



Litostratygrafia i geochemia cechsztyńskiej serii solnej przewierconej otworem M-35 w wysadzie solnym Mogilno

Lithostratigraphy and Geochemistry of the Zechstein Salt Series of the Mogilno Salt Dome Drilled Through by Borehole M-35

Jacek WACHOWIAK

Geosalt – Badania i ekspertyzy geologiczne złóż soli. ul. Rzepichy 42, 30-240 Kraków, e-mail: geosalt@wp.pl

STRESZCZENIE

Otwór badawczo-eksploatacyjny M-35 jest zlokalizowany w południowo-wschodniej części wysadu solnego Mogilno (Ryc. 2). Został odwiercony do głębokości 1755 metrów. Otwór nawierca ewaporaty późnego permu (cechsztynu). W analizowanym rdzeniu wydzielono 13 ogniwi cechsztyńskiej serii solnej cyklotemów PZ2, PZ3 i PZ4. Złoże solne w rejonie otworu M-35 jest uformowane tektonicznie. W wyniku procesów halokinetycznych i halotektonicznych warstwy solne zostały silnie sfałdowane i zalegają bardzo stromo. Upad warstw waha się od 35 do 90°. Najczęściej jednak wynosi 70-80°. W wyniku częstych zmian kąta upadu i przełaďdowań otwór przewierca kilkakrotnie te same ogniwa. Ponadto wiele wydzielań jest zredukowanych lub całkowicie wyklinowanych. W profilu nie stwierdzono warstw stropowych cyklotemu PZ4 i ewaporatów starszych niż ogniwo starszej soli kamiennej (Na2).

Słowa kluczowe: utwory solne, cechsztyń (późny perm), ewaporaty cechsztyńskie, stratygrafia, geochemia, wysad solny Mogilno

ABSTRACT

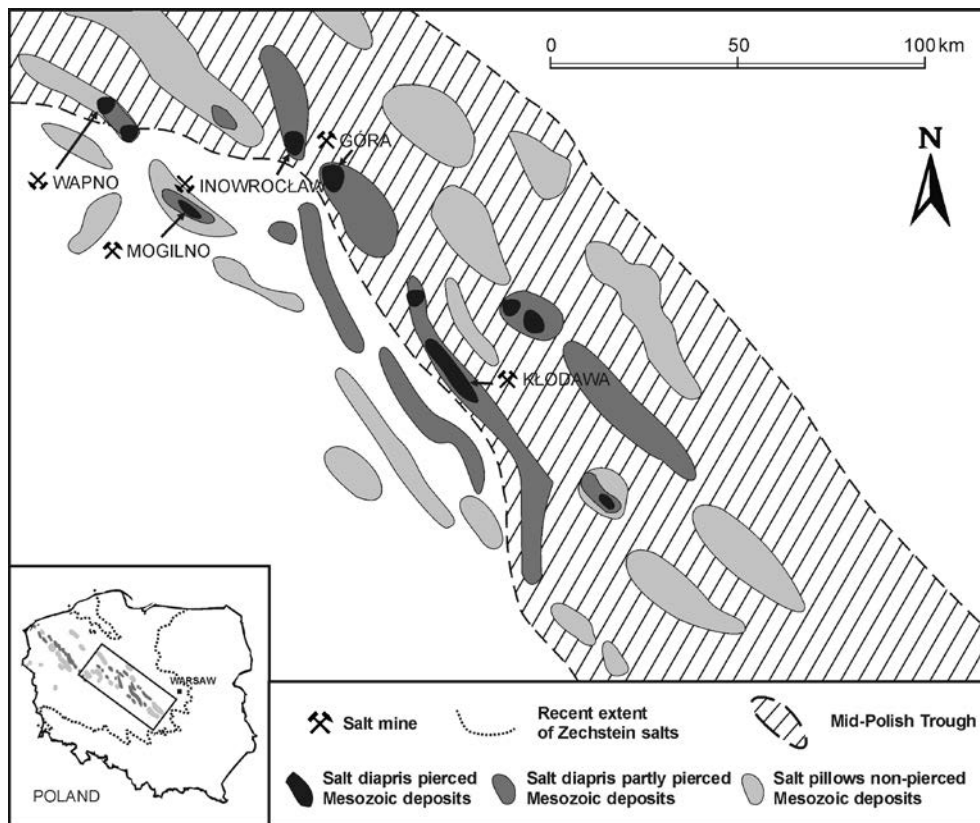
The M-35 exploratory borehole and operating well is located in the south-eastern part of the Mogilno Salt Dome (Fig. 2). It was drilled down to the depth of 1,755 m penetrating the Upper Permian (Zechstein) evaporates. Its core section enabled to distinguish 13 lithostratigraphic members of the Zechstein salt series, represented cyclothems PZ2, PZ3, and PZ4. The observed salt units had been tectonically extremely folded and steeply arranged. The layers dip varies from 35°

