308
1	PS	57,0	491,0	–	12-02-1974	494,00	308

Tabela 13 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8
1	PS g	57,0	491,0	M2,5A0,25B	12-02-1974	494,00	308
1	POP	57,0	491,0	–	12-02-1974	494,00	308
1	Pśr	57,0	491,0	–	12-02-1974	494,00	308
1	Pśr	57,0	491,0	–	12-02-1974	494,00	308
1	PK	25,0	490,0	–	12-02-1974	494,00	308
1	TN	57,0	491,0	–	12-02-1974	494,00	308
1	PG	10,0	491,0	SP-62	12-02-1974	494,00	308
1	PNG	25,0	491,0	SP-62	12-02-1974	494,00	308
1	PGG	57,0	319,0	LSE-1	12-02-1974	494,00	308
1	PO	57,0	491,0	M0,5A0,1B	12-02-1974	494,00	308
1	PO	57,0	491,0	M1,0A0,1B	12-02-1974	494,00	308
1	PO	57,0	491,0	M2,5A0,25B	12-02-1974	494,00	308
1	PO	57,0	491,0	M4,0A0,5B	12-02-1974	494,00	308
1A	PO	400,0	664,0	M1,0A0,1B	20-03-1974	672,00	216
1A	PO	400,0	664,0	M1,0A1,0B	20-03-1974	672,00	216
1A	PK	600,0	665,0	–	20-03-1974	672,00	216
1A	PK	500,0	1445,0	–	10-06-1974	–	216
2	PO	471,0	1640,0	M2,5A0,25B	1-07-1974	1651,80	216
2	PO	471,0	1640,0	B2,5A0,25M	1-07-1974	1651,80	216
2	PS	471,0	1640,0	–	1-07-1974	1651,80	216
2	PS	471,0	1640,0	–	1-07-1974	1651,80	216
2	POP	471,0	1640,0	–	1-07-1974	1651,80	216
2	Pśr	471,0	1640,0	–	1-07-1974	1651,80	216
2	PK	1375,0	1640,0	–	1-07-1974	1651,80	216
2	PG	440,0	1640,0	SP-62	1-07-1974	1651,80	216
2	PNG	440,0	1640,0	SP-62	1-07-1974	1651,80	216
2	PO	471,0	1649,0	M0,5A0,1B	1-07-1974	1651,80	216
2	PO	471,0	1649,0	M1,0A0,1B	1-07-1974	1651,80	216
2	PO	471,0	1649,0	M2,5A0,25B	1-07-1974	1651,80	216
2	PO	471,0	1649,0	M5,28A0,82B	1-07-1974	1651,80	216
2	PO	471,0	1649,0	M8,0A1,0B	1-07-1974	1651,80	216
2A	mPŚr	1646,0	1966,0	–	7-08-1974	1970,00	
3	PO	1643,0	2255,0	M2,5A0,25B	28-08-1974	2266,00	141
3	PO	1643,0	2255,0	B2,5A0,25M	28-08-1974	2266,00	141
3	PS	1643,0	2255,0	–	28-08-1974	2266,00	141
3	PS	1643,0	2255,0	–	28-08-1974	2266,00	141
3	PS g	1643,0	2255,0	M2,5A0,25B	28-08-1974	2266,00	141
3	POP	1643,0	2255,0	–	28-08-1974	2266,00	141
3	POst	1645,0	2255,0	ABK-3	28-08-1974	2266,00	141
3	Pśr	1643,0	2255,0	–	28-08-1974	2266,00	141

Tabela 13 cd.

1	2	3	4	5	6	7	8
3	PK	1575,0	2260,0	–	28-08-1974	2266,00	141
3	PTn	1643,0	2255,0	–	28-08-1974	2266,00	141
3	PG	1555,0	2255,0	DRST-3	28-08-1974	2266,00	141
3	PNNt	1590,0	2255,0	DRST-3	28-08-1974	2266,00	141
3	PO	1643,0	2255,0	M0,5A0,1B	28-08-1974	2266,00	141
3	PO	1643,0	2255,0	M1,0A0,1B	28-08-1974	2266,00	141
3	PO	1643,0	2255,0	M2,5A0,25B	28-08-1974	2266,00	141
3	PO	1643,0	2255,0	M5,28A0,82B	28-08-1974	2266,00	141
3	PO	1643,0	2255,0	M8,0A1,0B	28-08-1974	2266,00	141
3A	PT	10,0	2218,0	–	11-09-1974	2273,00	–
3B	PAcem	50,0	1552,0	–	19-09-1974	2273,00	–

Do badań wykorzystano aparaturę analogową produkcji radzieckiej typu AKSŁ-7, a także sondę LSE-1 produkcji polskiej, w węglonośnych utworach paleogenu i neogenu realizującą pomiar gęstości służącej do wydzieleń warstw węgla brunatnego.

Dostępne w latach 70. XX wieku, tj. w okresie realizacji otworu Sławno IG 1, metody badań, a także istniejące w tym czasie możliwości sprzętowe pozwaliły na rozpoznanie profilu wiercenia jedynie w ograniczonym stopniu. Odnosi się to szczególnie do badań radiometrycznych, które miały podstawowe znaczenie zarówno przy rozpoznaniu profilu litologicznego, jak i przy próbach określenia właściwości petrofizycznych skał tworzących profil. Profilowania te prowadzono sondami niekalibrowanymi zarówno w metodzie profilowania naturalnego promieniowania gamma (PG), jak i profilowania gamma z wychwytu radiacyjnego neutronów termicznych (PNG) indukowanych przez izotopowe źródło neutronów prędkich. W obydwu metodach stosowano dwukanałową sondę SP-62 produkcji radzieckiej, pozwalającą na równoczesną realizację pomiaru w metodach PG oraz PNG. Detektory naturalnego promieniowania gamma (6 liczników typu G-M) o łącznej długości 72 cm umieszczano w odległości ok. 265 cm powyżej detektora kwantów gamma z wychwytu radiacyjnego neutronów. Poniżej źródła neutronów znajdował się pojemnik z termometrami maksymalnymi (zazwyczaj trzy termometry).

W sondzie neutronowej stosowano jako źródło neutronów prędkich izotopowe źródło typu Po-Be o okresie półrozpadu $T_{1/2}$ = 134 dni i aktywności w zakresie 3–4 Ci. Profilowania neutronowe typu PNG, będące wówczas jedyną metodą pozwalającą określić porowatość całkowitą skał, wykonywano sondami SP-62 przy nominalnej długości sondy wynoszącej 60 cm, rozumianej jako odległość: źródło neutronów–2/3 długości detektora.

W trzecim, najgłębszym odcinku badań zamiast profilowania PNG wykonano profilowanie neutronowe neutron–neutron termiczny (PNNt). Stosowano w nich sondy produkcji radzieckiej typu DRST-3 dostosowane do polskich warunków (sposób umieszczania źródła neutronów oraz odległość źródło–detektor). Efektywna długość sondy wynosiła w tym przypadku 50 cm, a stosowanym źródłem neutronów prędkich było standardowo źródło Po-Be (tak jak przy pomiarach wykonywanych metodą PNG).

Żadna z zastosowanych sond pomiarowych nie była centralizowana. Profilowania oporności, w formie pojedynczych pomiarów bądź zestawu tzw. sondowań (SO), wykonywano klasycznymi sondami gradientowymi spągowymi, każdorazowo przygotowywanymi (z odmierzanymi odległościami elektrod) bezpośrednio przed pomiarami na terenie otworu wiertniczego. Dokładność procedury przygotowania sond opornościowych mogła mieć wpływ na dokładność uzyskiwanych wartości oporności.

Pomiary analogowe rejestrowano na fotograficznych papierowych taśmach pomiarowych. Parametry pomiarów, szczególnie radiometrycznych, takie jak prędkość ruchu sondy oraz stałe czasowe układów integracyjnych, dostosowywano do skali głębokościowej wykonywanych badań. Pomiary radiometryczne rejestrowano przy pomocy analogowych integratorów impulsów. Ta technika, wówczas powszechnie stosowana, a obecnie całkowicie nieznana, zdecydowanie różni się od współczesnych cyfrowych metod rejestracji danych pomiarowych.

Kształt anomalii rejestrowanej jest zależny m.in. od prędkości sondy pomiarowej przemieszczającej się w otworze wiertniczym oraz od stałej czasowej integratora impulsów. Rejestrowana jest w ten sposób tzw. anomalia dynamiczna zniekształcona w stosunku do anomalii statycznej, a tym bardziej fizycznej, np. koncentracji izotopów promieniotwórczych lub porowatości czy gęstości, w stopniu zależnym głównie od wartości iloczynu tych dwóch wcześniej wymienionych parametrów. Był to główny, ale nie jedyny powód wykonywania pomiarów w różnych skalach głębokościowych dostosowanych do różnej miąższości warstw występujących w profilu (np. cienkie warstwy węgla).

