

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYCZNYCH I OPRÓBOWAŃ HYDROGEOLOGICZNYCH

Karolina SYNOWSKA

WYNIKI BADAŃ GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

ZAKRES WYKONANYCH BADAŃ

Analizę danych geofizyki otworowej oparto na dokumentacji wynikowej otworu Nidzica IG 1 (Marek, 1966). Skorzystano także z danych pomiarowych, które zostały scyfrowane i umieszczone w Centralnej Bazie Danych Geologicznych. W tabeli 18 opisano rodzaje wykonanych pomiarów, typy użytych sond, interwały głębokościowe odcinków pomiarowych według dokumentacji, Centralnej Bazy Danych Geologicznych i według plików LAS (ang. *Long Ascii Standard*).

Średnica nominalna była zmienna między odcinkami pomiarowymi i została zestawiona w tabeli 19, w której znajduje się również zestawienie interwałów głębokościowych z określeniem rodzaju płuczki, typy aparatury wykorzystywanych przy pomiarach oraz głębokości otworu według danych wiertniczych i geofizycznych. W tabeli 19 zestawiono także głębokość zarurowania otworu według 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.

Tabela 18

Wykaz badań geofizyki otworowej

List of geophysical well logs

Data wykonania badania Date of measurement	Rodzaj wykonanego pomiaru (skrót), typ sondy Type of measurement, type of probe	Interwał głębokościowy badań wg CBDG Depth interval according to CBDG [m]	Interwał głębokościowy badań wg dokumentacji Depth interval according to documentation [m]	Interwał głębokościowy badań wg plików LAS Depth interval according to LAS files (real depth) [m]
17.11.1961	Pśr (CALI)	391,25–1058,75	392,0–1051,0	391,25–1058,75
	PG(GR)	400,25–1054,75	bd	400,25–1054,75
	PS	392,25–1027,75	390,0–1030,0	392,25–1027,75
	M0.5A0.1B (EL02)	392,25–1036,75	390,0–1040,0	392,25–1036,75
	M1.0A0.1B (EL03)	393,25–1034,75	390,0–1040,0	393,25–1034,75
	B1.0A0.1M (EN04)	391,25–1034,75	390,0–1040,0	391,25–1034,75
	M2.5A.0.25B (EL07)	394,25–1034,75	390,0–1040,0	394,25–1034,75
	B2.5A0.25M?	400–1028	390,0–1040,0	
	M4.0A0.5B (EL14)	395,25–1034,75	390,0–1040,0	395,25–1034,75
	M8.0A0.5B (EL26)	400,25–1034,75	390,0–1040,0	400,25–1034,75
	PNG (NEGR)	400,25–1058,75	bd	400,25–1058,75
	mPsr	392–1051	bd	bd
21.11.1961	PK	425,0–1050,0	bd	bd
	PG	400–1055	400–1055	bd
04.03.1962	PNG	400–1055	400–1055	bd
	Pśr (CALI) nr 1829	390,0–1737,0	390,0–1737,0	390,25–1739,75
	Popl –oporność płuczki–rezysitiwimetr nr 1755	390,0–1737,0	390,0–1737,0	375,5–1736,75
	mPOg (EL) A1"NI" M	390,0–1737,0	390,0–1737,0	385,25–1739,75
03.04.1962– 05.04.1962	mPOp (MP) A2" M	390,0–1737,0	390,0–1737,0	385,25–1739,75
	PG(GR)	1050,0–1733,0	1030,0–1730,0	1033,25–1732,25
	PNG	1050,0–1733,0	1030,0–1730,0	1035,25–1734,75
	M1.0A0.1B (EL03)	950,0–1734,0	950,0–1740,0	948,75–1735,75
03.04.1962– 05.04.1962	B1.0A0.1M	950,0–1734,0	950,0–1740,0	

Tabela 18 cd.

Data wykonania badania Date of measurement	Rodzaj wykonanego pomiaru (skrót), typ sondy Type of measurement, type of probe	Interwał głębokościowy badań wg CBDG Depth interval according to CBDG [m]	Interwał głębokościowy badań wg dokumentacji Depth interval according to documentation [m]	Interwał głębokościowy badań wg plików LAS Depth interval according to LAS files (real depth) [m]
03.04.1962– 05.04.1962	M2.5A0.25B (EL07)	950,0–1734,0	950,0–1740,0	945,5–1739,75
	B2.5A0.25M (EN10)	949,0–1739,75	950,0–1740,0	949,0–1739,75
	M4.0A0.5B (EL14)	949,5–1737,75	950,0–1740,0	949,75–1737,75
	M8.0A0.5B (EL26)	950,0–1734,0	950,0–1740,0	949,5–1744,75
	B1.0A0.1B (EN04)	950,0–1734,0	–	947,5–1739,75
	PS	950,0–1734,0	950,0–1740,0	948,25–1740,75
	M0.5A0.1B (EL02)	950,0–1734,0	950,0–1740,0	949,0–1736,75
	TEMP	40,0–1740,0	40,0–1740,0	bd
30.06.1962	PK?	75,0–1500,0	bd	bd
	profilowanie prędkości średniej, Tr_PW1	75,0–1500,0	bd	bd
	profilowanie prędkości średniej, Tr_PO	75,0–1500,0	bd	bd
	profilowanie prędkości średniej, Tr_PW2	75,0–1500,0	bd	bd
	profilowanie prędkości średniej, Tr_PW3	125,0–1500,0	bd	bd
10.11.1962– 11.11.1962	PS	1730–2165	1730–2165	1727,25–2163,5
	M0.5.A.0.1B (EL02)	1730–2167	1730–2165	1726,25–2166,5
	M1.0.A.0.1B (EL03)	1730–2167	1730–2165	1727,5–2165,5
	M2.5A.0.25B (EL07)	1730–2167	1730–2165	1728,5–2163,5
	M4.0A0.5B (EL14)	1730–2167	1730–2165	1725,5–2164,75
	M8.0A0.5B (EL26)	1730–2167	1730–2165	1725,5–2165,75
	Pśr (CALI)	1730–2167	1730–2165	1713,25–2166,75
	PNG (NEGR)	1650,0–2170,0	1650,0–2170,0	1652,75–2172,5
	PG (GR)	1650,0–2170,0	1650,0–2170,0	1650,25–2170,5
	B1.0A0.1M (EN04)	1730–2167	1737,0–2165,75	1737,0–2165,75
	B2.5A0.25M (EN10)	1730–2167	1727,75–2166,5	1727,75–2166,5
	PK	1850–2165	bd	bd
	Popł –oporność płuczki	1730–2175	1730–2165	bd
	A1"M1"N	1730–2167	1730,0–2167,0	bd
	A2"M	1730–2167	1730,0–2167,0	bd
05.10.1963– 06.10.1963	PS	2120,0–2320,0	2125–2340	2120,25–2319,75
	M5.28A.1.62B (EL18)	2120–2340	2125–2340	2116,25–2339,5
	B5.70A.0.40 (EN16)	2120–2340	2125–2340	2115,25–2340,75
	B4.48.A1.62M (EN64)	2120–2315	2125–2340	2115,75–2318,75
	MIKROSONDA A1"M1"N	2120–2340	2125–2340	bd
	MIKROSONDA A2"MZ	2120–2340	2125–2340	bd
	PG(GR)	2130,0–2342,0	2125–2340	2123,25–2341,75
	PNG	2130,0–2342,0	2125–2340	2124,5–2342,5
	Pśr (CALI)	1725–2315	1725–2315	1727,25–2314,75
	Ptu	1700–2345	1700–2345	
21.10.1963	profilowanie temperatury Ptu	250,0–1735,0	250,0–1735,0	250,75–1775,75

PS (SP) – profilowanie potencjałów samoistnych; PG (GR) – profilowanie gamma; PNG (NEGR) – profilowanie neutron gamma; Pśr (CALI) – profilowanie średnicy; PK – profilowanie krzywizny otworu; PO (ENX) – sondowanie oporności gradientowe; PO (ELX) – sondowanie oporności potencjałowe; Ptu – profilowanie temperatury

BSO – lateral resistivity log; PS (SP) – spontaneous potential log; PG (GR) – gamma log; PNG + (NEGR) – neutron gamma log; Pśr (CALI) – diameter log; PK – borehole curvature log; PO (EN_X) – gradient resistivity log; PO (EL_X) – potential resistivity log; Ptu – temperature log

Tabela 19

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

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

Data wykonania badania Date of measurement	Rodzaj wykonanego pomiaru (skrót) Type of measurement (abbreviated)	Typ sondy Type of probe	Typ aparatury Type of tool	Rodzaj płuczki Type of mud	Głębokość otworu wg danych wiertniczych/geofizycznych Well depth in driller's/logger's [m]	Średnica nominalna Nominal diameter [mm]	Głębokość zarurowania wg danych wiertniczych/geofizycznych Casing depth in driller's/logger's [m]
17.11.1961	Pśr (CALI)	bd	bd	iłowa	1059/1031,8	308	392/392
	PG(GR)	bd	bd				
	PS	bd	bd				
	EL02	M0.5A0.1B	bd				
	EL03	M1.0A0.1B	bd				
	EN04	B1.0A0.1M	bd				
	EL07	M2.5A.0.25B	bd				
	B2.5A0.25M?	B2.5A0.25M?	bd				
	EL14	M4.0A0.5B	bd				
	EL26	M8.0A0.5B	bd				
	PNG (NEGR)	bd	bd				
	mPsr	bd	bd				
PK	bd	inklinometr nr 1894					
21.11.1961	PG	bd	Aparatura nr 8 wg Inst.Naft.	iłowa		308	
	PNG	bd	bd				
04.03.1962	Pśr (CALI) nr 1829	bd	średnicomierz nr 1829	iłowa	1739	308	392
	Popl	bd	rezysitiwimetr nr 1755				
	mPOg (EL)	A1"N1"M	bd				
	mPOp (MP)	A2"M	bd				
03.04.1962– 05.04.1962	PG(GR)	bd	bd	iłowa	1740/1733	308	
	PNG	bd	bd				
	EL03	M1.0A0.1B	bd				
		B1.0A0.1M	bd				
	EL07	M2.5A0.25B	bd				
	EN10	B2.5A0.25M	bd				
	EL14	M4.0A0.5B	bd				
	EL26	M8.0A0.5B	bd				
	EN04	B1.0A0.1B	bd				
	PS	bd	bd				
	EL02	M0.5A0.1B	bd				
	TEMP	bd	bd				

Tabela 19 cd.