to 90°, mostly 70-80° and the same salt units repeated several times in the section. Also many of them were reduced in thickness or completely wedged out. The uppermost units of PZ4 cycle or evaporates older than the Older Halite (Na2) unit, were not found in the studied profile.

Key words: salt deposits, Zechstein (Late Permian), Zechstein evaporites, stratigraphy, geochemistry, Mogilno Salt Dome.

WSTĘP

Diapir solny Mogilno jest elementem większej jednostki tektonicznej – struktury antyklinalnej Mogilna (Sokołowski, 1966; Dadlez, 1997), leżącej w obrębie Wału Kujawsko-Pomorskiego (Ryc. 1). Struktura ta ma kształt elipsy wydłużonej w kierunku NNW-SSE, o osiach długości ok. 30 km i ok. 7 km (Dadlez i in., 1998, 2002; Krzywiec, 2006, Wilkosz, 2006; Mizerski, 2014). W północno-zachodniej części struktury, sole cechsztyńskie całkowicie przebiły pokrywę mezozoiczną w pasie o długości ok. 8 km i szerokości ok. 1 km, tworząc wysad solny Mogilno (Ryc. 2). Wysad otulają utwory triasu, jury i kredy, zaś budują go utwory ewaporatowe i ewaporatowo-terygeniczne (zubry) cyklotemów PZ2, PZ3 i PZ4 (Czapowski i in., 2002, 2006, 2008). Zwierciadło solne zalega na głębokości od 210 m do 600 m i jest przykryte czapą gipsową oraz osadami trzeciorzędowymi i czwartorzędowymi (Wilkosz, 2001, 2006). Główną masę złoza tworzy starsza sól kamienna (Na2), o zawartości NaCl od 90% do 98, %. Utwory cyklotemów młodszych: PZ3 i PZ4 stanowią sole kolorowe, często zailone, o charakterze zubrów. W obrębie wysadu udokumentowano w kategorii A+B+C₁+C₂ dwa złoza soli kamiennej: Mogilno I i Mogilno II, o łącznych zasobach po-



Ryc. 1. Rozmieszczenie struktur solnych w centralnej części bruzdy środkowo-polskiej (wg: Garlicki, Szybist, 1986; Dadlez, Marek, 1998, Wachowiak i in, 2012, zmodyfikowane)

Fig. 1. Distribution of salt structures in the central part of the Mid-Polish Trough (after Garlicki & Szybist, 1986; Dadlez & Marek 1998, Wachowiak at al., 2012, modified).

nad 5,5 mld ton (Czapowski, Bukowski, 2011, 2015). Na obu złożach prowadzone jest wydobywanie soli kamiennej metodą podziemnego ługowania z powierzchni do głębokości 1750 metrów. W NW części wysadu (złożo Mogilno II) sól ługowana jest w celu wykorzystania poeksploatacyjnych kawern do magazynowania gazu (KPMG Mogilno). W części SE (złożo Mogilno I) prowadzone jest wydobywanie soli w formie nasyconej solanki przez firmę IKS Solino S.A. dla celów przemysłowych (Drogowski, Tadych, 2006). W celu dokładniejszego poznania budowy geologicznej SE części złoża Mogilno I i dalszej jego eksploatacji, w latach 2014-2015 odwiercono kilka otworów badawczo-eksploatacyjnych. Na podstawie materiału rdzeniowego wykonano wstępną interpretację litostratygraficzną oraz oznaczono zawartość bromu i wybranych pierwiastków śladowych w profilach odwierconych otworów (Wachowiak, 2015).