Od sposobu rejestracji profilowań radiometrycznych zależały kształt i wielkość rejestrowanych anomalii, co wpływało zarówno na wyznaczanie głębokości granic poszczególnych warstw, ich miąższość, jak i na wysokość anomalii. Wszystkie te czynniki miały wpływ m.in. na określanie litologii oraz właściwości petrofizycznych warstw – szczególnie tych o niewielkiej miąższości (<1 m).

Ze względu na zmienny w czasie charakter miar głębokości stosowanych kabli geofizycznych (m.in. ze względu na ich rozciągliwość) w poszczególnych odcinkach badawczych mogą występować wzajemne przesunięcia głębokościowe wyników rejestracji poszczególnych typów profilowań. Element ten powinien być brany pod uwagę przy analizach danych geofizycznych oraz geologicznych.

Odcinki głębokościowe poszczególnych badań strefowych miały ok. 50-metrowe zakładki (powtórzenia) głębokościowe w stosunku do wcześniej wykonanych badań w leżącym wyżej odcinku. Ponadto w odniesieniu do większości metod badawczych w odcinkach profilu o największym zróżnicowaniu parametrów petrofizycznych wykonywano badania kontrolne w odcinkach nie krótszych niż 50 m. Głównym celem tych badań było określenie stopnia stabilności pracy stosowanych układów pomiarowych – będącej wówczas praktycznie jedynym sposobem weryfikacji poprawności rejestracji parametrów.

W połowie lat 90. XX w. większość wyników badań zdigitalizowano, a nieco później również zeskanowano. Zeskanowano zarówno źródłowe taśmy pomiarowe, jak i zestawy pomiarów tworzące poszczególne odcinki badań. Szczegółowe zestawienie profilowań geofizycznych istniejących w formie cyfrowej przedstawiono w tabeli 14.

Utworzone zostały również zbiory danych geofizycznych w formacie LAS (Log ASCII Standard) o jednolitym głębokościowym kroku pomiarowym równym 25 cm w odniesieniu zarówno do wyników badań odcinkowych, jak i do danych połączonych i unormowanych. Wszystkie one znajdują się w zasobach archiwalnych PIG-PIB (numer katalogowy otworu Sława IG 1 w bazie PIG – 26920).

Na figurze 27 przedstawiono zgeneralizowany profil stratygraficzno-litologiczny wraz z wynikami unormowanych i połączonych wartości profilowania naturalnego promieniowania gamma, a także profilowania średnicy otworu, ze wskazaniem głębokości połączenia poszczególnych odcinków badań. Pokazano równocześnie rdzeniowane fragmenty profilu, wraz z informacją o efektywności rdzeniowania, tj. o uzyskach rdzenia.

Na podstawie pomiarów skrzywienia osi otworu wynika, że we wszystkich trzech głównych odcinkach profilu odwierconych gryzerami bądź koronkami o różnych średnicach nominalnych (odpowiednio 308, 216 oraz 141 mm) nie nastąpiło większe odchylenie osi od pionu.

Tabela 14

Zestawienie profilowań geofizycznych istniejących w formie cyfrowej

Summary of digitized well logs

Lp. Number	Nazwa zbioru Dataset name	Początek [m] Start	Koniec [m] End	Liczba punktów Number of points	Krok [m] Step	H_MAX [m]
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
1	SLA11SR.BKR	48,20	496,10	4480	0,100	494,00
2	SLA11PG.BKR	10,40	499,70	4894	0,100	494,00
3	SLA11PS.BKR	57,30	492,40	4352	0,100	494,00
4	SLA11GG.BKR	56,00	317,00	2611	0,100	494,00
5	SLA11GP.BKR	53,50	491,10	4377	0,100	494,00
6	SLA11S2.BKR	47,90	491,60	4438	0,100	494,00
7	SLA11R2.BKR	47,40	490,90	4436	0,100	494,00
8	SLA11PN.BKR	24,60	490,90	4664	0,100	494,00
9	SLA11RD.BKR	42,30	490,20	4480	0,100	494,00
10	SLA11TN.BKR	45,00	495,10	4502	0,100	494,00
11	SLA11KG.BKR	134,20	203,90	698	0,100	494,00
12	SLA11KH.BKR	50,60	104,90	544	0,100	494,00
13	SLA11KN.BKR	443,50	498,70	553	0,100	494,00
14	SLA11R0.BKR	45,20	492,40	4473	0,100	494,20

Tabela 14 cd.

1	2	3	4	5	6	7
15	SLA11R1.BKR	45,30	491,70	4465	0,100	494,20
16	SLA112R.BKR	45,20	491,60	4465	0,100	494,20
17	SLA11R4.BKR	45,30	499,90	4547	0,100	494,20
18	SLA12SR.BKR	450,10	1479,95	20596	0,050	1651,8
19	SLA12PG.BKR	439,75	1479,95	20803	0,050	1651,80
20	SLA12PS.BKR	468,90	1479,95	20220	0,050	1651,80
21	SLA12P2.BKR	468,60	1479,95	20226	0,050	1651,80
22	SLA12RD.BKR	439,25	1479,95	20813	0,050	1651,80
23	SLA12S2.BKR	468,70	1479,95	20224	0,050	1651,80
24	SLA12R2.BKR	472,25	1479,95	20153	0,050	1651,80
25	SLA12PN.BKR	445,40	1479,95	20683	0,050	1651,80
26	SLA12KG.BKR	1421,90	1466,35	890	0,050	1651,80
27	SLA12KN.BKR	1420,80	1465,35	892	0,050	1651,80
28	SLA12R0.BKR	464,25	1640,00	23515	0,050	1651,80
29	SLA12R1.BKR	464,15	1640,35	23524	0,050	1651,80
30	SLA122R.BKR	464,15	1640,40	23525	0,050	1651,80
31	SLA12R5.BKR	465,05	1641,95	23538	0,050	1651,80
32	SLA12R8.BKR	466,20	1640,50	23479	0,050	1651,80
33	SLA13SR.BKR	1636,10	2254,95	12378	0,050	2266,00
34	SLA13PG.BKR	1538,85	2255,70	14338	0,050	2266,00
35	SLA13GP.BKR	1638,50	2254,95	12330	0,050	2266,00
36	SLA13PS.BKR	1641,90	2255,05	12264	0,050	2266,00
37	SLA13P2.BKR	1642,10	2254,95	12258	0,050	2266,00
38	SLA13RD.BKR	1638,70	2255,05	12328	0,050	2266,00
39	SLA13KG.BKR	1936,05	1969,90	678	0,050	2266,00
40	SLA13KO.BKR	1936,05	1969,90	678	0,050	2266,00
41	SLA13TN.BKR	1643,05	2255,15	12243	0,050	2266,00
42	SLA13S2.BKR	1636,10	2255,25	12384	0,050	2266,00
43	SLA13R2.BKR	1636,10	2254,95	12378	0,050	2266,00
44	SLA13NS.BKR	1588,50	2254,95	13330	0,050	2266,00
45	SLA13RT.BKR	1638,05	2255,05	12341	0,050	2266,00
46	SLA13R0.BKR	1638,05	2257,90	12398	0,050	2266,00
47	SLA13R1.BKR	1638,05	2254,95	12339	0,050	2266,00
48	SLA132R.BKR	1638,05	2254,90	12338	0,050	2266,00
49	SLA13R5.BKR	1638,15	2255,05	12339	0,050	2266,00
50	SLA13R8.BKR	1638,15	2254,95	12193	0,051	2266,00
51	SLA14PT.BKR	3,40	2218,90	22156	0,100	2273,00