Data wykonania badania Date of measurement	Rodzaj wykonanego pomiaru (skrót) Type of measurement (abbreviated)	Typ sondy Type of probe	Typ aparatury Type of tool	Rodzaj płuczki Type of mud	Głębokość otworu wg danych wiertniczych/geofizycznych Well depth in driller's/logger's [m]	Średnica nominalna Nominal diameter [mm]	Głębokość zarurowania wg danych wiertniczych/geofizycznych Casing depth in driller's/logger's [m]
30.06.1962	PK?	bd	bd	iłowa	1723/1500	308	
	profilowanie prędkości średniej, Tr_PW1	bd	bd				
	profilowanie prędkości średniej, Tr_PO	bd	bd				
	profilowanie prędkości średniej, Tr_PW2	bd	bd				
	profilowanie prędkości średniej, Tr_PW3	bd	bd				
10.11.1962– 11.11.1962	PS	bd	bd	iłowa	2164.3/2175	216	1722,9
	EL02	M0.5.A.0.1B	bd				
	EL03	M1.0.A.0.1B	bd				
	EL07	M2.5A.0.25B	bd				
	EL14	M4.0A0.5B	bd				
	EL26	M8.0A0.5B	bd				
	Pśr (CALI)	bd	bd				
	PNG (NEGR)	bd	bd				
	PG (GR)	bd	bd				
	EN04	B1.0A0.1M	bd				
	EN10	B2.5A0.25M	bd				
	PK	bd	bd				
	POpl	A1"M1"N	bd				
	mPO	A1"M1"N	bd				
mPO	A2"M	bd					
05.10.1963– 06.10.1963	PS	bd	bd	iłowa	2343/2343	216	1724,8
	EL18	M5.28A.1.62B	bd				
	EN16	B5.70A.0.40	bd				
	EN64	B4.48.A1.62M	bd				
	mPO	A1"M1"N	bd				
	mPO	A2"MZ	bd				
	PG(GR)	bd	bd				
	PNG	bd	bd				
	Pśr (CALI)	bd	bd				
Ptu	bd	bd					
	POpl	bd	bd				
21.10.1963	profilowanie temperatury Ptu	bd	bd	iłowa	2343/2345	216	1724,8/1725,7

OCENA JAKOŚCI DANYCH I STANU OTWORU

Zacementowano otwór w poniższych interwałach głębokościowych:

- rury $\varnothing 18\frac{5}{8}$ " – 30,0 m – cement do wierzchu;
- rury $\varnothing 13\frac{3}{8}$ " – 289,0 m – cement do wierzchu;
- rury $\varnothing 9\frac{5}{8}$ " – 1722,9 m – cement do wierzchu.

Odcinek od wapienia muszlowego do prekambriu (tj. głęb. 1849,3–2340,2 m) nie został zarurowany, co spowodowało uniemożliwienie zamknięcia poszczególnych horyzontów i przeprowadzenie perforacji. Zgodnie z projektem spód otworu został zapełniony gęstą płuczką w stropie z korkiem cementowym i zlikwidowany do głęb. 1800,0 m.

Pierwszy odcinek otworu Nidzica IG 1 zarurowano na głęb. 30,0 m, a następnie na głęb. 289,0 m. Średnica nominalna w pierwszym i drugim odcinku pomiarowym wynosiła 308 mm (tab. 20). Wymycia występowały na głęb. 526,0–576,0 m, a maksymalna ich wartość wynosiła 54 mm. Zaobserwowano wymycia w interwałach: 1045,0–1047,0 m, osiągające maksymalnie 32 mm. Kolejne wymycia były widoczne na głęb. 1060,0–1066,0 m oraz 1082,0–1084,0 m, a ich wartości sięgają 52 mm. W interwale głęb. 1467,0–1639,0 m występowały pojedyncze kawerny – maksymalnie osiągały 62 mm.

Ostatni interwał pomiarowy obejmował głęb. 1727,0–2339,0 m. W tym interwale średnica nominalna wynosiła

216 mm. Występowały tu bardzo liczne kawerny, które osiągały wartości oscylujące wokół wartości 312 mm. Analizę stanu technicznego ścian otworu oparto na parametrze *Bad Hole Flag*, który wskazuje na różnice pomiędzy profilowaniem średnicy rzeczywistej (Pśr/CALI) a profilowaniem średnicy nominalnej (BS) – figura 45. Parametr *Bad Hole Flag* przyjmował wartości 0 dla interwałów głębokościowych, w których nie zaobserwowano znaczących różnic pomiędzy wartością średnic nominalnej i rzeczywistej oraz wartość 1 dla interwałów głębokościowych, w których te różnice były znaczące. W odcinkach głębokościowych, w których nie zaobserwowano kawern uwidoczniły się osady ilaste (ang. *mudcake*), które charakteryzują się mniejszą średnicą rzeczywistą niż średnicą nominalną.

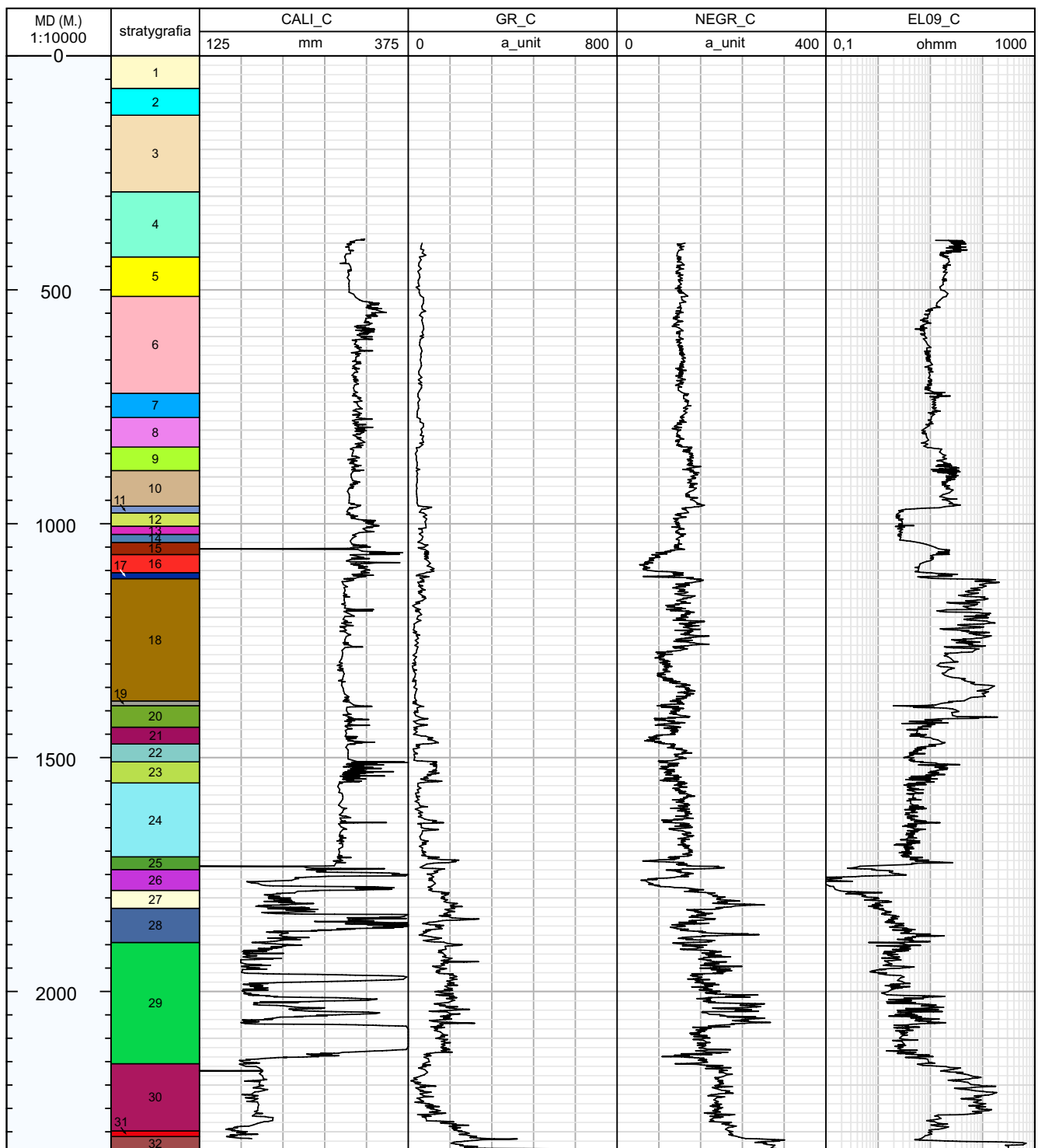
W otworze Nidzica IG 1 pomiary wykonano sondami niekalibrowanymi, co wpływa w znaczącym stopniu na wiarygodność analiz i interpretację danych geofizycznych. Otwór został wykonany w latach 1960–1963, dlatego też pomiary radiometryczne są określone w niestandardowych jednostkach (imp/min). Ponadto w otworze występują liczne kawerny, co również wpływa na obniżenie jakości pomiarów, a co za tym idzie, zmniejszoną wiarygodność wyników. Rejestracja pomiarów została wykonana analogowo, a następnie scyfrowana, co może powodować wzrost niepewności pomiaru.

Tabela 20

Wyniki obliczenia gradientu geotermicznego w profilu otworu

The results of the calculation of the geothermal gradient in borehole section

Głębokość Depth [m]	Stratygrafia Stratigraphy	Gradient geotermiczny Geothermal gradient [°C/100m]	Stopień geotermiczny Geothermal grade [m/°C]
290–429	oligocen	0,71	140,40
429–515	mastrycht górny	1,40	71,67
515–720	mastrycht dolny	1,17	85,77
720–773	kampan dolny	1,06	94,64
773–836,5	santon	2,08	48,11
836,5–886	koniak	1,72	58,24
886–963,5	turon	0,86	115,67
963,5–977,5	cenoman	1,29	77,78
977,5–1005	alb górny	0,58	171,88
1005–1022,5	alb środkowy–barrem	0,63	159,09
1022,5–1039,5	hoteryw górny	0,59	170,00
1039,5–1045,7	walanżyn–hoteryw dolny	1,45	68,89
1045,7–1063,4	tyton górny	1,75	57,10
1063,4–1066,2	tyton dolny	0,71	140,00
1066,2–1105,8	kimeryd górny	1,41	70,71
1105,8–1117,5	kimeryd dolny	2,56	39,00
1117,5–1390,2	oksford	1,53	65,55
1390,2–1391,7	kelowej	0,67	150,00
1391,7–1434,5	baton górny	1,68	59,44
1434,5–1471	baton górny–baton dolny	1,34	74,49
1471–1509,4	toark górny	1,35	73,85
1509,4–1554	toark dolny	1,32	75,59
1554–1712	pliensbach	1,22	82,29
1712–1739,5	trias górny	1,56	63,95



BHF – wskaźnik jakości otworu, CALI_C – profilowanie średnicy otworu, GR_C – profilowanie spektrometryczne gamma, NEGR_C – profilowanie neutronowe, EL09_C – profilowanie oporności

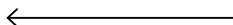
Stratygrafia: 1 – czwartorzęd, 2 – pliocen, 3 – miocen, 4 – oligocen, 5 – mastrycht górny, 6 – mastrycht dolny, 7 – kampan dolny, 8 – santon, 9 – koniak, 10 – turon, 11 – cenoman, 11 – alb górny, 12 – alb środkowy – barrem, 13 – hoteryw górny i dolny, 14 – tyton górny, 15 – tyton dolny, 16 – kimeryd górny, 17 – kimeryd dolny, 18 – oksford, 19 – kelowej, 20 – baton górny, 21 – baton górny – baton dolny, 22 – toark górny, 23 – toark dolny, 24 – pliensbach, 25 – retyk, 26 – noryk, 27 – karnik, 28 – trias środkowy, 29 – trias dolny, 30 – ediakar – kambry dolny, 31 – ediakar, 32 – mezoproterozoik

BHF – Bad Hole Flag, CALI_C – caliper log, GR_C – gamma ray log, NEGR_C – neutron – gamma ray log, EL09_C – lateral electrical log

Stratigraphy: 1 - Quaternary, 2 - Pliocene, 3 - Miocene, 4 - Oligocene, 5 - Upper Maastrichtian, 6 - Lower Maastrichtian, 7 - Lower Campanian, 8 - Santonian, 9 - Coniacian, 10 - Turonian, 11 - Cenomanian, 11 - Upper Albian, 12 - Middle Albian - Barrem, 13 - Upper and Lower Hauterivian, 14 - Upper Tithonian, 15 - Lower Tithonian, 16 - Upper Kimmeridgian, 17 - Lower Kimmeridgian, 18 - Oxfordian, 19 - Callovian, 20 - Upper Bathonian, 21 - Upper Bathonian – Lower Bathonian, 22 - Upper Toarcian, 23 - Lower Toarcian, 24 - Pliensbachian, 25 - Rhaetian, 26 - Norian, 27 - Carnian, 28 - Middle Triassic, 29 - Lower Triassic, 30 - Ediacaran – Lower Cambrian, 31 - Ediacaran, 32 - Mesoproterozoic.