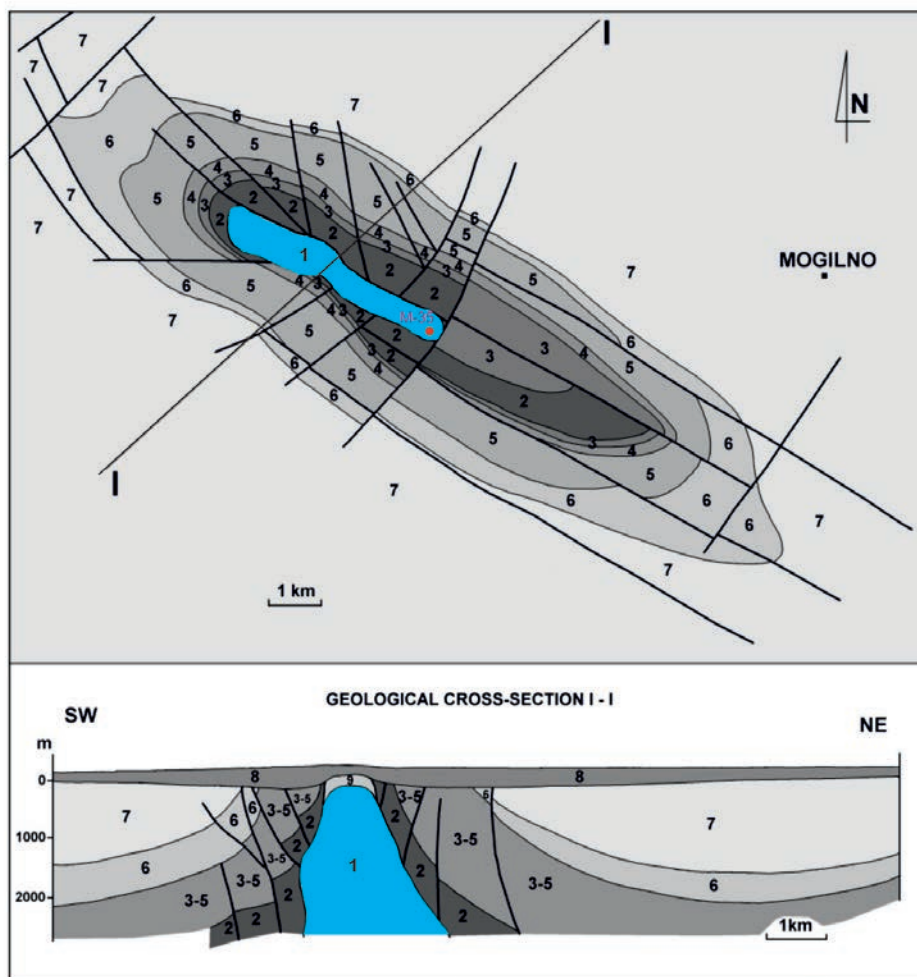
METODYKA BADAŃ

Prace kartograficzne i opróbowanie

Kartowanie i opróbowanie skał solnych rdzenia z otworu M-35 przeprowadzono w magazynie rdzeni w Kopalni Soli Mogilno. Skartowano i opróbowano materiał rdzeniowy w interwale głębokości od 508 m do 1755 m. Z około 1247

m rdzenia pobrano 127 próbek o wadze około 0,5 kg każda. Opróbowano 13 typów skał, budujących 13 ogniw litostratygraficznych. Gęstość opróbowania była uzależniona od zmienności litologicznej i kąta upadu warstw i wahała się od 0,5 m do 30 metrów. Kartowanie wykonano w skali 1:100. Przeprowadzono opis makroskopowy skał solnych, ze szczególnym uwzględnieniem cech strukturalnych i teksturalnych skał oraz charakterystycznych cech litostratygraficznych, takich jak np. poziomy przewodnie, warstwy korelacyjne itp.