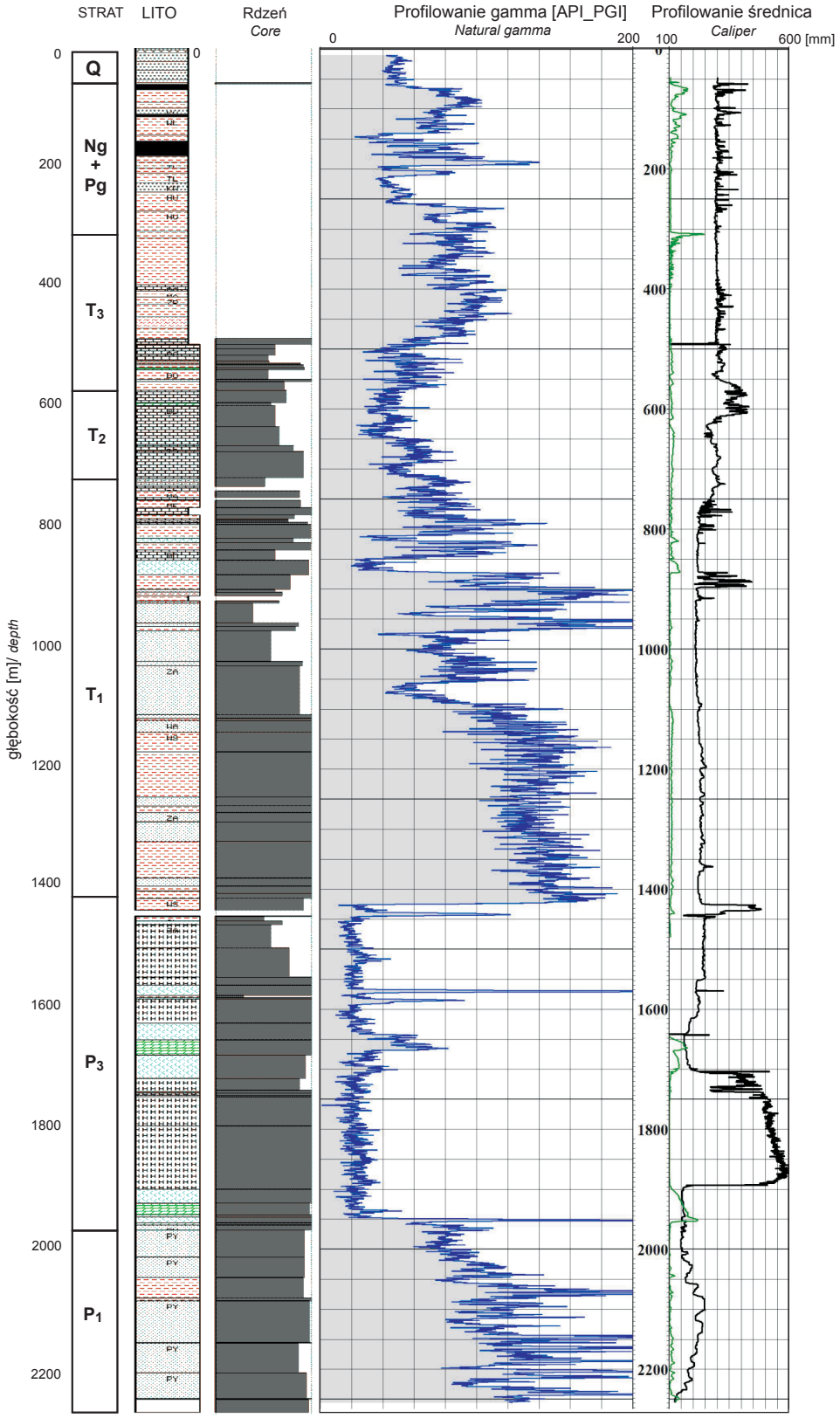


Fig. 27. Unormowane wartości profilowania naturalnego promieniowania gamma

Na wykresie profilowania średnicy otworu wskazano miejsca połączeń poszczególnych odcinków pomiarowych. Przedstawiono również profil stratygraficzny i litologiczny z wyszczególnieniem odcinków rdzeniowanych oraz informacją na temat uzysków rdzenia

Normalised values of natural gamma ray log

The graph shows the caliper log with depths of junctions of individual log runs. Stratigraphy, lithology, cored intervals, and core yield are also shown

METODY PRAC INTERPRETACYJNYCH

Podjęte na początku lat 90. XX w. w Państwowym Instytucie Geologicznym prace związane z tworzeniem baz danych geofizyczno-geologicznych, a także prace metodyczne oraz interpretacyjne w ramach autorskiego systemu interpretacyjnego GEOFLOG stworzyły warunki do sukcesywnego prowadzenia prac interpretacyjnych w odniesieniu do najważniejszych otworów badawczych z obszaru Polski (Szewczyk, 1994, 1998, 2000). Również otwór wiertniczy Sława IG 1 objęto opisanymi powyżej pracami badawczymi.

Wyniki tych prac wykorzystano dotychczas w opracowaniach dotyczących m.in. pola cieplnego dla obszaru Polski, sekwestracji CO_2, rozpoznania warunków hydrogeologicznych, możliwości stosowania technologii HDR (*Hot Dry Rocks*), a także w zagadnieniach hydrogeologicznych oraz geotermalnych (Górecki, 2006).

W ramach prac interpretacyjnych m.in:
- wykonano cyfrowy opis profilu wiertniczego (LITO);
- opracowano warstwowy (GEO) oraz objętościowy (VOL) geofizyczny profil litologiczny;
- zmierzono wielkość przesunięć między głębokościami określanymi na podstawie długości przewodu wiertniczego a głębokościami określanymi na podstawie pomiarów geofizycznych;
- obliczono porowatość całkowitą oraz efektywną, gęstość objętościową w stanie powietrzno-suchym i nasyconym, a także prędkość fal akustycznych; stworzono model właściwości fizycznych niezbędny do interpretacji danych sejsmicznych;
- obliczono przewodność cieplną skał, profil temperatury ustabilizowanej oraz gęstość ziemskiego strumienia cieplnego.

CYFROWY OPIS PROFILU LITOLOGICZNEGO

Opracowanie cyfrowego geofizycznego opisu profilu wiertniczego oparto na informacjach otrzymanych zarówno z danych geofizycznych i z rdzenia wiertniczego, jak i z próbek okruchowych (Gientka, Szewczyk, 1996). Uzyskiwany w ten sposób cyfrowy opis litologii (LITO) dowiązywano i uogólniano na warstwowy profil geofizyczny (GEO) opracowany na podstawie analiz profilowań geofizycznych. Opis profilu wykorzystywano w procedurach interpretacyjnych programu GEOFLOG służących do uzyskania ilościowego opisu właściwości petrofizycznych skał tworzących profil. Były nimi parametry zbiornikowe, takie jak porowatość całkowita oraz efektywna, gęstość objętościowa w stanie powietrzno-suchym i nasyconym, prędkość fal akustycznych, a także przewodność cieplna skał. Uzyskany cyfrowy opis zarówno profilu wiertniczego (LITO), jak i geofizycznego (GEO) jest niezależnym opisem profilu litologicznego obok dokumentacyjnych geologicznych jego opisów dokonywanych przez autorów opisów poszczególnych jednostek stratygraficznych (zaznaczonych również w niniejszym tomie). Ponadto niemal ciągłe rdzeniowanie profilu otworu od głębokości ok. 494 m nie wymagało włączenia opisanych wcześniej profili do niniejszej publikacji.

Ważnym elementem procesu rozpoznania profilu wiertniczego integrującym dane wiertnicze z danymi geofizycznymi było określenie wielkości przesunięć głębokościowych między wiertniczą i geofizyczną miarą głębokościową. Głębokości te były określane odpowiednio na podstawie długości przewodu wiertniczego oraz długości kabla geofizycznego. Dowiązanie głębokościowe w odcinkach rdzeniowanych oparto na identyfikacji warstw lub ich sekwencji wydzielanych w rdzeniach wiertniczych oraz na profilowaniach geofizycznych. Na figurze 28 przedstawiono wielkość tych przesunięć dla granic warstw litologicznych zidentyfikowanych i wzajemnie sobie przyporządkowanych w profilach LITO i GEO. W tabeli 15 podano dane liczbowe dotyczące omawianego zagadnienia. W przypadku niepełnego jego uzysku w interpretacjach danych rdzeniowych przyjęto zasadę dowiązywania głębokościowego do stropu odcinka rdzeniowanego. Zabserwowano stopniowe narastanie wielkości przesunięć głębokościowych od stosunkowo niewielkich – do głębokości ok. 550 m, a następnie do bardzo dużych, sięgających ponad 10 m dla profilu poniżej głębokości ok. 1500 m (głębokości wiertnicze mają większą wartość).

Nawet jak na realia lat 60. czy 70. XX w. wielkości przesunięć są relatywnie bardzo duże. Tak duża wielkość przesunięć w istotny sposób utrudnia wzajemne powiązane danych, a następnie łączne wykorzystanie ich obydwu typów zarówno przy uzyskaniu wiarygodnych informacji na temat rzeczywistego profilu litologicznego, jak również przy wykorzystaniu danych opartych na rdzeniu w procesie interpretacji danych geofizycznych.

Przed obliczeniem parametrów petrofizycznych (przy pomocy programów GEOFLOG) podzielono profil na tzw. metodyczne odcinki interpretacyjne, dla których było możliwe przyjęcie określonych stałych parametrów interpretacyjnych, takich jak:
- minimalny oraz maksymalny poziom zailenia,
- zakres zmian porowatości neutronowej,
- porowatość neutronowa frakcji ilastej,
- gęstość szkieletu prędkości skały oraz składnika ilastego,
- prędkość w fazie stałej skały.