Fig. 45. Wybrane profilowania geofizyki otworowej, wskaźnik jakości otworu oraz stratygrafia dla otworu Nidzica IG 1

Selected geophysical logs, Bad Hole Flag and stratigraphy in Nidzica IG 1 borehole



PROFILOWANIE KRZYWIZNY OTWORU

Pomiary inklinometrem zostały wykonane odcinkowo z krokiem próbkowania 25 m, co jest standardowym krokiem dla krzywizny otworu. W drugim odcinku pomiarowym (głęb. 400,0–1028,0 m) kąt oraz azymut otworu był zmienny. Na głęb. 425,0–600,0 m kąt wynosił 0° . Od głęb. 625,0 do 650,0 m odchylenie otworu wynosiło $0^\circ 30'$, natomiast azymut wahał się między 320 – 340° . Na głęb. 675,0–700,0 m otwór wrócił do pozycji pionowej. Od 700,0 do 900,0 m kąt odchylenia wahał się od $0^\circ 30'$ do 1° . Azymut

z kolei oscylował między wartościami 240 – 320° . Na głęb. 900,0–1000,0 m otwór nie wykazywał odchylenia od pionu. W interwale 1000,0–1025,0 m odchylenie otworu wyniosło $0^\circ 30'$, a następnie na głęb. 1025,0–1050,0 m – 0° . Na głęb. 1850,0–2050,0 m otwór nie wykazuje odchylenia (zarówno kąt jak i azymut wynoszą 0°). Z kolei na głęb. 2075,0–2125,0 m otwór wykazał odchylenie równe $0^\circ 15'$ – $0^\circ 30'$ przy azymucie 192 – 204° . Na głęb. 2175,0 m otwór uległ wychyleniu $2^\circ 15'$ przy azymucie 208° .

PROFILOWANIE TEMPERATUROWE OTWORU

W otworze Nidzica IG 1 w dniu 21.10.1963 r. wykonano pomiar temperatury w warunkach ustalonej równowagi cieplnej. Pomiar ten przeprowadzono w interwałach obejmujących głęb. 250,0–1775,75 m. Wyniki wspomnianego pomiaru wykorzystano do wyznaczenia średniego gradientu

oraz określenia średniego stopnia geotermicznego dla poszczególnych interwałów głębokościowych (tab. 20), a także całego otworu. Stopień geotermiczny dla otworu Nidzica IG 1 w interwale głęb. 290,0–1739,5 m wynosił $77,7$ m natomiast gradient geotermiczny był równy $1,29$ $^\circ\text{C}/100$ m.

OCENA POZIOMÓW O WŁAŚCIWOŚCIACH ZBIORNIKOWYCH

W sprawozdaniu z pomiarów ciężarów objętościowych skał za 1963 r. (Drzewiński, 1964) są dostępne rezultaty pomiarów porowatości efektywnej dla utworów w otworze Nidzica IG 1, (tab 21). Najwyższe porowatości obserwuje się w utworach kredy środkowej i wynoszą ok. 31%. Nieco

niższymi wartościami porowatości cechują się utwory kredy dolnej, które osiągają średnio 28%. Z kolei najniższe wartości porowatości są charakterystyczne dla utworów triasu i oscylują wokół 10%.

PODSUMOWANIE

Wyniki badań geofizycznych wykonanych w otworze Nidzica IG 1 stanowią kluczowy element rozpoznania budowy niższego paleozoiku w obrębie strefy wyklinowania tamtejszych utworów. Ponadto zbadano wykształcenie młodszej serii skał osadowych, w tym dolnego triasu, i pozyskano informacje o budowie podłoża krystalicznego. Badania geofizyczne wykonane w otworze Nidzica IG 1 metodą analogową pozwoliły na poznanie oporności, stanu zwięzłości,

porowatości neutronowej czy spektrometrycznego promieniowania gamma, utworów budujących obszar, na którym wykonano wspomniany otwór wiertniczy. Uzyskano również informacje na temat temperatury czy krzywizny otworu. Niestety ze względu na brak pomiarów laboratoryjnych nie przeprowadzono szczegółowej analizy petrofizycznej dotyczącej porowatości, zailenia, czy przepuszczalności skał.

Kinga BOBEK

WYNIKI POMIARÓW PRĘDKOŚCI ŚREDNICH

Pomiary prędkości średnich i opracowanie wyników dla otworu Nidzica IG 1 zostały wykonane w 1962 r. przez Przedsiębiorstwo Poszukiwań Geofizycznych w Warszawie. Prace pomiarowe przeprowadzono z wykorzystaniem aparatury radzieckiej typu SS-26-51-D oraz geofonu głębinowego typu Sis 49 w interwale głęb. 100,0–1500,0 m z krokiem pomiarowym co 25 m. Prace strzałowe prowadzono z trzech punktów wzbudzenia (PW) usytuowanych w następujący sposób:

PW1 $d = 60$ m $A = 330^\circ$ $N = 0$ m

PW2 $d = 250$ m $A = 330^\circ$ $N = -4$ m

PW3 $d = 250$ m $A = 60^\circ$ $N = -5$ m

gdzie:

d – odległość punktu wzbudzenia od głębokiego odwiertu

A – azymut mierzony w punkcie głębokiego odwiertu w kierunku PW

N – niwelacja: PW w stosunku do wylotu głębokiego odwiertu.

Tabela 21

Wyniki porowatości efektywnej
The results of the effective porosity

Głębokość Depth [m]	Stratygrafia Stratigraphy	Porowatość efektywna Effective porosity [%]
17–30	czwartorzęd	0,24
30–69	czwartorzęd	0,09
69–130	trzeciorzęd	0,26
154–160	miocen	0,13
180–212	miocen	0,21
232–316	oligocen	0,32
359–421	kreda środkowa	0,39
443–501	kreda środkowa	0,42
501–538	kreda środkowa	0,37
538–599	kreda środkowa	0,31
619–710	kreda środkowa	0,39
730–764	kreda środkowa	0,31
784–818	kreda środkowa	0,32
834–844	kreda środkowa	0,33
864–871	kreda środkowa	0,24
891–910	kreda środkowa	0,2
931–938	kreda środkowa	0,33
957–963	kreda środkowa	0,15
963–996	kreda dolna	0,34
996–1002	kreda dolna	0
1002–1030	kreda dolna	0,44
1030–1053	kreda dolna	0,33
1060–1102	malm	0,29
1102–1180	malm	0,18
1180–1274	malm	0,12
1274–1315	malm	0,24
1315–1392	malm	0,14
1392–1427	dogger	0,22
1427–1508	lias	0,35
1508–1524	lias	0,21
1529–1556	lias	0,22
1556–1632	lias	0,36
1632–1643	lias	0,26
1643–1651	lias	0,05
1651–1714	lias	0,28
1714–1784	lias	0,12
1789–1823	trias	0,22
1823–1836	trias	0,1
1836–1849	trias	0,09
1849–1901	trias	0,07
1901–1961	trias	0,17
1961–2004	trias	0,09
2004–2067	trias	0,08
2067–2130	trias	0,07
2130–2155	trias	0,09
2155–2310	kambr	–
2310–2340	prekambr	–

W celu kontroli głębokości strzelania na poszczególnych punktach strzałowych ustawiono geofony korekcyjne K_1 w maksymalnej odległości nieprzekraczającej 5 m. Kontrolę momentu wybuchu prowadzono z wykorzystaniem geofonu korekcyjnego K_2 . Pomiarom objęto interwał głęb. 0–1500,0 m, co odpowiada poziomom stratygraficznym od neogenu do dolnej jury. Poniżej tej głębokości, pokrywającej formacje od dolnej jury do ediakaru, cyfrowe pomiary prędkości średnich nie są dostępne.

Głębokość zredukowana do poziomu odniesienia została obliczona z wykorzystaniem wzoru:

$$h_r = H - h_{po} \pm N$$

gdzie:

h_r – głębokość punktu pomiarowego zredukowana do poziomu odniesienia

H – głębokość zanurzenia geofonu liczona od wylotu głębokiego odwiertu

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

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

Czas poprawiony na podstawie czasu obserwowanego obliczono z założeniem jednorodności ośrodka od punktu wybuchu do głębokości zanurzenia geofonu głębinowego na podstawie równania:

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

gdzie:

t_p – czas poprawiony

t_{obs} – czas obserwowany

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

W kolejnym etapie prowadzonych obliczeń wykonano redukcję otrzymanych wartości czasu poprawionego do pionu dla poszczególnych punktów wzbudzenia, zwanych dalej $t_r 1$, $t_r 2$ oraz $t_r 3$. Wspomnianą redukcję wykonano za pomocą następującego wzoru:

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

gdzie:

t_r – czas zredukowany

h_r – głębokość punktu pomiarowego zredukowana do poziomu odniesienia

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

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

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

Wszystkie uzyskane wartości $t_r 1$, $t_r 2$, $t_r 3$, t_r oraz V_{sr} zostały zestawione w tabeli 22.

Zestaw otrzymanych wyników stanowił podstawę konstrukcji krzywej prędkości średniej (fig. 46A) oraz hodografu pionowego (fig. 47). Krzywa prędkości została utworzona na podstawie obliczeń prowadzonych z wykorzystaniem średniej wartości czasu zredukowanego z trzech punktów wzbudzenia (t_r). Uzyskany hodograf pionowy wskazuje na zależność między wzrostem głębokości a czasem rejestracji. Wartości odstające widoczne na krzywej prędkości średnich zostały w wygładzone za pomocą średniej ruchomej w następnym kroku prowadzonych obliczeń.