Pobrane próbki przewieziono do laboratorium firmy Geosalt w Krakowie, gdzie je oczyszczono na sucho sprężonym powietrzem i rozdrobniono na frakcje około 10 – 50 mm. Następnie z każdej próbki metodą kwartowania wydzielono 200 g reprezentatywnego materiału do dalszych badań. Każdą z 200-gramowych próbek utarło w moździerzu agatowym do frakcji 1,0 – 0,1 mm. Po dokładnym wymieszaniu rozartych próbek z każdej próbki odważono 50 g i przekazano do laboratorium analitycznego w AGH. Do oznaczenia zawartości bromu przeznaczono 119 próbek (pominięto próbki pobrane z anhidrytów). Do oznaczeń pierwiastków śladowych wytypowano 10 próbek z różnych typów skał. Oznaczono następujące pierwiastki: Al., Fe, Zn, Ni, As, I i Cd. Wyniki zapisano w mg/kg (ppm) i zestawiono w Tabeli II.



Ryc. 2. Mapa struktury solnej Mogilno, bez utworów kenozoicznych z przekrojem geologicznym (wg Sokołowski, 1966, Wilkosz 2005).
Objaśnienia: 1 – sole cechsztyńskie, 2 – trias górny, 3 – jura dolna, 4 – jura środkowa, 5 – jura górna, 6 – kreda dolna, 7 – kreda górna, 8 – kenozoik, 9 – czapa gipsowa, 10 – ——— linie uskoków

Fig. 2. Geological sketch-map of the Mogilno salt structure, without Cenozoic deposits with geological cross-section (after Sokołowski, 1966; Wilkosz, 2005).
Captions: 1 – Zechstein salt, 2 – Upper Triassic, 3 – Lower Jurassic, 4 – Middle Jurassic, 5 – Upper Jurassic, 6 – Lower Cretaceous, 7 – Upper Cretaceous, 8 – Cenozoic, 9 – cap rock, 10 – ——— fault lines

Analiza chemiczna

Analizy chemiczne wykonano w akredytowanym laboratorium hydrogeochemicznym Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie. W próbkach przeznaczonych do badań oznaczono zawartość bromu i wybranych pierwiastków śladowych. Bromki oznaczano z wyciągu wodnego (ok. 5g próbki na 100 ml H₂O destylowanej). Bromki i pierwiastki śladowe oznaczono metodą absorpcji masowej przy zastosowaniu spektrometru masowego ICP MS „Elan 6100” firmy Perkin-Elmer, z plazmą wzbudzaną indukcyjnie. Próbki roztworzano w mineralizatorze mikrofalowym w temperaturze 230°C przy ciśnieniu 35 atm. w mieszaninie kwasu azotowego i kwasu solnego (3:1), o czystości spektralnej, bez rozkładu krzemionki, która została oznaczona metodą wagową. Zawartość chlorków określono metodą obliczeniową na podstawie zawartości NaCl.

Wyniki oznaczeń zawartości jonów Cl⁻ i Br⁻ zapisano i zestawiono w tabeli I. Na podstawie zawartości chloru i bromu obliczono współczynnik bromowo-chlorowy [Br*1000/Cl] oraz sporządzono profil bromowo-chlorowy skał solnych otworu M-35 (Ryc. 3). Dla sprawdzenia poprawności obliczeń na wykres nałożono również samą zawartość bromu wyrażoną w mg/kg.