Tabela 15

Przesunięcia głębokościowe między profilem wiertniczym oraz geofizycznym

Shifts between driller's depth vs logger's depth

H_wiert [m]	H_geofiz [m]	DIS [m]
522,00	521,00	1,00
535,90	538,60	–2,70
555,60	552,70	2,90
570,10	564,00	6,10
716,50	714,10	2,40
730,80	728,60	2,20
753,50	748,90	4,60
791,10	786,70	4,40
816,80	811,30	5,50
825,20	820,20	5,00
836,30	829,80	6,50
853,90	848,90	5,00
878,40	872,30	6,10
971,80	967,20	4,60
1383,40	1378,60	4,80

H_wiert [m]	H_geofiz [m]	DIS [m]
1447,40	1440,10	7,30
1454,50	1446,10	8,40
1560,30	1550,70	9,60
1577,00	1569,40	7,60
1582,80	1574,10	8,70
1623,40	1614,40	9,00
1651,80	1643,20	8,60
1677,70	1668,90	8,80
1716,20	1708,70	7,50
1737,50	1730,50	7,00
1743,50	1735,60	7,90
1901,40	1894,70	6,70
1957,30	1949,10	8,20
1960,50	1951,90	8,60
2087,10	2076,40	10,70

DIS – przesunięcie między głębokością wiertniczą i geofizyczną

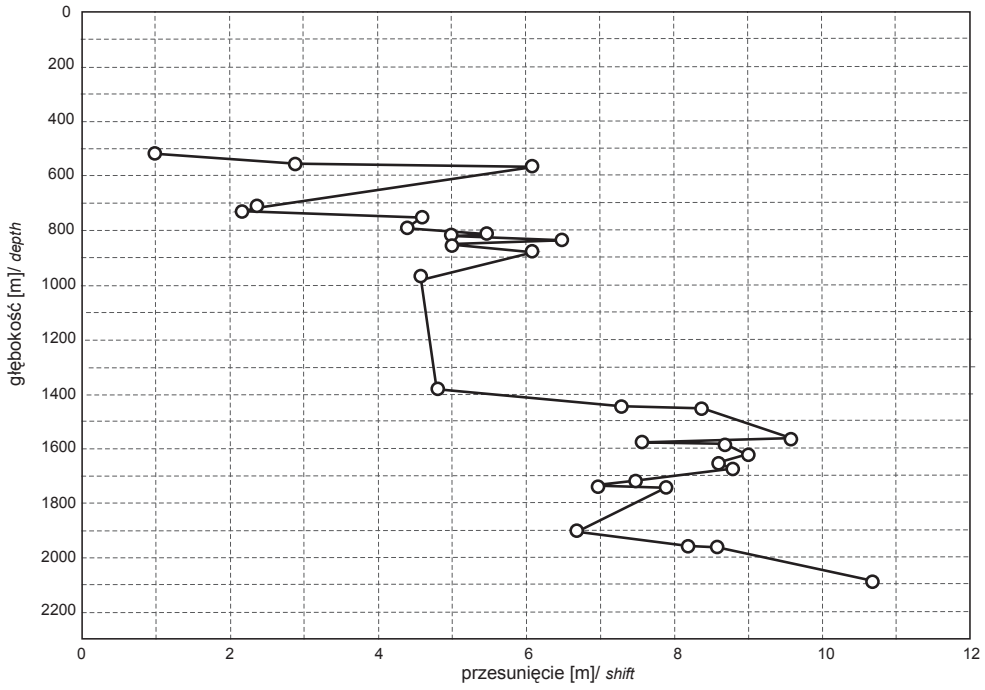


Fig. 28. Przesunięcia głębokościowe między profilem wiertniczym i geofizycznym dla otworu wiertniczego Sława IG 1

Shifts between driller's depths vs logger's depths in the Sława IG 1 borehole

PROFILE WŁAŚCIWOŚCI PETROFIZYCZNYCH

Ważnym elementem interpretacyjnym była wykonywana *post factum* kalibracja stosowanych w badaniach sond radiometrycznych (Szewczyk, 1998, 2000). Uzyskiwane w ten sposób informacje pozwalają na obliczenie objętościowego profilu litologicznego (VOL) badanych profili wierceń z uwzględnieniem istniejącego opisu litologii oraz wyników badań parametrów petrofizycznych uzyskiwanych na podstawie badań laboratoryjnych. W zastosowanej procedurze interpretacyjnej przyjęto 3-składnikowy model objętościowy skały (przestrzeń porowa + zailenie + szkielet skały). Poprawność przyjmowanych parametrów metodycznych oraz wybieranych, tzw. głębokościowych, odcinków metodycznych (o stałych parametrach interpretacyjnych) oceniano metodą iteracyjną.

Brak wyników badań laboratoryjnych uniemożliwił kontrolę poprawności uzyskiwanych wyników. W związku z tym na tym etapie badań uzyskane w wyniku procesu interpretacji wartości parametrów petrofizycznych powinny być traktowane jako wstępna, przybliżona, autorska wersja. Jednak obecnie bez dodatkowych, odpowiednio licznych badań laboratoryjnych rdzeni wiertniczych nie ma innych rozwiązań.

POROWATOŚĆ CAŁKOWITA ORAZ GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA

Na figurze 29 przedstawiono wyniki obliczeń podstawowych parametrów petrofizycznych profilu utworów w otworze Sława IG 1. Lewa cześć figury przedstawia m.in. wartość zailenia oraz porowatości całkowitej, natomiast prawa – wyniki obliczeń gęstości objętościowej w stanie powietrzno-suchym (*Go*) oraz nasyconym (*GoN*). Obliczono je na podstawie określonego wcześniej objętościowego udziału składników stałych skały oraz porowatości całkowitej na podstawie zależności:

$$Go = Gw\,(1 - \Phi - Sh) + Gsh \cdot Sh$$

Dla modelu 3-składnikowego skały w stanie nasyconym (*GoN*):

$$GoN = Gw\,(1 - \Phi - Sh) + Gsh \cdot Sh + Gm \cdot \Phi$$

gdzie:

Gw – gęstość właściwa szkieletu (w całości),

Gsh – gęstość składnika ilastego,

Gm – gęstość medium nasycającego przestrzeń porową,

Sh – objętościowa zawartość składników ilastych skały (minerały ilaste + frakcja ilasta = zailenie).

Wyniki interpretacji parametrów petrofizycznych powinny stać się w przyszłości celem szczegółowych systematycznych analiz połączonych z wynikami niezbędnych przyszłych badań laboratoryjnych, które pozwolą na pełniejszą i bardziej wiarygodną ocenę właściwości petrofizycznych. Może to mieć istotne znacznie m.in. dla właściwego – ze statystycznego punktu widzenia – prognozowania właściwości poszczególnych formacji ważnych dla zagadnień sekwestracji CO_2 czy pozyskiwania energii geotermalnej.

Uzyskany w wyniku procesu interpretacyjnego objętościowy model skał występujących w profilu stworzył warunki do obliczeń wartości m.in. prędkości fal akustycznych, a także, co zostanie przedstawione w dalszej części opracowania, przewodności cieplnej skał. Zastosowane w systemie interpretacyjnym GEOFLOG metody obliczeń prędkości fal podłużnych opisano we wcześniejszej pracy autora (Szewczyk, 1998). Wyniki obliczeń czasu interwałowego przedstawiono w najbardziej skrajnej części figury 29. Uzyskane informacje na temat prędkości fal, łącznie z opisaną wcześniej informacją na temat gęstości objętościowej skał tworzących profil, stał się podstawą do utworzenia modelu prędkościowo-gęstościowego niezbędnego do modelowań wyników badań sejsmicznych (S. Kijewska, ten tom).

CHARAKTERYSTYKA TERMICZNA PROFILU OTWORU

Profilowania temperatury wykonano w trzech odcinkach pomiarowych (w nawiasach podano przyjęte w opracowaniu oznaczenie pomiaru):

- 45–491 m (TN_1),
- 1643–2255 m (TN_3),
- 3,5–2219 m (T).

Pierwsze dwa pomiary wykonano w nieustabilizowanych warunkach termicznych (TN_1&TN_3), pomiar trzeci (T) – w warunkach częściowej stabilizacji termicznej. Ponadto w odcinkach poszczególnych badań strefowych, w ich strefie przydennej, mierzono temperaturę maksymalną w nieustalonych warunkach termicznych (ang. *BHT*). Pomiar wykonany na głębokości ok. 1625 m wydaje się całkowicie niewiarygodny (40°C!), w związku z czym nie był brany pod uwagę w dalszych rozważaniach.

Określenie objętościowego modelu litologiczno-porowatościowego skał profilu otworu Sława IG 1 umożliwiło obliczenie przewodności cieplnej (Szewczyk, 2001; Szewczyk, Gientka, 2009).

W otworze Sława IG 1 wykonano badania termiczne w warunkach niepełnej stabilizacji termicznej wynikającej z relatywnie krótkiego okresu stabilizacji otworu (ok. 7 dób stójki) oraz badania termiczne w warunkach silnie zaburzonych, bezpośrednio po ustaniu cyrkulacji płuczki wiertniczej. Na figurze 30 zestawiono wyniki wszystkich wykonanych badań termicznych.