Kolejnym etapem analizy było wyznaczenie kompleksów prędkościowych, a w szczególności ich wartości średnich poprzez zastosowanie wygładzenia wartości pomiarów. Ta metoda może zostać zastosowana wyłącznie w przypadku zachowania stałych ostępów pomiędzy punktami pomiarowymi, a zmienność pomierzonych wartości z punktu na punkt jest losowa. Krzywe wygładzone prędkości obliczono w celu wyznaczenia stref maksymalnych gradientów prędkości, które odpowiadają granicom poszczególnych kompleksów prędkościowych.

Krzywe prędkości zostały obliczone poprzez wyrównanie zmierzonych czasów zredukowanych do pionu przy zastosowaniu splotu z filtrem trójkątnym. Przetwarzanie danych polegało na przeliczeniu czasu i prędkości do poziomu odniesienia pomiaru i interpolacji otrzymanych wartości dla znormalizowanych przedziałów głębokości co 20 m i wygładzeniu otrzymanych wyników wspomnianym filtrem. Dzięki zastosowaniu tego typu przekształceń było możliwe usunięcie przypadkowych odchyłeń, wynikających z niedokładności pomiaru oraz zniwelowanie skoków wartości spo-

Tabela 22

Zestawienie wartości czasów pomierzonych z trzech punktów wzbudzenia ($t_r 1$, $t_r 2$ i $t_r 3$), średniej wartości czasu zredukowanego (t_r) oraz odpowiadającej mu wartości prędkości średniej (V_{sr}) dla danej głębokości (h)

Time measured from three shot points ($t_r 1$, $t_r 2$ and $t_r 3$), reduced time (t_r) and values of the average velocity (V_{sr}) for a measured depth (h)

h [m]	$t_r 1$ [s]	$t_r 2$ [s]	$t_r 3$ [s]	t_r [s]	V_{sr} [m/s]
75	0,045	0,044	0	0,0445	1747,558
100	0,056	0,058	0	0,057	1767,985
125	0,066	0,073	0,069	0,069333	1767,924
150	0,079	0,085	0,082	0,082	1789,589
175	0	0,1	0,098	0,099	1799,674
200	0	0,112	0,111	0,1115	1802,29
225	0,123	0,128	0,123	0,124667	1805,564
250	0,135	0,141	0,137	0,137667	1817,141
275	0,141	0,153	0,153	0,149	1827,017
300	0,164	0,166	0,163	0,164333	1835,775
325	0,172	0,18	0,177	0,176333	1852,648

Tabela 22 cd.

h [m]	$t_r 1$ [s]	$t_r 2$ [s]	$t_r 3$ [s]	t_r [s]	V_{sr} [m/s]
350	0,186	0,194	0,188	0,189333	1864,473
375	0,188	0,204	0,2	0,197333	1882,818
400	0,205	0,215	0,21	0,21	1904,936
425	0,216	0,227	0,222	0,221667	1922,183
450	0,224	0,235	0,232	0,230333	1935,815
475	0,246	0,245	0	0,2455	1953,092
500	0,254	0,254	0,254	0,254	1969,634
525	0,265	0,264	0,262	0,263667	1980,292
550	0,277	0,276	0,272	0,275	1994,664
575	0,287	0,286	0	0,2865	2008,572
600	0,303	0,3	0,294	0,299	2015,327
625	0,307	0,309	0,304	0,306667	2024,418
650	0,322	0,322	0,319	0,321	2032,378
675	0,332	0,329	0,329	0,33	2047,707
700	0,345	0,342	0,339	0,342	2054,463
725	0,351	0,35	0,343	0,348	2066,894
750	0,36	0,361	0,365	0,362	2076,651
775	0,373	0,37	0,371	0,371333	2090,011
800	0,384	0,38	0,382	0,382	2099,409
825	0,393	0,39	0,388	0,390333	2115,372
850	0,401	0,398	0,398	0,399	2133,792
875	0,41	0,403	0,407	0,406667	2152,296
900	0,419	0,412	0,408	0,413	2170,416
925	0,425	0,423	0,421	0,423	2185,859
950	0,431	0,432	0,43	0,431	2197,684
975	0,444	0,44	0,441	0,441667	2205,572
1000	0,454	0,452	0,451	0,452333	2213,607
1025	0,464	0	0,46	0,462	2220,688
1050	0,474	0	0,469	0,4715	2229,691
1075	0,483	0,48	0,477	0,48	2242,698
1100	0,492	0,488	0,485	0,488333	2258,669
1125	0,496	0,496	0,491	0,494333	2276,792
1150	0,503	0,502	0,496	0,500333	2297,931
1175	0,509	0,507	0,505	0,507	2319,783
1200	0,515	0,512	0,508	0,511667	2340,815
1225	0,524	0,518	0,514	0,518667	2359,545
1250	0,528	0,527	0,52	0,525	2377,219
1275	0,536	0,533	0,53	0,533	2392,625
1300	0,54	0,543	0,538	0,540333	2408,506
1325	0,549	0,548	0,544	0,547	2421,929
1350	0,555	0,555	0,549	0,553	2437,043
1375	0,564	0,563	0,558	0,561667	2451,223
1400	0,571	0,568	0,563	0,567333	2461,924
1425	0,577	0,576	0,573	0,575333	2469,477
1450	0,588	0,588	0,581	0,585667	2476,004
1475	0,596	0,597	0,592	0,595	2478,083
1500	0,605	0,607	0,602	0,604667	2478,502

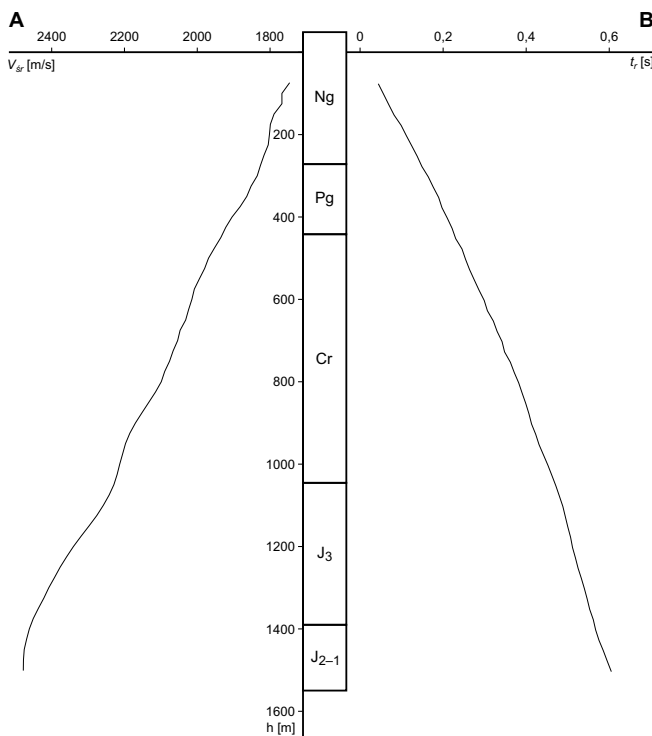


Fig. 46. Wykres prędkości średnich (A) i hodograf pionowy (B) otrzymane dla otworu Nidzica IG 1 (poz. odn. 175 m n.p.m.)

t_r – średni czas zredukowany, V_{sr} – prędkość średnia, h – głębokość. Symbole stratygraficzne: Ng – neogen, Pg – paleogen, Cr – kreda, J_3 – jura górna, J_{2-1} – jura środkowa i dolna

Average seismic velocity (A) and travel-time curve (B)
(reference level 175 m a.s.l.)

t_r – average reduced time, V_{sr} – average velocity, h – depth. Stratigraphic symbols: Ng – Neogene, Pg – Paleogene, Cr – Cretaceous, J_3 – Upper Jurassic, J_{2-1} – Middle and Lower Jurassic

wodowanych zaokrągleniem otrzymanych wartości czasu do 1 ms przy pierwszym wygładzeniu. W wyniku powtarzania wymienionych operacji są zaokrąglane załamania hodografu, powstałe w wyniku zmian prędkości w kolejnych warstwach. Powstałe w ten sposób dodatkowe zbiory danych, obejmujące przetworzone czasy pomiarów po redukcji do poziomu odniesienia, posłużyły do wyznaczenia odpowiadających im prędkości średnich.

Wymienione wyżej informacje są zawarte w banku danych prędkościowych utworzonych w latach 90. XX w. w Zakładzie Geofizyki PIG na potrzeby interpretacji refleksyjnych prac sejsmicznych. Bank ten przekazano do CBDG (baza otworowa, pliki typu LAS).

Wykryte różnice wartości czasów pomiędzy kolejnymi wygładzeniami są spowodowane zamianami prędkości w sąsiednich warstwach o określonej miąższości. Zjawisko to wykorzystano w celu wyznaczenia granic poszczególnych kompleksów prędkościowych w miejscach maksymalnych bezwzględnych różnic czasu wygładzonego n i $n + 1$ razy.

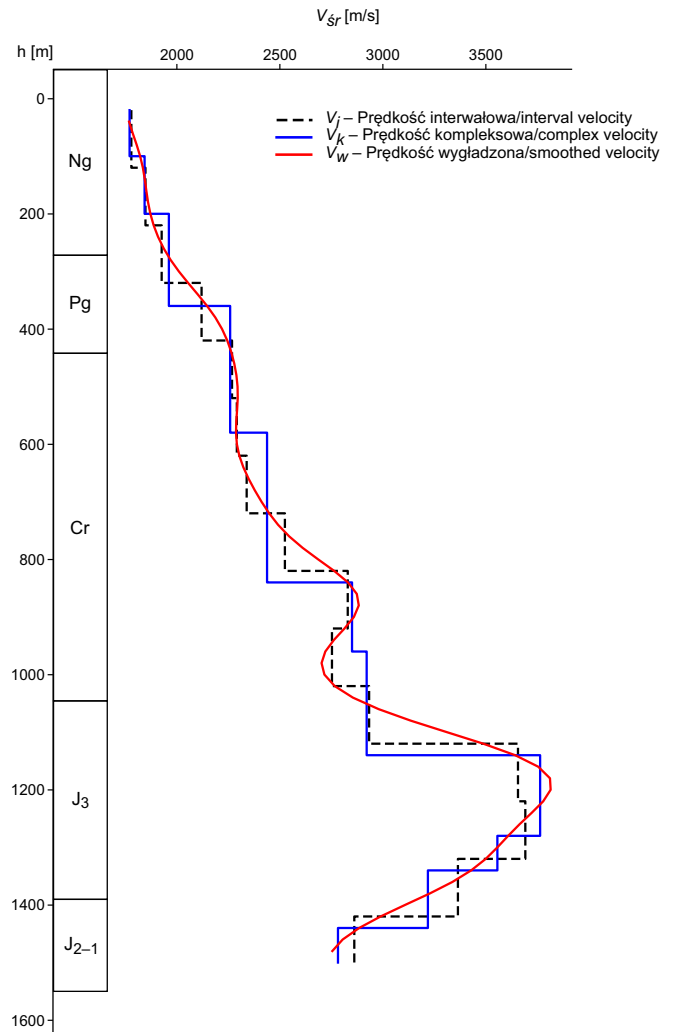


Fig. 47. Wykresy prędkości wygładzonych (V_w), prędkości interwałowych (V_i) oraz kompleksowych (V_k) dla otworu Nidzica IG 1 (poz. odn. 175 m n.p.m.)

h – głębokość; objaśnienia do symboli jak na figurze 46

Smoothed velocity (V_w), interval velocity (V_i) and complex velocity (V_k) (reference level 175 m a.s.l.)

h – depth; for explanations of the symbols see Figure 46

Granice te wyznacza się w miejscach maksymalnych i minimalnych wartości gradientów prędkości interwałowych.