WYNIKI BADA

Otwór badawczo-eksploatacyjny M-35 jest zlokalizowany w południowo-wschodniej części wysadu solnego Mogilno, w złożu Mogilno I (Ryc. 2). Został odwiercony do głębokości 1755 metrów. W analizowanym otworze, do głębokości 1275 m otwór przewierca miąższy kompleks starszej soli kamiennej (Na₂) z ciekłą, kilkudziesięciocentymetrową warstwą starszej soli potasowej (K₂) w przedziale głębokości 542–548 m (stwierdzone 6 m w rdzeniu to miąższość pozorna). Poniżej głębokości 1275 m sytuacja litostratygiczna

Tabela 1. Zawartości bromu [Br⁻] i chloru [Cl⁻] oraz współczynniki bromowo-chlorowe w skałach solnych z otworu M-35.
Table 1. Bromine [Br] and chlorine [Cl] content and the bromine-chlorine coefficients in rocks salts from the borehole M-35.

Opis Skały / <i>Rock sample description</i>	Nr próbki <i>Sample No</i>	Br	NaCl [%]	NaCl [mg/kg]	Cl ⁻ [mg/kg]	[(Br/Cl)*1000]
Sól kamienna Na₂. Sól kamienna biała, mlecznobiała i szarobiała, średnio i gruboblastyczna z przewarstwieniami soli kryształowej.	510	29,6	97,5	975000	591338,8	0,05
	520	35,6	98,1	981200	595099,1	0,06
	533	42,9	98,6	986200	598131,6	0,07
	541	45,5	98,0	980000	594371,3	0,08
Sól K-Mg białoszara K-2(?)	542	175,6	83,6	836400	507277,7	0,35
	548	230,3	90,7	907000	550096,7	0,42
Sól kamienna Na₂. Sól kamienna biała, mlecznobiała i szarobiała, średnio i gruboblastyczna z przewarstwieniami soli kryształowej.	560	65,1	97,2	972100	589579,9	0,11
	587	54,8	98,7	987200	598738,1	0,09
	599	50,9	97,3	973000	590125,7	0,09
	630	45,2	97,3	972700	589943,8	0,08
	644	33,8	96,8	968000	587093,2	0,06
	682	28,1	97,7	977000	592551,8	0,05
	691	16,9	98,7	987000	598616,8	0,03
	720	35,2	98,2	982200	595705,6	0,06
	735	18,4	97,9	978700	593582,8	0,03
	751	9,9	97,0	969700	588124,3	0,02
	790	22,1	98,1	981000	594977,8	0,04
	820	28,9	97,4	974000	590732,2	0,05
	854	43,9	96,1	960800	582726,4	0,08
	870	44,1	97,7	977200	592673,1	0,07
	904	48,2	97,7	976700	592369,8	0,08
	926	18,4	98,2	982000	595584,3	0,03
	950	16,2	97,0	969800	588184,9	0,03
	977	25,2	98,1	980500	594674,5	0,04
	990	38,9	98,2	982100	595644,9	0,07
	1020	44,1	97,6	976200	592066,6	0,07
	1050	45,1	97,5	975100	591399,4	0,08
	1077	48,2	98,1	980900	594917,1	0,08
	1095	25,7	97,7	976700	592369,8	0,04
1115	19,2	98,1	981400	595220,4	0,03	
1135	29,1	98,1	980500	594674,5	0,05	
1150	32,3	98,0	980000	594371,3	0,05	
1188	22,8	98,4	984200	596918,6	0,04	
1210	17,9	97,5	975300	591520,7	0,03	
1260	87,1	97,6	976000	591945,3	0,15	
Sol K-Mg o odcieniu pomarańczowym (chyba K3)	1275	151,8	85,1	851200	516253,9	0,29
	1278	140,2	79,3	793300	481137,5	0,29
Sole szaropomarańczowe Na ₃ z K-Mg. Strefa tektoniczna	1283	83,21	96,6	965600	585637,6	0,14
Zuber brunatny Na ₃ t ale bez w-w spągowych i stropowych H szary o odcieniu zielonym. Halit jasno- pomarańczowy i pomarańczowobrzązowy	1285	37,8	95,3	953000	577995,7	0,07
	1300	45,6	97,2	972000	589519,2	0,08
	1314	55,2	96,2	962000	583454,2	0,09
Sole Na ₃ g z anhydrytami ABC	1318	67,2	98,2	982000	595584,3	0,11
	1326	55,2	96,1	961000	582847,7	0,09