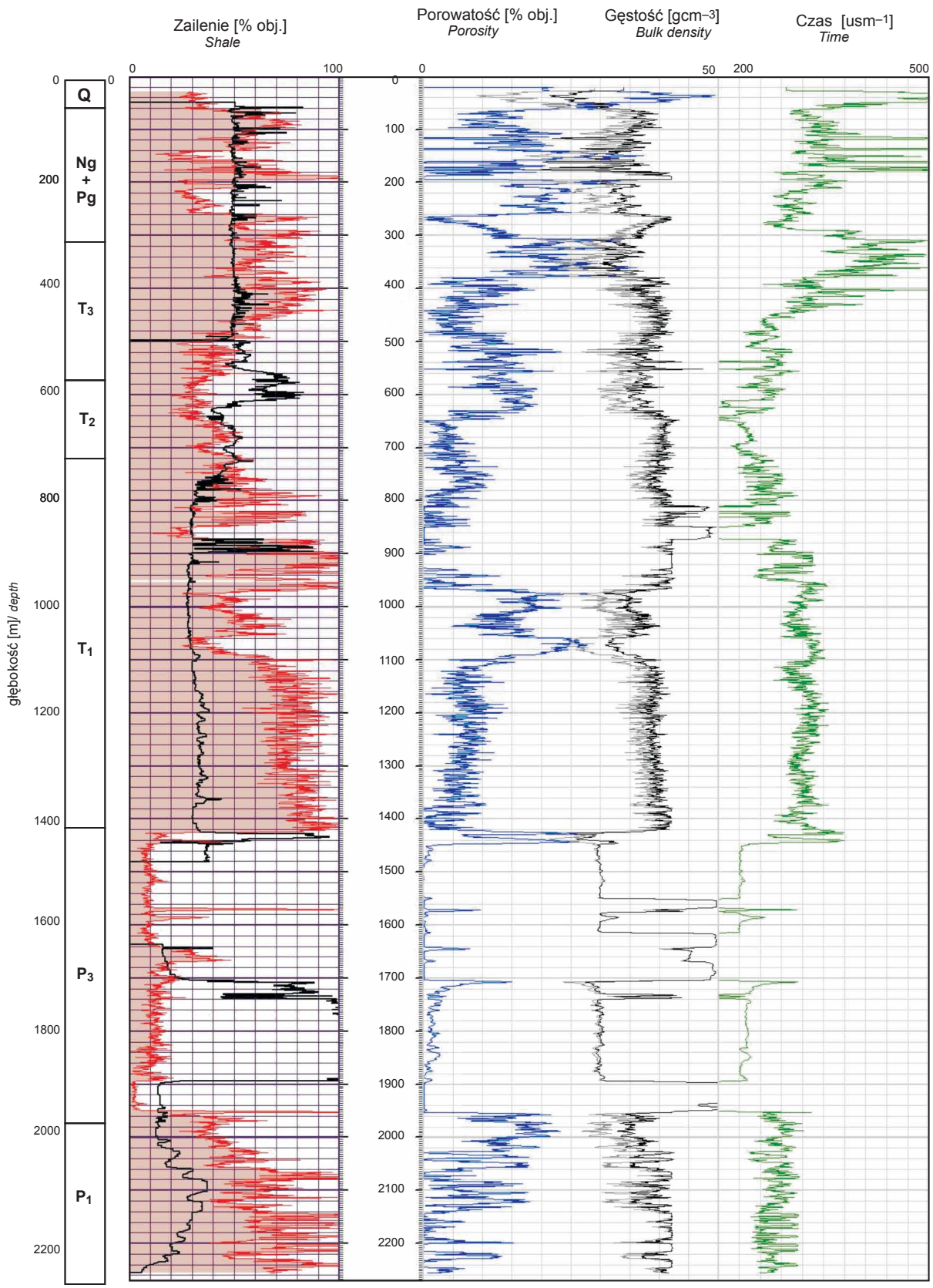


Fig. 29. Zestawienie litologicznego profilu wiertniczego (LITO) z obliczonymi wartościami zailenia, porowatości całkowitej oraz gęstości objętościowej w stanie suchym i nasyconym oraz prędkości (czasu interwałowego)

Summary of driller's lithological log (LITO) with the calculated values of shale content, total porosity, bulk wet density, net bulk density, and sonic velocity (interval time)

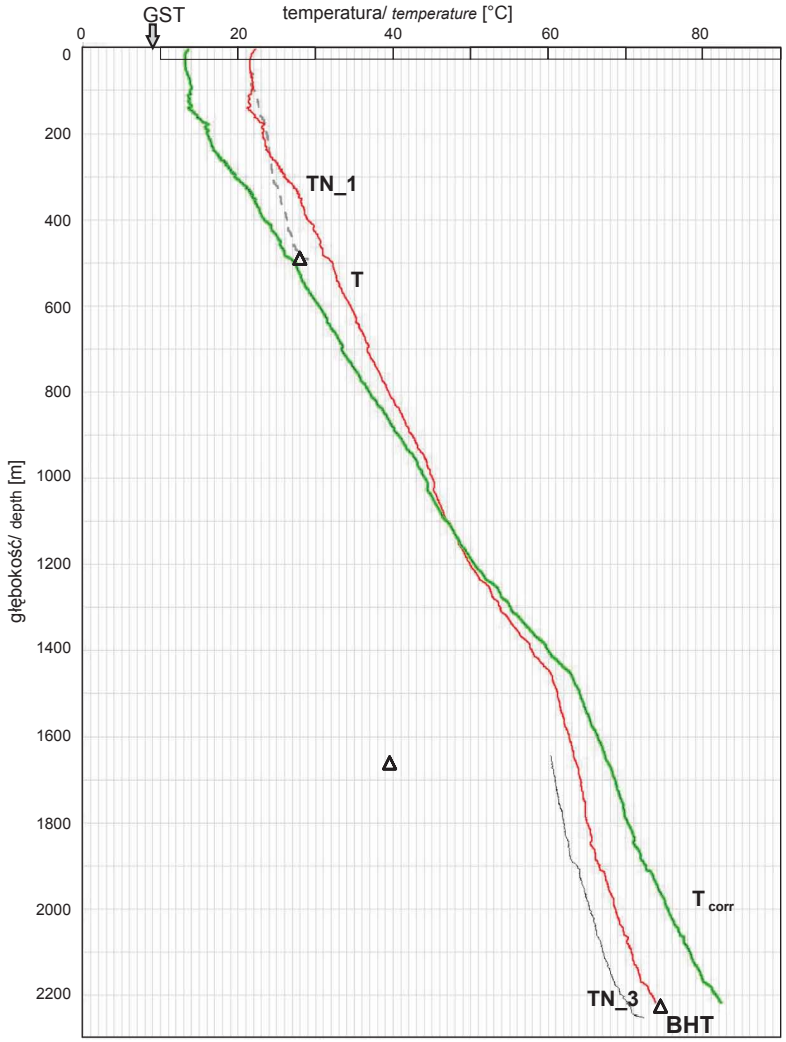


Fig. 30. Badania termiczne wykonane w otworze wiertniczym Sława IG 1

T – zarejestrowana wartość temperatury dla warunków zbliżonych do ustalonych, *TN*_1 – wartości temperatury zarejestrowane w pierwszym odcinku pomiarowym w warunkach nieustabilizowanych, *TN*_3 – wartości temperatury zarejestrowane w trzecim odcinku pomiarowym w warunkach nieustabilizowanych, T_{corr} – obliczona temperatura niezaburzona dla warunków ustabilizowanych, *BHT* – strefowe temperatury maksymalne

Thermal logs in the Sława IG 1 borehole

T – temperature recorded for near-stable condition, *TN*_1 – unstable temperature for log run No. 1, *TN*_3 – unstable temperature for log run No. 3, T_{corr} – calculated corrected temperature under stable condition, *BHT* – zonal bottom hole temperature (maximum temperature)

Widocznym przejawem braku pełnej stabilizacji termicznej pierwszego z wymienionych pomiarów jest zdecydowane odbieganie temperatury rejestrowanej w strefie przypowierzchniowej od średniej wieloletniej temperatury klimatycznej strefy przypowierzchniowej (GST – *ground surface temperature*) tej strefy dla rejonu otworu wiertniczego (Szewczyk, 2005). Na podstawie wieloletnich obserwacji IMGW wieloletnia średnia wartość GST dla rejonu otworu Sława IG 1 wynosi ok. +9,32°C. Widoczna jest znaczna, wynosząca ponad 11°C (!), różnica między wartością temperatury ekstrapolowanej do powierzchni terenu na podstawie zarejestrowanej wartości profilowania termicznego a wymienionej wartości GST. Z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że zbliżona wielkość różnicy między temperaturą zarejestrowaną (TU) a rzeczywistą temperaturą niezaburzoną występuje w strefie przydennej otworu. Część górna profilu jest „nagrzewana" przez cyrkulującą praktycznie w obiegu zamkniętym płuczkę wiertniczą, a dolna część – „wychładzana" (Kukkonen i in., 2011), co wynika z ogólnego bilansu energii. Współczesny poziom wiedzy nie pozwala na jednoznaczne określenie głębokości punktu neutralnego, gdyż jest on funkcją wielu czynników związanych głównie z tempem prowadzenia wiercenia, ilością cyrkulującej płuczki, zmianami temperatury atmosferycznej w czasie wiercenia itd. Autor przyjął tu hipotezę o bilansowaniu się tej energii cieplnej w przybliżeniu w połowie głębokości otworu. Zastosowana procedura w istotny sposób przybliża nas do rzeczywistej