Wszystkie wymienione powyżej obliczenia oraz graficzna prezentacja wyników zostały wykonane z wykorzystaniem przygotowanego w tym celu modułu obliczeniowego w postaci skryptu zawierającego kod w języku Python (v. 3.9).

Wyniki przeprowadzonych obliczeń zawierające wartości prędkości wygładzonych (V_w), prędkości interwałowych (V_i) oraz prędkości kompleksowych (V_k) zestawiono w tabeli 23, natomiast krzywe tych prędkości przedstawiono na figurze 47. Powyższe wykresy zestawiono z profilem stratygraficznym, co pozwoliło na powiązanie otrzymanych zmian prędkości z kompleksami o odmiennej litologii.

W obrębie utworów neogenu otrzymane wyniki obliczeń wskazują na istnienie trzech kompleksów prędkościowych o średniej wartości prędkości równej 1768 m/s, 1842 m/s i 1960 m/s. Stopniowy wzrost prędkości średniej w tym przypadku jest zapewne związany ze wzrostem zawartości utworów piaszczystych w obrębie formacji ilastych oraz zmniejszeniem zawartości węgla brunatnego. Wyraźny wzrost średniej prędkości kompleksowej z 1960 m/s do 2258 m/s jest widoczny na głęb. 360 m w obrębie utworów paleogenu, gdzie dochodzi do zmiany litologii z margli o stosunkowo niskich prędkościach do wysokoprędkościowych piaszczystych kwarcowych. Kolejny kompleks o śred-

Tabela 23

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

Values of the measured depth (h), interval velocity (V_i), complex velocity (V_k) and smoothed velocity (V_w)

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
20	1777,967	1769,403	–
40	1777,967	1769,403	1766,941
60	1777,967	1769,403	1784,519
80	1777,967	1769,403	1803,589
100	1777,967	1842,299	1820,747
120	1846,552	1842,299	1833,937
140	1846,552	1842,299	1843,233
160	1846,552	1842,299	1850,738
180	1846,552	1842,299	1859,082
200	1846,552	1960,18	1870,382
220	1925,187	1960,18	1886,259
240	1925,187	1960,18	1907,669
260	1925,187	1960,18	1934,891
280	1925,187	1960,18	1968,504
300	1925,187	1960,18	2008,536
320	2118,869	1960,18	2053,494
340	2118,869	1960,18	2100,509
360	2118,869	2257,668	2145,693
380	2118,869	2257,668	2185,673
400	2118,869	2257,668	2218,279
420	2266,751	2257,668	2243,662
440	2266,751	2257,668	2263,083
460	2266,751	2257,668	2277,645
480	2266,751	2257,668	2287,937
500	2266,751	2257,668	2293,578
520	2290,059	2257,668	2294,499
540	2290,059	2257,668	2291,476
560	2290,059	2257,668	2287,414
580	2290,059	2436,82	2286,106

Tabela 23 cd.

h [m]	V_i [m/s]	V_k [m/s]	V_w [m/s]
600	2290,059	2436,82	2290,295
620	2337,869	2436,82	2302,158
640	2337,869	2436,82	2321,667
660	2337,869	2436,82	2347,28
680	2337,869	2436,82	2377,132
700	2337,869	2436,82	2410,074
720	2523,405	2436,82	2446,932
740	2523,405	2436,82	2490,35
760	2523,405	2436,82	2544,044
780	2523,405	2436,82	2609,603
800	2523,405	2436,82	2684,924
820	2828,534	2436,82	2762,622
840	2828,534	2849,328	2829,655
860	2828,534	2849,328	2872,531
880	2828,534	2849,328	2882,052
900	2828,534	2849,328	2858,368
920	2751,94	2849,328	2812,742
940	2751,94	2849,328	2761,096
960	2751,94	2920,401	2719,608
980	2751,94	2920,401	2701,425
1000	2751,94	2920,401	2715,178
1020	2932,293	2920,401	2765,296
1040	2932,293	2920,401	2853,474
1060	2932,293	2920,401	2978,407
1080	2932,293	2920,401	3134,305
1100	2932,293	2920,401	3309,888
1120	3654,971	2920,401	3486,446
1140	3654,971	3762,463	3641,329
1160	3654,971	3762,463	3753,402
1180	3654,971	3762,463	3810,25
1200	3654,971	3762,463	3813,519
1220	3690,582	3762,463	3777,505
1240	3690,582	3762,463	3721,623
1260	3690,582	3762,463	3662,333
1280	3690,582	3554,924	3607,178
1300	3690,582	3554,924	3554,924
1320	3363,38	3554,924	3498,338
1340	3363,38	3217,633	3427,592
1360	3363,38	3217,633	3336,948
1380	3363,38	3217,633	3227,108
1400	3363,38	3217,633	3106,555
1420	2860,33	3217,633	2987,973
1440	2860,33	2781,125	2883,922
1460	2860,33	2781,125	2803,869
1480	2860,33	2781,125	2753,683
1500	2860,33	2781,125	

niej prędkości wynoszącej 2258 m/s wyznaczono w obrębie kredy, w interwale głęb. od 580,0–820,0 m, gdzie w profilu litologicznym dominują opoki. Na głęb. 840,0 m średnia prędkość fali znacząco wzrasta z 2437 m/s do 2849 m/s, co jest związane z przejściem fali z zailonych opok o niższych prędkościach do białych wapieni charakteryzujących się znacznie wyższą prędkością średnią. Bardzo wysoki kontrast prędkościowy, gdzie średnia wartość prędkości wzrasta z 2920 do 3762 m/s zaobserwowano na głęb. 1120,0 m w obrębie formacji górnourajskich. Wyznaczona granica prędkościowa jest w tym przypadku związana z granicą pomiędzy formacją V (wapienno-marglisto-muszlowcowa) i formacją IV (oolitową) oraz przejściem fali z utworów o stosunkowo wysokim zaileniu do wysokoprędkościowych wapieni oolitowych. Od głęb. 1260,0 m, w utworach jury górnej, środkowej i dolnej dochodzi do powolnego spadku średnich prędkości kompleksowych. W pierwszym kompleksie poniżej tej granicy, występującym na głęb. 1280,0–1320,0 m, średnia prędkość fali P wynosi 3556 m/s. W profilu otworu, kompleks ten odpowiada wapieniom marglistym formacji III (koralowcovej). Kolejny kompleks prędkościowy znajduje się w przedziale głęb. 1340,0–1420,0 m, gdzie znajdują się

wapienie i margle formacji I (gąbkowo-wapiennej). Poniżej, na głęb. 1420,0 m dochodzi do znacznego spadku średniej prędkości kompleksowej z 3218 m/s do 2781 m/s, co jest związane z przejściem fali P przed granicę pomiędzy wapieniami i marglami formacji I jury górnej oraz mułowcami i piaskowcami jury środkowej.

Na podstawie przedstawionych powyżej analiz można stwierdzić, że obliczona prędkość średnia jest zależna od zmienności litologicznej przewierczanych warstw i odzwierciedla budowę geologiczną obszaru w otoczeniu otworu Nidzica IG 1. Otrzymane wyniki prędkości kompleksowej pozwalają na identyfikację najwyraźniejszych odbić refleksyjnych na profilach sejsmicznych i dowiązanie ich do odpowiednich jednostek litostratygraficznych. W przypadku badanego otworu, ze względu na ograniczony zakres wykonanych pomiarów, najbardziej wyraźnym refleksem będzie ten odpowiadający formacji IV (oolitowej).

Otrzymane wyniki stanowią znaczący materiał do uaktualnienia modelu prędkości niezbędnego dla prawidłowego opracowania interpretacji sejsmicznych w rejonie otworu Nidzica IG 1 i jego najbliższego otoczenia dla utworów od dolnej jury do neogenu.

Jakub SOKOŁOWSKI, Leszek BOJARSKI

WYNIKI OPRÓBOWAŃ HYDROGEOLOGICZNYCH

Podstawowym celem opróbowania otworu Nidzica IG 1 było zbadanie utworów mezozoiku pod kątem możliwości występowania w nich złóż węglowodorów. Badaniami objęto 7 poziomów: 1 poziom triasu górnego, 1 poziom jury dolnej, 1 poziom jury środkowej, 1 poziom jury dolnej i 3 poziomy kredy górnej (fig.48). Poziomy do badań wytypowali S. Depowski, S. Tyski i J. Królicka z Instytutu Geologicznego. Opróbowanie przeprowadzono po zakończeniu wiercenia metodą szczypania płynu łyżką wiertniczą. Stan techniczny otworu przed przystąpieniem do opróbowania przedstawiał się następująco:

- rury $\varnothing 18\frac{5}{8}$ " na głęb. 0,0–30,0 m, cementowane do wierzchu;
- rury $\varnothing 13\frac{3}{8}$ " na głęb. 0,0–389,0 m, cementowane do wierzchu;
- rury $\varnothing 9\frac{5}{8}$ " na głęb. 0,0–1722,9 m, cementowane do wierzchu.

Głębinie otworu zakończono 4 października 1963 r., po czym przystąpiono do opróbowania. Spód otworu, od głęb. końcowej 2340,2 m do głęb. 1800,0 m, został zlikwidowany gęstą płuczką z korkiem cementowym w stropie. Horyzonty do badań udostępniano poprzez perforację rur, za wyjątkiem poziomu triasu górnego, który był odsłonięty pod butem ostatniej kolumny rur. Rezultaty badań przedstawiono w dokumentacji wynikowej otworu badawczego Nidzica IG 1 opracowanej w Zakładzie Geologii Niżu Instytutu Geologicznego w 1966 r. (Bojarski, 1966).

Poziom 1722,9–1800,0 m (trias górny: piaskowce droбноziarniste, ilowce)

Badanie przeprowadzono w otworze „bosym” w interwale odsłoniętym pomiędzy butem rur $\varnothing 9\frac{5}{8}$ " a spodem otworu. Po szczypaniu ok. 1,5-krotnej objętości płynu w otworze otrzymano przyływ niewielkiej ilości wody. Poziom hydrostatyczny płynu w otworze znajdował się na głęb. 150,0 m. Wielkość przyływu określono na 0,075 m³/h przy depresji 30 m. W dniu 27.11.1963 r. pobrano próbę płynu do analizy laboratoryjnej. Pobrany płyn był bezbarwny, przezroczysty, bez zapachu i odznaczał się słodkawym smakiem. Scharakteryzowano go jako wodę typu HCO₃–SO₄–Ca–Na o odczynie lekko zasadowym (pH=8), ciężarze właściwym 1,0000 g/cm³ i suchej pozostałości 0,562 g/dm³. Główne jony występowały w ilości: HCO₃⁻ – 428 mg/dm³, SO₄²⁻ – 98 mg/dm³, Ca²⁺ – 110 mg/dm³ i Na⁺ – 74 mg/dm³. Szczegółowe wyniki badań chemicznych wody zestawiono w tabeli 24. Typ chemiczny wody oraz jej niski stopień mineralizacji, przy minimalnym dopływie, wskazują, że pobrany płyn należy traktować jako filtrat płuczki, który przeniknął do piaskowców podczas wiercenia otworu w odcinku niezarurowanym. Uzyskane wyniki jako niemiarodajne (nie są reprezentatywne dla utworów triasu górnego) pominięto w dalszych rozważaniach. Po zakończeniu badań poziom zlikwidowano i przystąpiono do opróbowania poziomu jury dolnej.