Opis Skąły / <i>Rock sample description</i>	Nr próbki <i>Sample No</i>	Br	NaCl [%]	NaCl [mg/kg]	Cl ⁻ [mg/kg]	[(Br/Cl)*1000]
Zuber hematytowy Na4t. II czerwono-brunatny i zielonkawoszary. Halit o barwie białozółtej, szaropomarańczowej i pomarańczowobrazowej.	1349	61,6	96,8	968000	587093,2	0,10
	1353	28,6	97,3	973000	590125,7	0,05
	1357	30,9	96,5	965000	585273,7	0,05
	1361	24,5	97,0	970000	588306,2	0,04
	1364	45,3	96,2	962300	583636,2	0,08
	1368	27,8	97,2	972000	589519,2	0,05
Sól kamienna Na4. Jest to sól bladopomarańczowa, pomarańczowa i różowopomarańczowa, w stropie lekko ilasta. Pokład jest nieregularnie przelawicany warstwami soli ilastych i lamin anhydrytowych	1370	25,3	98,2	982300	595766,2	0,04
	1374	30,7	98,3	983000	596190,8	0,05
	1377	51,5	98,7	987000	598616,8	0,09
	1380	42,9	97,7	977000	592551,8	0,07
	1385	41,2	98,4	984400	597039,9	0,07
	1388	35,8	97,9	979100	593825,4	0,06
	1392	44,2	96,2	961700	583272,3	0,08
	1396	56,8	98,3	983000	596190,8	0,10
	1400	55,5	97,8	978000	593158,3	0,09
	1404	42,6	98,5	985000	597403,8	0,07
	1409	36	98,8	988000	599223,3	0,06
	1416	33,2	96,3	963000	584060,7	0,06
	Anhydryt pegmatytowy	1419A	0	10,0	100000	60650,1
Sól podścielająca	1419	52,9	97,1	971000	588912,7	0,09
Zuber brunatny Na3t. Skąły ilasto-solne ze zmiennymi proporcjami ilu do halitu. II szary o odcieniu zielonym. Halit jasnopomarańczowy i pomarańczowobrazowy	1421	39,2	95,3	953000	577995,7	0,07
	1426 (K-Mg)	252,8	97,2	972000	589519,2	0,43
	1428(sól włókn.)	32,7	89,3	893000	541605,6	0,06
	1434	102,1	94,2	942000	571324,2	0,18
	1438	47,6	97,3	973000	590125,7	0,08
	1443	45,7	96,4	964000	584667,2	0,08
	1451	56,8	95,9	959000	581634,7	0,10
	1453A	56,6	94,2	942000	571324,2	0,10
	1458	48,8	97,4	974000	590732,2	0,08
	1463	56,9	96,1	961000	582847,7	0,07
Sole szaropomarańczowe Na3g.	1470	47,8	97,0	970000	588306,2	0,08
	1474	50	95,2	952000	577389,2	0,09
	1478	49	97,3	973000	590125,7	0,08
Anhydryt „C”	1482	0	8,2	82000	49733,1	0,00
Sole szaropomarańczowe Na3g.	1482,5	66,7	96,9	969000	587699,7	0,11
	1483	61	93,1	931000	564652,7	0,11
	1485	67,6	98,1	981000	594977,8	0,11
	1490	70,7	97,2	972000	589519,2	0,12
	1496	100,1	97,8	978000	593158,3	0,17
	1498,5	87,5	92,1	921000	558587,7	0,16
Anhydryt „B”	1499	0	7,2	72000	43668,1	0,00
Sole szaropomarańczowe Na3g.	1500	77,8	96,8	968000	587093,2	0,13
	1505	84,7	97,3	973000	590125,7	0,14
Anhydryt „A”	1505,6	0	15,8	158000	95827,2	0,00
	1509	69,1	92,2	922200	559315,5	0,12