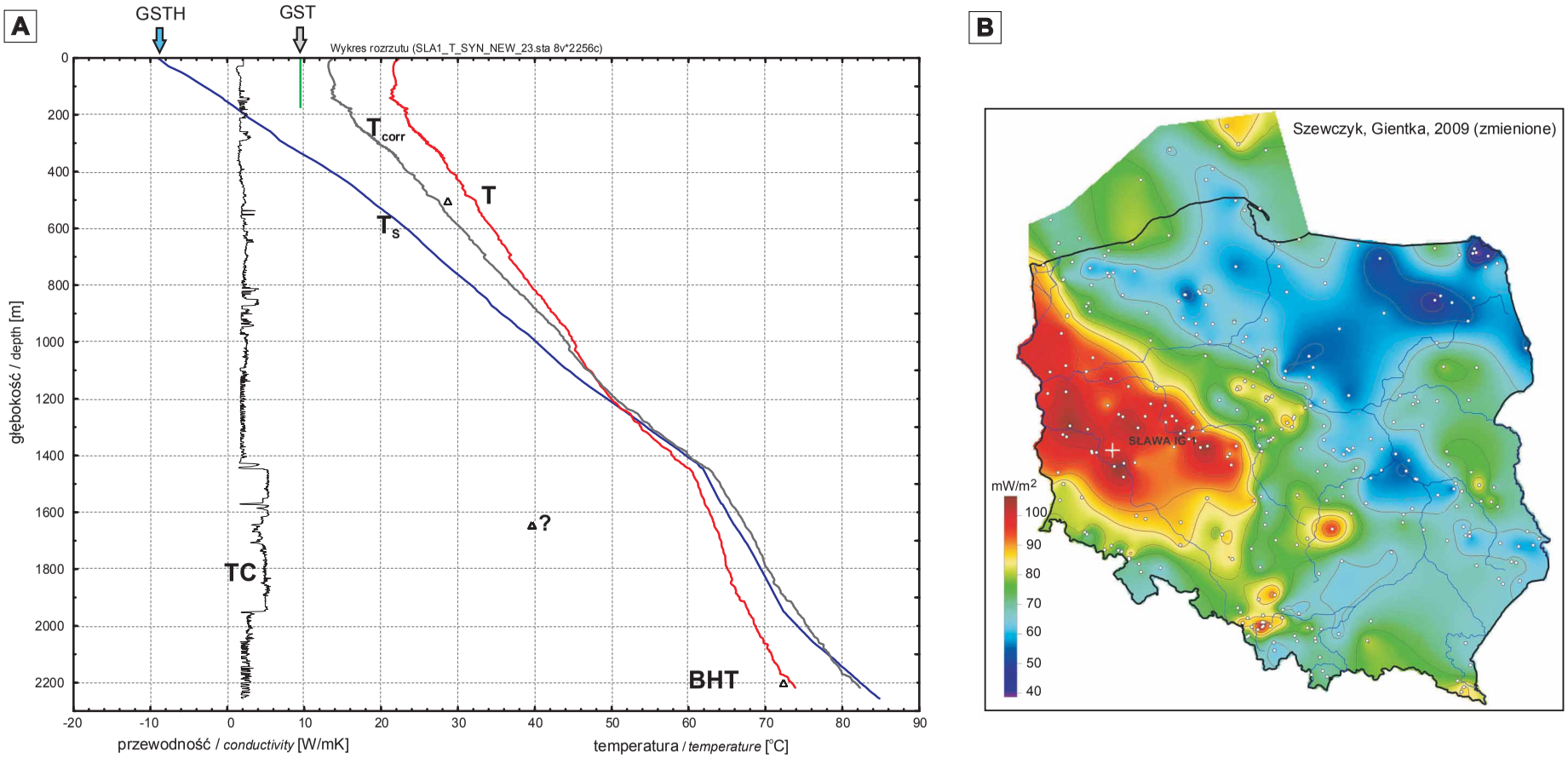


Fig. 31. Charakterystyka termiczna otworu Sława IG 1

A – profilowania temperatury oraz przewodności cieplnej. **B** – mapa strumienia cieplnego wraz z lokalizacją otworu Sława IG 1. *TC* – przewodność cieplna skał tworzących profil obliczona na podstawie danych geofizycznych, *T* – zarejestrowana wartość temperatury dla warunków zbliżonych do ustalonych, T_s – paleotemperatura obliczona na podstawie przewodności termicznej skał, T_{corr} – obliczona temperatura niezaburzona dla warunków ustabilizowanych

Thermal characteristics of the Sława IG 1 borehole

A – temperature and conductivity logs. **B** – heat flow density and location of the Sława IG 1 borehole. *TC* – thermal conductivity of rocks in the section, calculated from geophysical data, *T* – temperature recorded for near-stable conditions, T_s – palaeotemperature calculated from thermal conductivity of rocks, T_{corr} – temperature calculated for stable conditions

temperatury w całym profilu otworu wiertniczego. Obliczoną w ten sposób wartość profilowania poprawionego (T_{corr}) przedstawiono na figurze 31.

Obok wgłębnego strumienia cieplnego (ang. HFD – *heat flow density*) do głębokości co najmniej kilku kilometrów na współcześnie obserwowany podpowierzchniowy reżim cieplny Ziemi wpływają również długookresowe zmiany klimatyczne (Szewczyk, Gientka, 2009). W świetle obecnie uzyskiwanych wyników rola czynników hydrodynamicznych, uznawanych przez długi czas za istotne w kształtowaniu strumienia cieplnego, wydaje się być marginalna. Szczególnie duży wpływ, a nawet dominujący do głębokości ok. 2000 m, ma paleoklimat zlodowacenia wisły. Temperatury tego glacjału, obok wielkości wgłębnego strumienia cieplnego, są głównymi czynnikami wpływających na współczesny obraz wgłębnego reżimu termicznego. Na figurze 31 pokazano zestawienie m.in. pomiarów temperatury ustabilizowanej przed korektą (T) oraz po korekcie (T_{corr}), a także profilowanie paleotemperatury syntetycznej (T_s) dla okresu glacjalnego, obliczonej na podstawie przewodności cieplnej skał tworzących profil. Pokazano również współczesną wartość temperatury strefy przypowierzchniowej (GST) oraz obliczono wartość średnią tej strefy dla zlodowacenia wisły (GSTH).

Powyższe rozważania pozwalają na określenie średniej wartości gęstości strumienia wgłębnego dla otworu Sława IG 1, która wynosi 98,4 mWm^{-2}. Zagadnienie oszacowania wielkości błędu ma bardzo złożony charakter i nie zostanie w tej pracy szerzej omówione.

Obliczona wartość strumienia jest funkcją (superpozycją) kilku niezależnych parametrów, takich jak: objętościowy model litologii, poprawność przyjętych parametrów petrofizycznych składników modelu, poprawność modelu przewodności cieplnej, wpływ czynników zakłócających pomiar temperatury itd. Obecnie oszacowanie rzeczywistej wielkości błędów jest praktycznie niemożliwe. W związku z tym najważniejszą sprawą jest stałość stosowanych kryteriów określania wartości strumienia wszystkich analizowanych danych termicznych. W tym przypadku zasadę tę zachowano w odniesieniu do wszystkich danych termicznych, na podstawie których opracowano wspomnianą wcześniej mapę strumienia dla obszaru Polski.

Obliczona wartość strumienia cieplnego jest jedną z najwyższych obserwowanych współcześnie na obszarze Polski. Na figurze 31 przedstawiono wartość strumienia dla otworu Sława IG 1 na tle mapy tego parametru dla obszaru całej Polski (Szewczyk, Gientka, 2009).