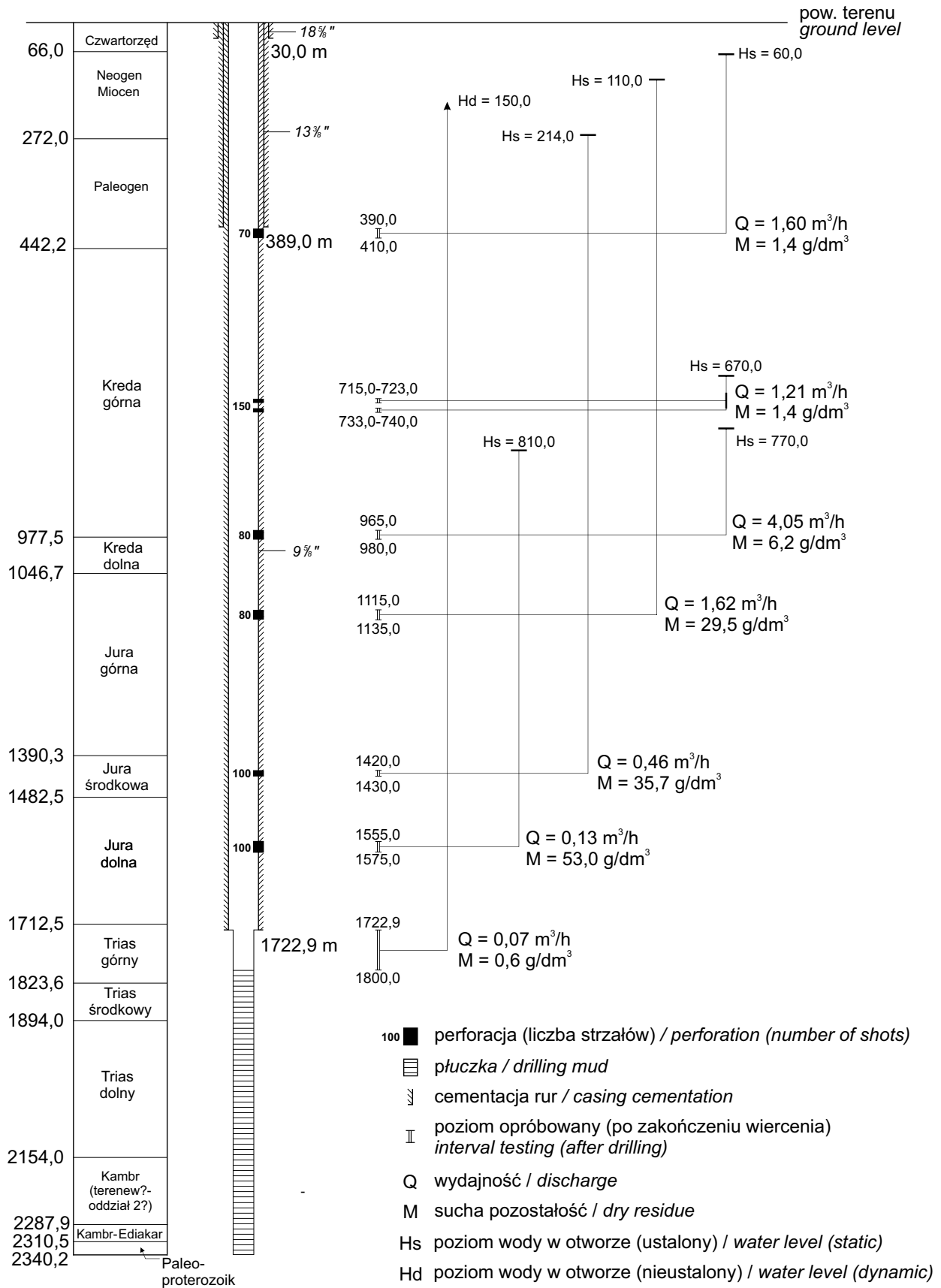


Fig. 48. Schemat opróbowania poziomów zbiornikowych

Testing scheme of Nidzica IG 1 borehole

Tabela 24

Analiza chemiczna płynu pobranego z poziomu 1722,9–1800,0 m
Results of chemical analysis of fluid sampled at 1722.9–1800.0 m interval

Składnik Component	Zawartość Content		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy/ Cations			
Na ⁺	74,0	3,219	32,65
Ca ⁺²	110,0	5,489	55,67
Mg ⁺²	14,0	1,152	11,68
Razem/ Cations total	198,0	9,860	100,00
Aniony/ Anions			
Cl ⁻	35,0	0,987	9,83
HCO ₃ ⁻	428,0	7,015	69,82
SO ₄ ⁻²	98,0	2,040	20,31
Br ⁻	0,3	0,004	0,04
Razem/Anions total	561,3	10,046	100,00
Łącznie / Total	759,3	–	–
Błąd analizy / Analysis error			
0,93%		dopuszczalny / acceptable	

**Poziom 1555,0–1575,0 m (jura dolna:
piaskowce średnio- i gruboziarniste)**

Poziom do badań udostępniono w dniu 3.12.1963 r. przez perforację rur Ø9⁵/₈" i oddając 100 strzałów. Uzyskano przyływ solanki w ilości 0,135 m³/h przy depresji 70 m. Poziom hydrostatyczny solanki ustabilizował się na głęb. 810,0 m. W dniu 13.12.1963 r. pobrano próbkę płynu złożowego do analizy laboratoryjnej. Solanka pobrana do analizy była klarowna (przezroczysta), bezbarwna, bez zapachu, o słonym smaku. Uzyskany płyn złożowy scharakteryzowano jako solankę typu Cl–Na o mineralizacji wyrażonej suchą pozostałością

Tabela 25

Analiza chemiczna solanki pobranej z poziomu 1555,0–1575,0 m
Results of chemical analysis of brine sampled at 1555.0–1575.0 m interval

Składnik Component	Zawartość Content		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy/ Cations			
Na ⁺	15 590,0	678,121	74,68
Ca ⁺²	3000,0	149,708	16,49
Mg ⁺²	975,0	80,230	8,83
Fe ^T	0,0	–	–
Razem/ Cations total	19 565,0	908,059	100,00
Aniony/ Anions			
Cl ⁻	32 200,0	908,245	98,12
HCO ₃ ⁻	74,0	1,213	0,13
SO ₄ ⁻²	712,0	14,824	1,60
Br ⁻	114,0	1,427	0,15
I ⁻	0,0	0,000	0,00
Razem/Anions total	33 100,0	925,709	100,00
Łącznie / Total	52 665,0	–	–
Błąd analizy / Analysis error			
0,96%		dopuszczalny / acceptable	

ścią 53,0 g/dm³, gęstości 1,0387 g/cm³ i odczynie obojętnym (pH = 7,5). Zawartość głównych jonów wynosiła: Cl⁻ – 32 200 mg/dm³ i Na⁺ – 15 590 mg/dm³. Wyniki analizy chemicznej solanki przedstawiono w tabeli 25. Stopień zmineralizowania solanki i jej chemizm, zwłaszcza stosunek wapnia do magnezu wynoszący 2:1, oraz wysoka zawartość bromu (114 mg/dm³), przy niskim stężeniu jonów siarczanowych i wodorowęglanowych (łącznie 1,7% mval), wskazują na możliwość występowania bituminów w utworach jury dolnej. Po zakończeniu opróbowania badany poziom zlikwidowano i przystąpiono do udostępnienia utworów jury środkowej.

**Poziom 1420,0–1430,0 m (jura środkowa:
piaski i piaskowce drobno- i średnioziarniste)**

Poziom do badań udostępniono przez perforację rur Ø9⁵/₈" (100 strzałów) przeprowadzoną dnia 20.12.1963 r. Po sčerpaniu płuczki otrzymano przyływ solanki w ilości 0,458 m³/h przy depresji 266 m. Poziom hydrostatyczny solanki ustabilizował się na głęb. 214,0 m. W dniu 4.01.1964 r. pobrano próbkę płynu złożowego do analizy laboratoryjnej. Solanka pobrana do analizy odznaczała się dobrą przezroczystością, była bezbarwna, bez zapachu, o słonym smaku. Uzyskany płyn złożowy scharakteryzowano jako solankę typu Cl–Na o mineralizacji wyrażonej suchą pozostałością 35,7 g/dm³, gęstości 1,0251 g/cm³ i odczynie obojętnym (pH = 7,0). Zawartość głównych jonów wynosiła: Cl⁻ – 20 550 mg/dm³ i Na⁺ – 11 220 mg/dm³. Wyniki analizy chemicznej solanki przedstawiono w tabeli 26. W porównaniu z horyzontem dolnojurajskim stwierdzono wyraźny spadek mineralizacji wód złożowych. Niemal dwukrotnie niższa jest też zawartość bromu (61 mg/dm³). Z kolei stężenie jonów siarczanowych i wodorowęglanowych wynosi w sumie blisko 3% mval. Po zakończeniu opróbowania badany po-

Tabela 26

Analiza chemiczna solanki pobranej z poziomu 1420,0–1430,0 m
Results of chemical analysis of brine sampled at 1420.0–1430.0 m interval

Składnik Component	Zawartość Content		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy/ Cations			
Na ⁺	11 220,0	488,038	83,08
Ca ⁺²	913,0	45,561	7,76
Mg ⁺²	654,0	53,816	9,16
Fe ^T	5,6	–	–
Razem/ Cations total	12 792,6	587,415	100,00
Aniony/ Anions			
Cl ⁻	20 550,0	579,641	97,00
HCO ₃ ⁻	167,0	2,737	0,46
SO ₄ ⁻²	692,0	14,408	2,41
Br ⁻	61,0	0,763	0,13
I ⁻	0,0	0,000	0,00
Razem/Anions total	21 470,0	597,549	100,00
Łącznie / Total	34 262,6	–	–
Błąd analizy / Analysis error			
0,85%		dopuszczalny / acceptable	

ziom zlikwidowano i przystąpiono do opróbowania horyzontu górnourajskiego.