Opis Skaly / Rock sample description	Nr próbki Sample No	Br	NaCl [%]	NaCl [mg/kg]	Cl ⁻ [mg/kg]	[(Br/Cl)*1000]
Sól pomarańczowa i szaropomarańczowa - Na3d (?)	1515	53,7	95,3	952900	577935,1	0,09
	1520	46,7	92,8	928100	562893,8	0,08
	1524	37,4	96,5	964500	584970,5	0,06
Tektoniczny Kontakt soli Na3d z Na2	1527	38,7	96,4	964000	584667,2	0,07
Sól kam. ciemnoszara, prawie czarna	1528	39,7	95,4	953700	578420,3	0,07
	1537	40,1	96,3	963000	584060,7	0,07
Sól kamienna Na2, biała, mlecznobiała i szarobiała, średnio i gruboblastyczna	1544	33,1	97,3	973000	590125,7	0,06
	1560	38,2	97,8	978000	593158,3	0,06
	1582	48,1	98,2	982000	595584,3	0,08
	1590	44,1	98,3	983000	596190,8	0,07
Kontakt tektoniczny soli Na2 z solami PZ3	1618	55,3	97,8	978000	593158,3	0,09
Silnie tektonicznie sprasowane warstwy soli stropowych PZ3 i spagowych PZ4	1619	60,1	96,3	963200	584182,0	0,10
	1625	42,2	96,4	964000	584667,2	0,07
Zuber hematytowy Na4t. Il czerwono-brunatny i zielonkawoszary. Halit o barwie białozółtej, szaropomarańczowej i pomarańczowobrązowej.	1626	24,3	92,8	928000	562833,2	0,04
	1633	68,7	96,3	963000	584060,7	0,12
	1640	31,8	91,4	914000	554342,2	0,06
	1649	22,3	97,1	971000	588912,7	0,04
Sól kamienna Na4. Jest to sól bladopomarańczowa, pomarańczowa i różowopomarańczowa	1655	17,2	97,9	979000	593764,8	0,03
	1663	27,8	98,3	983000	596190,8	0,05
	1670	42,1	98,4	984000	596797,3	0,07
	1678,6	49,3	96,1	961000	582847,7	0,08
Anhydryt pegmatytowy	1678,8	0	7,2	72000	43668,1	0,00
Sól podścielająca	1679	33,1	96,3	963000	584060,7	0,06
Zuber brunatny Na3t. Il szary o odcieniu zielonym. Halit jasnopomarańczowy i pomarańczowobrązowy	1680	38,1	93,4	934000	566472,2	0,07
	1685	55,3	95,2	952000	577389,2	0,10
	1692	42,1	91,1	911000	552522,7	0,08
	1693	51,2	94,3	943000	571930,7	0,09
Anhydryt „C”	1697	0	11,4	114000	69141,1	0,00
	1700	70,2	96,1	961000	582847,7	0,12
Anhydryt „B”	1702,5	0	8,2	82000	49733,1	0,00
	1704	56,2	95,7	957000	580421,7	0,10
Anhydryt „A”	1705,3	0	10,3	103000	62469,6	0,00
Sole szaropomarańczowe Na3 z K-Mg.	1716	46,8	96,2	962000	583454,2	0,08
	1728	44,2	97,8	978000	593158,3	0,07
	1729	45,2	97,5	975000	591338,8	0,08
Sól K-Mg	1732	119,2	92,1	921000	558587,7	0,21
Sól kamienna Na2, biała i szarobiała, średnio i gruboblastyczna	1740	39,2	98,1	981000	594977,8	0,07
	1748	28,1	97,8	978000	593158,3	0,05
	1755	16,8	98,2	982000	595584,3	0,03