CHARAKTERYSTYKA HYDROGEOLOGICZNA

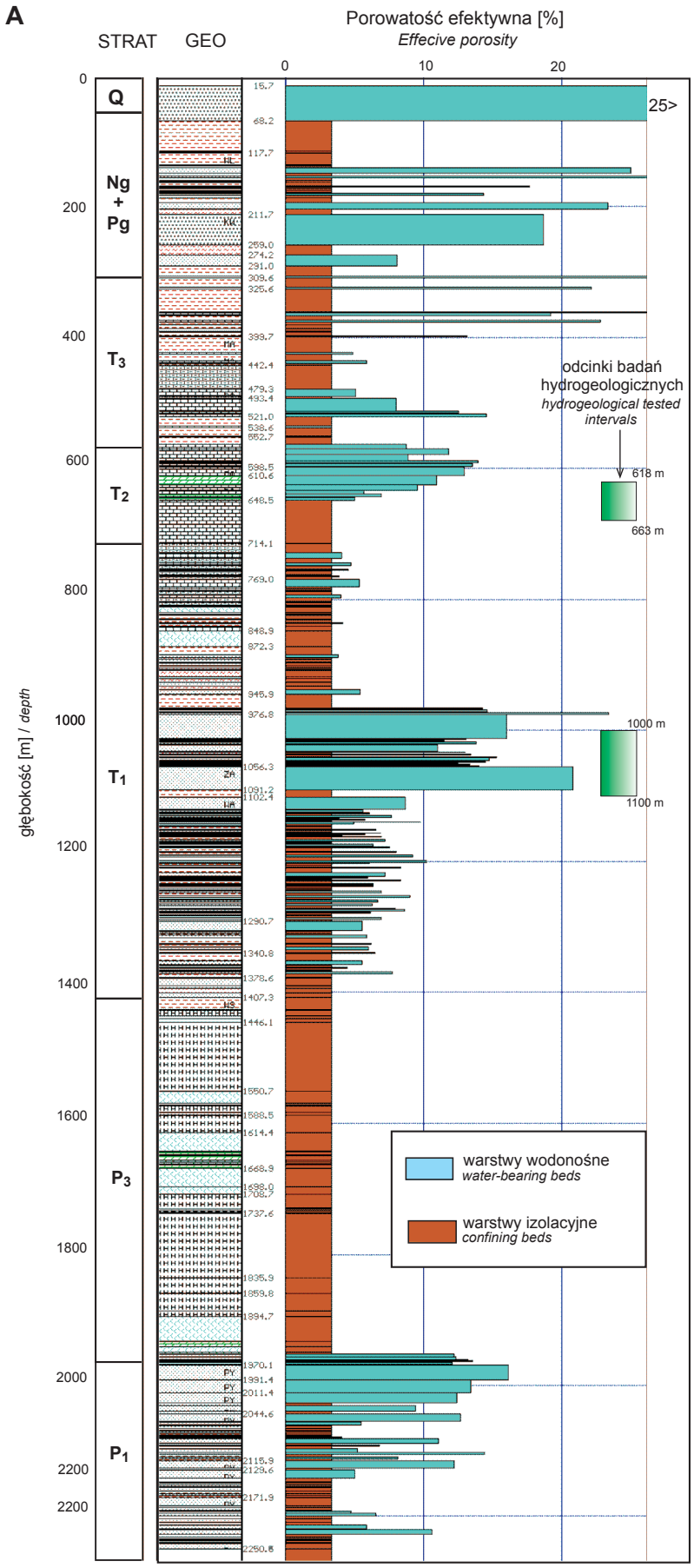
Jednym z celów badawczych odwiercenia otworu Sława IG 1 było określenie charakterystyki hydrogeologicznej profilu otworu, w tym szczególnie zbadanie możliwości ujęcia wód mineralnych bądź termalnych (Płochniewski, Stachowiak, 1976). W związku z tym przeprowadzono badania w dwóch odcinkach profilu obejmujących utwory triasu środkowego w interwałach 618–663 m oraz triasu dolnego w odcinku 1000–1100 m. Badania te wykonano poprzez perforację rur okładzinowych po zakończeniu otworu i jego zarurowaniu oraz zacementowaniu. Z obydwu poziomów uzyskano niewielkie przypływy wód złożowych o wysokiej mineralizacji, z tym że w przypadku poziomu górnego były to ilości śladowe. Wody górnego poziomu miały mineralizację całkowitą ok. 30 g/dcm^3, a dolnego – 196 g/dcm^3 (!). Ze względu na bardzo niewielkie dopływy wód złożowych z pierwszego poziomu jest możliwe znaczące zaniżenie wartości mineralizacji wód tego poziomu przez filtrat płuczki wiertniczej. Może to oznaczać, że rzeczywista mineralizacja tego poziomu jest wyższa od podanej wartości 30 gdm^{-3}.

Oceniana na podstawie prezentowanych wcześniej wyników badań termicznych temperatura wód omawianych poziomów zawierała się w przedziale odpowiednio 31,3–32,6 oraz 44,1–46,9°C. Z ogólnej charakterystyki opornościowej profilu wynika, że strefa wód o wysokiej mineralizacji występuje tu od głębokości ok. 180 m, na której poza wyraźnym spadkiem oporności jest obserwowane również odwrócenie mineralizacji potencjału samoistnego (PS).

Przy wyborze interwałów do opróbowania kierowano się zapewne w niewielkim stopniu wynikami badań geofizycznych. W świetle danych prezentowanych na figurze 32 nie był to wybór optymalny. Całkowicie zrezygnowano z badań kenozoicznych odcinków profilu, które zawierały wody o relatywnie niewielkiej mineralizacji. Na figurze 32A przedstawiono zgeneralizowany warstwowy profil właściwości filtracyjnych z podziałem na warstwy wodonośne oraz izolacyjne. W profilu wydzielone warstwy wodonośne scharakteryzowano przez średnie wartości porowatości efektywnej. Oryginalną metodykę opracowania profilu omówiono m.in. w innej pracy autora niniejszego opracowania (Szewczyk, 2006).

Na figurze 32B przedstawiono wyniki badań mineralizacji całkowitej wód złożowych uzyskanych dla otworu Sława IG 1 na tle głębokościowego rozkładu tego parametru dla otworów badawczych i poszukiwawczych na obszarze Niżu Polskiego (Bojarski, red., 1996; Szewczyk, 2006). Pokazano równocześnie wykres wartości średniej mineralizacji wód obszaru Niżu Polskiego obliczony metodą najmniejszych kwadratów. Może być on traktowany jako układ odniesienia w stosunku do wartości mineralizacji w badanych poziomach wodonośnych.

Wyniki badań otworu Sława IG 1 wskazują, że stwierdzone mineralizacje wód w badanych poziomach wykazują relatywnie wyraźnie wyższe wartości mineralizacji w stosunku do typowych wód podziemnych na Niżu Polskim. Może to być np. efektem obecności stref tektonicznych w obrębie utworów cechsztynu i związanym z tym ascensyjnym zasilaniem wód poziomów mezozoicznych.


A
STRAT
GEO
Porowatość efektywna [%]
Effecive porosity
0
10
20
głębokość [m] / depth
Q
Ng + Pg
T3
T2
T1
P3
P1
25>
odcinki badań hydrogeologicznych
hydrogeological tested intervals
618 m
663 m
1000 m
1100 m
warstwy wodonośne
water-bearing beds
warstwy izolacyjne
confining beds

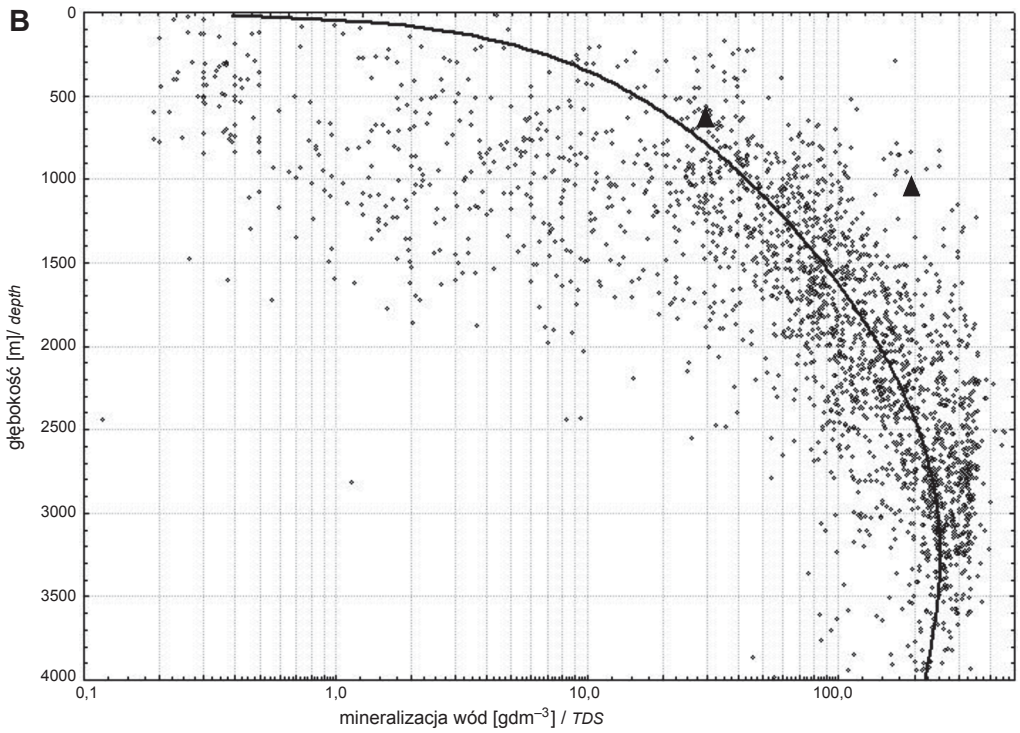


Fig. 32. A. Warstwy zbiornikowe i izolujące w profilu otworu wraz określoną uśrednioną wartością porowatości efektywnej. Wskazano interwały badań. B. Mineralizacja wód uzyskana w trakcie badań hydrogeologicznych w otworze Sława IG 1, na tle zmienności mineralizacji wód na obszarze Niżu Polskiego. Pokazana została wartość średnia mineralizacji tych wód obliczona metodą najmniejszych kwadratów