Poziom 1115,0–1135,0 m (jura górna: piaskowce drobno- i średnioziarniste)

Poziom do badań udostępniono w dniu 10.05.1964 r. przez perforację rur $\varnothing 95/8$ " oddając 80 strzałów. Po szcerpaniu płuczki do otworu napłynęła woda wysokozmineralizowana w ilości 1,62 m³/h przy depresji 40 m. Poziom hydrostatyczny ustabilizował się na głęb. 110,0 m. W dniu 16.01.1964 r. pobrano próbkę płynu do analizy laboratoryjnej. Badana woda cechowała się dobrą przezroczystością, była bezbarwna, nie wykazywała zapachu, a jej smak określono jako słony. Uzyskany płyn złożowy scharakteryzowano jako wodę typu Cl–Na o mineralizacji wyrażonej suchą pozostałością 29,5 g/dm³, gęstości 1,0222 g/cm³ i odczynie obojętnym (pH = 7,0). Zawartość głównych jonów wynosiła: Cl⁻ – 17 540 mg/dm³ i Na⁺ – 9335 mg/dm³. Pełne wyniki analizy chemicznej wody przedstawiono w tabeli 27. Temperatura wody wydobytej na powierzchnię wynosiła 20°C przy temperaturze powietrza –8°C. Zawartość bromu w wodzie wynosiła 51 mg/dm³. Po zakończeniu opróbowania badany poziom zlikwidowano i przystąpiono do opróbowania kompleksu kredy górnej.

Tabela 27

Analiza chemiczna wody pobranej z poziomu 1115,0–1135,0 m

Results of chemical analysis of groundwater sampled at 1115.0–1135.0 m interval

Składnik Component	Zawartość Content		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy/ Cations			
Na ⁺	9335,0	406,046	81,34
Ca ⁺²	809,0	40,371	8,09
Mg ⁺²	641,0	52,746	10,57
Fe ^T	0,0	–	–
Razem/ Cations total	10 785,0	499,163	100,00
Aniony/ Anions			
Cl ⁻	17 540,0	494,740	95,67
HCO ₃ ⁻	465,0	7,621	1,47
SO ₄ ⁻²	679,0	14,137	2,74
Br ⁻	51,0	0,638	0,12
I ⁻	0,0	0,000	0,00
Razem/Anions total	18 735,0	517,136	100,00
Łącznie / Total	29 520,0	–	–
Błąd analizy / Analysis error			
1,77%		dopuszczalny / acceptable	

Poziom 965,0–980,0 m (kreda górna: piaski glaukonitowe drobno- i średnioziarniste)

Poziom do badań udostępniono przez perforację rur $\varnothing 95/8$ " w dniu 31.01.1964 r., oddając 80 strzałów. Po perforacji uzyskano przyływ wody średniozmineralizowanej w ilości 4,05 m³/h przy depresji 50 m. Poziom hydrostatyczny wody w otworze ustabilizował się na głęb. 770 m. W dniu 6.02.1964 r. pobrano próbkę płynu złożowego do analizy laboratoryjnej. Próbka wody zawierała małą ilość osadu i odznaczała się bardzo dużą mętnością. Woda była barwy żółtawej, o zapachu gnilnym i smaku lekko słonym. Uzyskany płyn złożowy scharakteryzowano jako wodę typu Cl–Na o mineralizacji wyrażonej suchą pozostałością 6,2 g/dm³, gęstości 1,0044 g/cm³ i odczynie obojętnym (pH = 7,0). Zawartość głównych jonów wynosiła: Cl⁻ – 3440 mg/dm³ i Na⁺ – 2220 mg/dm³. Wyniki analizy chemicznej wody przedstawiono w tabeli 28. Temperatura wody wydobytej na powierzchnię wynosiła 14°C przy temperaturze powietrza –3°C. Woda odznaczała się zawartością bromu w ilości 11 mg/dm³ oraz stężeniami siarczanów i wodorowęglanów w ilości odpowiednio: 5,5% mval i 3,2% mval. Po zakończeniu opróbowania badany poziom zlikwidowano i przystąpiono do opróbowania wyższego horyzontu kredy górnej.

Tabela 28

Analiza chemiczna wody pobranej z poziomu 965,0–980,0 m

Results of chemical analysis of groundwater sampled at 965.0–980.0 m interval

Składnik Component	Zawartość Content		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy/ Cations			
Na ⁺	2220,0	96,564	91,59
Ca ⁺²	120,0	5,988	5,68
Mg ⁺²	35,0	2,880	2,73
Fe ^T	0,0	–	–
Razem/ Cations total	2375,0	105,432	100,00
Aniony/ Anions			
Cl ⁻	3440,0	97,030	91,09
HCO ₃ ⁻	211,0	3,458	3,25
SO ₄ ⁻²	283,0	5,892	5,53
Br ⁻	11,0	0,138	0,13
I ⁻	0,0	0,000	0,00
Razem/Anions total	3945,0	106,518	100,00
Łącznie / Total	6320,0	–	–
Błąd analizy / Analysis error			
0,51%		dopuszczalny / acceptable	

Poziom 715,0–723,0 i 733,0–740,0 m
(kreda górna: wapień margliste z czertami)

Poziom do badań udostępniono 12.02.1964 r. przez jednoczesną perforację rur $\varnothing 9\frac{5}{8}$ " w dwóch interwałach, oddając łącznie 150 strzałów. Po perforacji uzyskano dopływ wody w ilości 1,215 m³/h przy depresji 30 m. Poziom hydrostatyczny wody w otworze ustabilizował się na głęb. 670,0 m. W dniu 19.02.1964 r. pobrano próbkę płynu do analizy laboratoryjnej. Próbka wody zawierała niewielką ilość osadu i odznaczała się bardzo dużą mętnością. Woda cechowała się szaro-żółtą barwą, gnilnym zapachem i lekkim smakiem słono-gorzkiem. Z uwagi na niepełną analizę w zakresie głównych jonów (brak oznaczenia zawartości wodorowęglanów) określenie typu chemicznego wody nie jest możliwe. Badana woda odznaczała się mineralizacją, określoną jako sucha pozostałość, 1,4 g/dm³, i odczynem obojętnym (pH = 7,0). Zawartość głównych jonów wynosiła: Cl⁻ – 447 mg/dm³ i Na⁺ – 438 mg/dm³. Wyniki analizy chemicznej wody przedstawiono w tabeli 29. Temperatura wody wydobytej na powierzchnię wynosiła 16°C przy temperaturze powietrza –8°C. Otrzymane wyniki wskazują, że badany interwał znajduje się w strefie intensywnej wymiany wód. Po zakończeniu opróbowania badany poziom zlikwidowano i przystąpiono do opróbowania kolejnego interwału kredy górnej.

Tabela 29

Analiza chemiczna wody pobranej z poziomu
715,0–723,0 i 733,0–740,0 m

Results of chemical analysis of groundwater sampled
at 715.0–723.0 m and 733.0–740.0 m interval

Składnik Component	Zawartość Content		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy/ Cations			
Na ⁺	438,0	19,052	81,32
Ca ⁺²	58,0	2,894	12,36
Mg ⁺²	18,0	1,481	6,32
Fe ^T	11,0	–	–
Razem/ Cations total	525,0	23,427	100,00
Aniony/ Anions			
Cl ⁻	447,0	12,608	85,10
SO ₄ ⁻²	103,0	2,144	14,48
Br ⁻	5,0	0,063	0,42
I ⁻	0,0	0,000	0,00
Razem/Anions total	555,0	14,815	100,00
Łącznie / Total	1080,0	–	–
Błąd analizy / Analysis error			
22,52%		niedopuszczalny / unacceptable	

Poziom 390,0–410,0 m (kreda górna:
piaski glaukonitowe średnio- i gruboziarniste)

Poziom do badań udostępniono 25.02.1964 r. przez perforację rur $\varnothing 9\frac{5}{8}$ ", oddając 70 strzałów. Po perforacji uzyskano dopływ wody w ilości 1,6 m³/h przy depresji 40 m. Poziom hydrostatyczny wody w otworze ustabilizował się na głęb. 60,0 m. W dniu 27.02.1964 r. pobrano próbkę płynu do analizy laboratoryjnej. Próbka wody zawierała niewielką ilość osadu i była lekko mętna. Woda odznaczała się zielonym zabarwieniem, nie miała zapachu ani szczególnego smaku. Uzyskany płyn złożowy scharakteryzowano jako wodę typu Cl–HCO₃–Na o mineralizacji wyrażonej suchą pozostałością 1,38 g/dm³, gęstości 1,0012 g/cm³ i odczynem obojętnym (pH = 7,0). Zawartość głównych jonów wynosiła: Cl⁻ – 522 mg/dm³, HCO₃⁻ – 558 mg/dm³ i Na⁺ – 476 mg/dm³. Rezultaty analizy chemicznej wody przedstawiono w tabeli 30. Temperatura wody wydobytej na powierzchnię wynosiła 5°C przy temperaturze powietrza –6°C. W wyniku badania uzyskano wody o zbliżonej mineralizacji ogólnej jak w poziomie 715,0–740,0 m i niewielkiej zawartości bromu w ilości 3 mg/dm³. Opróbowanie zakończono w dniu 27 lutego 1964 r., po czym otwór zlikwidowano do wierzchu w dniu 29 lutego 1964 r.

Tabela 30

Analiza chemiczna wody pobranej z poziomu 390,0–410,0 m

Results of chemical analysis of groundwater sampled
at 390.0–410.0 m interval

Składnik Component	Zawartość Content		
	[mg/dm ³]	[mval/dm ³]	[% mval]
Kationy/ Cations			
Na ⁺	476,0	20,705	85,51
Ca ⁺²	34,0	1,697	7,01
Mg ⁺²	22,0	1,810	7,48
Fe ^T	0,0	–	–
Razem/ Cations total	532,0	23,557	100,00
Aniony/ Anions			
Cl ⁻	522,0	14,724	60,79
HCO ₃ ⁻	558,0	9,145	37,76
SO ₄ ⁻²	15,0	0,312	1,29
Br ⁻	3,0	0,038	0,16
I ⁻	0,0	0,000	0,00
Razem/Anions total	1098,0	24,219	100,00
Łącznie / Total	163,0	–	–
Błąd analizy / Analysis error			
1,39%		dopuszczalny / acceptable	

Podsumowanie

W wyniku opróbowania nie stwierdzono występowania węglowodorów. W utworach triasu górnego, zbadanych w jednym interwale głębokościowym, stwierdzono całkowity brak przyływu, co potwierdza ich regionalnie słabe własności zbiornikowe. Warunki zbiornikowe utworów jury dolnej określono jako korzystne. Pozostałe poziomy jurajskie oraz kredowe występują w strefie wymiany wód, której

intensywność maleje wraz ze wzrostem głębokości. Strefa szczególnie intensywnej wymiany wód sięga do głęb. ok. 800–1000 m i jest charakterystyczna dla skrajnie zachodniej części wyniesienia mazursko-suwańskiego. W kierunku północnym, gdzie następuje polepszenie się warunków zbiornikowych w stosunku do głębokości zalegania, miąższość strefy aktywnej wymiany maleje. W profilu hydrochemicznym (fig. 49) zaznacza się wyraźny wzrost mineralizacji ogólnej wód wraz z głębokością od ok. 1 g/dm³