A. Aquifers and confining beds with averaged effective porosity. Tested intervals are shown. **B.** Water mineralization measured during hydrogeological investigations in the Sława IG 1 borehole; against the background groundwater mineralization variability in the Polish Lowlands. Average mineralization of these waters, calculated using least squares method, is shown

PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

Badania geofizyczne umożliwiły rozpoznanie zarówno profilu litologicznego otworu Sława IG 1, jak i uzyskanie informacji o cechach petrofizycznych utworów w nim występujących. Ze względu na ograniczony zakres wykonanych badań, a przede wszystkim niski standard pomiarów uwarunkowany bardzo ograniczonymi możliwościami metodyczno-technicznymi lat 70. ubiegłego wieku, uzyskane wyniki oraz parametry przedstawione w opracowaniu mają charakter przybliżony. Otrzymane dane powinny być wykorzystywane w ograniczonym stopniu i z dużą ostrożnością, m.in. w analizach związanych z pozyskiwaniem energii geotermalnej, hydrogeologii, analizach sekwestracji CO_2 czy w modelowniach wyników powierzchniowych badań geofizycznych, takich jak badania sejsmiczne czy grawimetryczne.

W przypadku wykonania dodatkowych badań laboratoryjnych rdzeni wiertniczych po przeprowadzeniu kalibracji danych geofizycznych wykorzystujących te nowe dane można oczekiwać wzrostu wiarygodności wyników interpretacji.

Dokonana analiza warunków hydrogeologicznych otworu wiertniczego Sława IG 1 wskazuje na negatywną ocenę możliwości uzyskania wód mineralnych czy termalnych z użytkowego punktu widzenia. Niewątpliwym walorom turystycznym miasta Sława i jego okolic nie towarzyszą tu atrakcyjne pod względem użytkowym wody podziemne.

Sylwia KIJEWSKA

BADANIA SEJSMICZNE W OKOLICY OTWORU WIERTNICZEGO SŁAWA IG 1

Otwór wiertniczy Sława IG 1 zlokalizowano w południowej części monokliny przedsudeckiej. Przebił on utwory czwartorzędu, paleogenu, neogenu, triasu oraz nawiercił utwory permu. Nie stwierdzono występowania utworów jury ani kredy. W promieniu ok. 2 km od otworu pomierzono ok. 10 linii sejsmicznych 2D, wykonanych głównie w latach 80. i na początku lat 90. ubiegłego wieku.

Z powodu braku pomiarów profilowań akustycznych oraz prędkości średnich dowiązanie danych sejsmicznych do otworu otrzymano przez wykorzystanie syntetycznych krzywych profilowania akustycznego oraz gęstościowego. Pomocna była również przeprowadzona analiza atrybutów sejsmicznych. Na podstawie modelowania 1D i korelacji z linią sejsmiczną 17-4-89K pomierzoną w 1989 r. przez Geofizykę Kraków zinterpretowano horyzonty sejsmiczne wyznaczające stropy utworów: czerwonego spągowca, cechsztynu, pstrego piaskowca dolnego, środkowego i górnego, wapienia muszlowego, warstw sulechowskich (strop utworów triasu środkowego) oraz regionalną powierzchnię niezgodności wyznaczającą strop całego kompleksu osadów triasowych. Obraz sejsmiczny przedstawia wyraźne zapadanie warstw poniżej powierzchni niezgodności ku północy, natomiast budowa strukturalna okolic otworu nie wydaje się szczególnie skomplikowana.

Ponieważ w otworze Sława IG 1 jedynie nawiercono utwory czerwonego spągowca, nie zidentyfikowano spągu utworów permu. Wydzielono znacznej miąższości, bo prawie 550 m, warstwę cechsztyńską, której miąższość wzrasta ku północy. Widoczne na obrazie sejsmicznym w obrębie warstwy wyraźne refleksy są efektem występowania zróżnicowanych gęstościowo pakietów soli oraz anhydrytów o różnych miąższościach.

W leżącym na utworach permu epikontynentalnego kompleksie dolnotriasowym wydzielono pstry piaskowiec: dolny, środkowy i górny. Zdeponowane bezpośrednio na utworach permu litofacje pstrego piaskowca dolnego są osadami płytkiego, okresowo wysychającego śródlądowego zbiornika (Szyperko-Teller, Moryc, 1988). Ich miąższość wzdłuż linii sejsmicznej zmienia się w niewielkim stopniu, a w obrębie warstwy w części NNE przekroju zaznaczają się wyraźne klinoformy zapadające ku północy (fig. 4 – żółte przerywane linie, patrz. rozdz. „Wstęp"). Ze względu na brak widocznych przesłanek tektonicznych oraz lokalizację paleogeograficzną otworu w brzeżnej strefie płytkiego zbiornika morskiego (np. Szyperko-Teller, 1997) można sądzić, że geneza klinoform jest sedymentacyjna. Zmiana charakteru sedymentacji, która weszła następnie w fazę stagnacji, pod koniec sedymentacji osadów pstrego piaskowca dolnego prawdopodobnie spowodowała, że obserwuje się stosunkowo wyrównany i ciągły charakter powierzchni stropowej, zapadającej podobnie jak strop permu ku północy.

Basen sedymentacji pstrego piaskowca środkowego wykazywał natomiast charakter transgresywny, a następnie również wszedł w fazę stagnacji. Doszło także do połączenia z morskim basenem alpejskim (Szyperko-Teller, Moryc, 1988). Na obrazie sejsmicznym zaznacza się zmienny charakter refleksów, które głównie w części południowej przekroju są często poprzerywane, a amplitudy o takiej samej polaryzacji łączą się i tworzą jeden „szeroki" refleks. W górnej części warstwy można już jednak obserwować lepszą ciągłość horyzontów sejsmicznych, choć widać również wyklinowania. Miąższość warstwy wzdłuż linii zmienia się nieznacznie.

W czasie sedymentacji pstrego piaskowca górnego na rozwój basenu miały wpływ ingresje (Szyperko-Teller, Moryc, 1988). Miąższość warstwy pstrego piaskowca górnego jest mniejsza niż środkowego i zmniejsza się minimalnie ku południowi. Tuż nad stropem utworów pstrego piaskowca środkowego w postaci silnego dodatniego refleksu zaznacza się warstwa anhydrytu. Na figurze 4 w części południowej profilu sejsmicznego można zaobserwować również górne wyklinowania do stropu warstwy pstrego piaskowca górnego.

W profilu otworu Sława IG 1 stwierdzono 262,0 m utworów wapienia muszlowego. Ich geneza zmieniała się w czasie – od transgresywnej przez izolację od zbiornika alpejskiego do krótkiego ponownego połączenia z morzem, które na przełomie wapienia muszlowego i kajpru dolnego (warstwy sulechowskie) pozostawiło po sobie płytki zbiornik śródlądowy (Gajewska, 1988). Ocena pierwotnych zmian miąższości wzdłuż przekroju sejsmicznego dla utworów wapienia muszlowego, podobnie jak warstw sulechowskich, jest niemożliwa, gdyż stropy tych warstw są częściowo wyznaczone przez regionalną powierzchnię niezgodności, do której wyklinowują się horyzonty.

Linia sejsmiczna obejmuje jedynie niewielki fragment obrazu falowego przedstawiającego zasięg wyklinowujących się utworów triasu górnego. W profilu otworu Sława IG 1 miąższość utworów sięga 100 m, a horyzonty sejsmiczne wyklinowują się do regionalnej powierzchni niezgodności.

Powierzchnia niezgodności, na obrazie sejsmicznym widoczna w postaci silnego ciągłego refleksu, stanowi granicę między utworami triasu i paleogenu, a jej zasięg głębokościowy wzdłuż przekroju zmienia się w niewielkim stopniu. Na zmienną charakterystykę triasowych horyzontów sejsmicznych, taką jak brak ciągłości, wyklinowania, słaba rozdzielczość niektórych refleksów (na którą mają wpływ również możliwości techniczne pomiarów i przetwarzania), miała natomiast wpływ zmiana środowisk depozycyjnych.

Zdeponowane bezpośrednio na utworach triasu utwory paleogenu i neogenu zalegają horyzontalnie. Natomiast wyraźny refleks widoczny na obrazie sejsmicznym w obrębie warstwy kenozoicznej pochodzi od węgla brunatnego stwierdzonego w profilu otworu Sława IG 1 na podstawie próbek okruchowych.