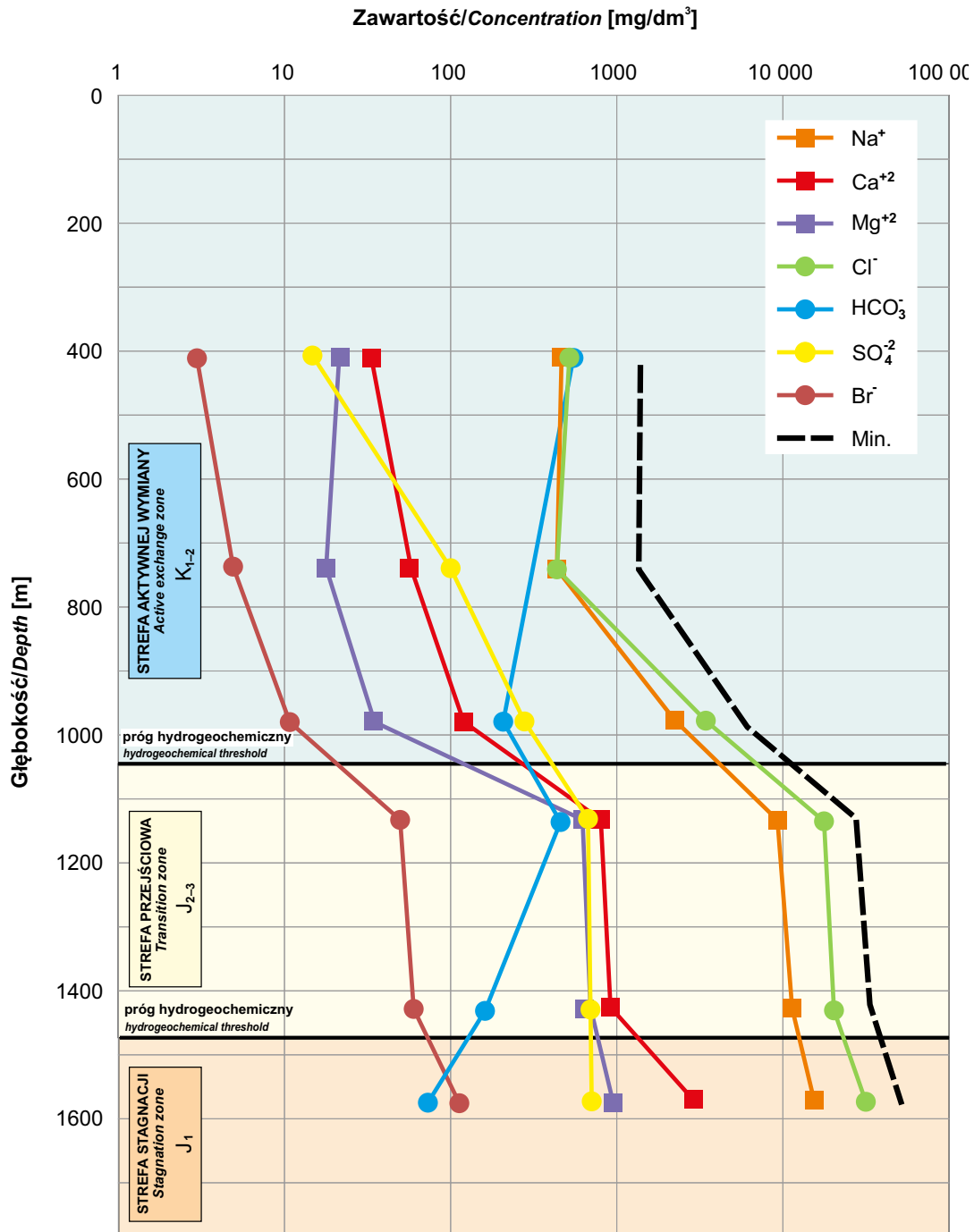


Fig. 49 . Profil hydrogeochemiczny otworu Nidzica IG 1

Hydrogeochemical profile of Nidzica IG 1 borehole

w płytszych horyzontach kredy górnej do ponad 50 g/dm³ w utworach jury dolnej. Identyczną zależność stwierdzono dla poszczególnych badanych elementów, za wyjątkiem jonów wodorowęglanowych (fig. 49). Pomiędzy poziomami kredy górnej i jury górnej oraz jury środkowej i górnej stwierdzono bardzo wyraźne progi hydrogeochemiczne (fig. 49). Płytszy próg stanowi dolną granicę strefy intensywnej wymiany wód, a głębszy rozgranicza strefę przejściową od strefy, w której mogawystępować korzystne warunki dla zachowania się złóż węglowodorów. Na odcinku ok. 100 m pomiędzy utworami jury środkowej i dolnej, mineralizacja ogólna wód wzrasta o ok. 20 g/dm³.

Badanie chemizmu płynów złożowych pozwala nie tylko określić ich typ chemiczny, ale umożliwia też wnioskowa-

nie na temat ich genezy i stopnia przeobrażenia (Razowska, 1999). Jest to możliwe dzięki ocenie wskaźników hydrogeochemicznych, których wartości zależą od składu chemicznego wód podziemnych i warunków jego formowania się, zwłaszcza w przypadku wód o podwyższonej mineralizacji. Zestawienie najważniejszych wskaźników hydrogeochemicznych przydatnych w interpretacji wyników badań, przede wszystkim pochodzenia wód złożowych na Niżu Polskim, zawiera tabela 31. Na podstawie wskaźnika $r(\text{Na}^+/\text{Cl}^-)$, wynoszącego $<0,86$, wody podziemne kompleksu jurajskiego należy zaliczyć do wód reliktowych/synsedymencyjnych, typowych dla strefy stagnacji hydrodynamicznej (Bojarski, 1996). W odniesieniu do utworów jury dolnej ich całkowitą izolację potwierdzają wartości wskaźników

Tabela 31

Wartości wskaźników hydrogeochemicznych
Hydrogeochemical indicators values

Wskaźnik Indicator	Badany interwał Sampled interval [m]						Interpretacja Interpretation
	1575,0–1555,0	1430,0–1420,0	1135,0–1115,0	980,0–965,0	740,0–733,0	723,0–715,0	
$r(\text{Na}^+/\text{Cl}^-)$	0,7	0,8	0,8	1,0	1,5	1,4	>1 – wody młode, współczesne, strefa aktywnej wymiany <1 – wody paleoinfiltracyjne $<0,86$ – stagnacja hydrodynamiczna, wody reliktowe, synsedymencyjne
Cl^-/Br^-	282	337	344	313	89	174	<300 – wody reliktowe, ługi postsalinowe >300 przy równoczesnej $r(\text{Na}^+/\text{Cl}^-) \sim 1$ wskazuje na bliskość złóż soli
$r(\text{Cl}^-/\text{suma g\łównych anionów})$	1,0	1,0	1,0	0,9	–	0,6	$>0,8$ przy $M>500$ – woda morska, solanka lub ewaporaty $>0,8$ przy $M<100$ – woda opadowa $<0,8$ – wietrzenie węglanów, krzemianów lub siarczanów
$r(\text{SO}_4^{-2} \cdot 100/\text{Cl}^-)$ wskaźnik siarczanowy	1,6	2,5	2,9	6,1	17,0	2,1	10-500 – wody płytkie, strefa aktywnej wymiany z wodami infiltracyjnymi <1 – wody izolowane, stagnujące, zmetamorfizowane
$r[\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Cl}^-)]$	0,4	0,5	0,4	0,5	0,6	0,6	$>0,5$ – pochodzenie Na inne niż z halitu (albitu lub wymiana jonowa) 0,5 – rozpuszczanie halitu $<0,5$ – przy $M>500$ wymiana jonowa $<0,5$ – przy $M<50$ woda opadowa $<0,5$ – przy $M<500>50$ niejednoznaczny
$r[(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{SO}_4^{-2}]$	15,5	6,9	6,6	1,5	2,0	11,2	<1 – rozpuszczanie siarczanów $>0,8$ i $<1,2$ – możliwa dedolomityzacja
$r[\text{Ca}^{2+} / (\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{-2})]$	0,9	0,8	0,7	0,5	0,6	0,8	0,5 – rozpuszczanie gipsu $<0,5$ przy $\text{pH}<5,5$ – utlenianie pirytu lub/i innych siarczanów $<0,5$ pH obojętne – usuwanie wapnia wskutek wymiany jonowej lub wytrącania kalcytu $>0,5$ – pochodzenie wapnia inne niż z rozpuszczania gipsu
$r[\text{Ca}^{2+} / (\text{Ca}^{2+} + \text{HCO}_3^-)]$	1,0	0,9	0,8	0,6	–	0,2	0,5 – wietrzenie kalcytu $<0,5$ – wietrzenie kalcytu lub/i innych węglanów $>0,5$ – wietrzenie kalcytu ale też innych minerałów (np. gipsu) >1 – pochodzenie wapnia inne niż z wietrzenia kalcytu

Tabela 32

Zbiorcze zestawienie wyników opróbowania poziomów zbiornikowych

Summary of testing results of reservoir intervals

Głęb. Depth [m]	Stratygrafia Stratigraphy	Data perforacji Perforation date	Data badania Testing date	Rodzaj przyływu Type of medium	Ciśnienie złożowe Formation pressure [hPa]	Wielkość przyływu Flow [m ³ /h]	Poziom pływu Liquid level [m]	Typ płynu Liquid type
1800,0–1722,9	K ₂	–	11.1963	filtrat płuczki drilling mud	–	0,07	150 ²⁾	HCO ₃ –SO ₄ –Ca–Na
1575,0–1555,0	K ₂	3.12.1963	12.1963	solanka brine	–	0,13	810	5,3% Cl–Na
1430,0–1420,0	K ₂	20.12.1963	12.1963	solanka brine	–	0,46	214	3,6% Cl–Na
1135,0–1115,0	J ₃	16.01.1964	01.1964	woda mineralna mineral water	–	1,62	110	2,9% Cl–Na
980,0–965,0	J ₂	31.01.1964	01.1964	woda mineralna mineral water	–	4,05	770	0,6% Cl–Na
740,0–715,0	J ₁	12.02.1964	02.1964	woda mineralna mineral water	–	1,21	670	≈0,2% Cl–(HCO ₃)–Na
410,0–390,0	T ₃	25.02.1964	02.1964	woda mineralna mineral water	–	1,60	60	0,1% Cl–HCO ₃ –Na

Cl⁻/Br⁻ (<300) i wskaźnika siarczanowego, która jest zbliżona do jedności. W przypadku kompleksów środkowo- i dolnojurajskiego wartości wskaźnika Cl⁻/Br⁻ (>300) wskazują przypuszczalnie, że występujące w nich wody w niewielkim stopniu mogą zawierać domieszki wód paleoinfiltracyjnych. Możliwość występowania złóż węglowodorów w poziomach

zbiornikowych jury środkowej i górnej w rejonie otworu Nidzica IG 1 ocenia się zatem negatywnie. W kompleksie kredowym występują wody młode, zawierające składową infiltracyjną i krążące w strefie aktywnej wymiany.

W tabeli 32 przedstawiono zbiorcze zestawienie wyników opróbowania hydrogeologicznego.