złoża zdecydowanie się komplikuje ze względu na silne deformacje tektoniczne i przefaldowania warstw ewaporatów, występujących w dolnych partiach otworu M-35. W interwale 1275–1755 m zidentyfikowane wydzielenia litostratygraficzne kilkakrotnie powtarzają się w analizowanym rdzeniu. Występują silne redukcje miąższości niektórych wydzieleni aż do całkowitego ich wyklinowania. Przy tak skomplikowanej budowie geologicznej złoża zastosowanie współczynnika bromowo-chlorowego do stratygraficznego przyporządkowania poszczególnych warstw jest ograniczone. Przy interpretacji litostratygraficznej skał solnych, oprócz wartości współczynnika bromowo-chlorowego opierano się na makroskopowych cechach skał oraz ich pozycji w sekwencjach litostratygraficznych. W celu jednoznacznej identyfikacji i przyporządkowania stratygraficznego poszczególnych warstw niezbędne będą bardziej szczegółowe badania mineralogiczne niektórych skał solnych, zwłaszcza zubrów, soli potasowo-magnezowych i utworów młodszej soli kamiennej górnej (Na3g) i młodszej soli kamiennej dolnej (Na3d).

Na podstawie prac kartograficznych, szczegółowej analizy litologicznej badanych skał oraz analizy bromowo-chlorowej sporządzono profil litostratygraficzny i bromowy skał ewaporatowych odsłoniętych w rdzeniu wiertniczym otworu M-35 (Ryc.3).

W profilu rozpoznano 13 wydzieleni litostratygraficznych górnego permu - cechsztynu (PZ)

1. Starsza sól kamienna (Na2) cyklotemu PZ2
2. Starsza sól potasowa (K2) cyklotemu PZ2
3. Młodsza sól kamienna dolna (Na3d) cyklotemu PZ3
4. Młodsza sól potasowo-magnezowa (K3)
5. Młodsza sól kamienna górna (Na3g) cyklotemu PZ3
6. Anhydryt śródsolny (A3s) - A
7. Anhydryt śródsolny (A3s) - B
8. Anhydryt śródsolny (A3s) - C
9. Zuber brunatny (Na3t) cyklotemu PZ3
10. Sól podścielająca (Na4_o) cyklotemu PZ4
11. Anhydryt pegmatytowy (A4) cyklotemu PZ4
12. Najmłodsza sól kamienna (Na4) cyklotemu PZ4
13. Zuber czerwony (hematytowy) Na4t cyklotemu PZ4

CHARAKTERYSTYKA OGNIW LITOSTRATYGRAFICZNYCH

Starsza sól kamienna (Na2)

W analizowanym profilu starsza sól kamienna Na2 występuje w trzech interwałach głębokości: 486–1275 m, 1537–1618 m oraz od głębokości 1728 m do końca otworu na głębokości 1755 m. W interwale 486–508 m skały solne tego wydzielenia stwierdzono w próbkach okruchowych, gdzie na głębokości 486 m następuje kontakt czapy gipsowo-anhydrytowej ze zwierciadłem solnym. W interwale 542-548 m, w soli kamiennej występuje przewarstwienie soli K-Mg, które wyraźnie zaznacza się na profilu bromowym. Starsza sól kamienna Na2 jest wykształcona jako sól kamienna biała,

mlecznobiała, szarobiała, niekiedy o odcieniu żółtopomarańczowym. W interwale 1527-1537, na kontakcie tektonicznym z utworami cyklu PZ3 sól przybiera barwę ciemnoszarą, aż do czarnej, po czym, ku spągowi, płynnie przechodzi w sól białoszarą i białą. Struktura skały jest różnoblasytyczna, od bardzo drobno do grub blastycznej, miejscami kryształowej. Blasty halitu mają średnicę od 0,2 mm do 40 mm a kryształy halitu w partiach soli kryształowej osiągają wielkość do 10 cm.

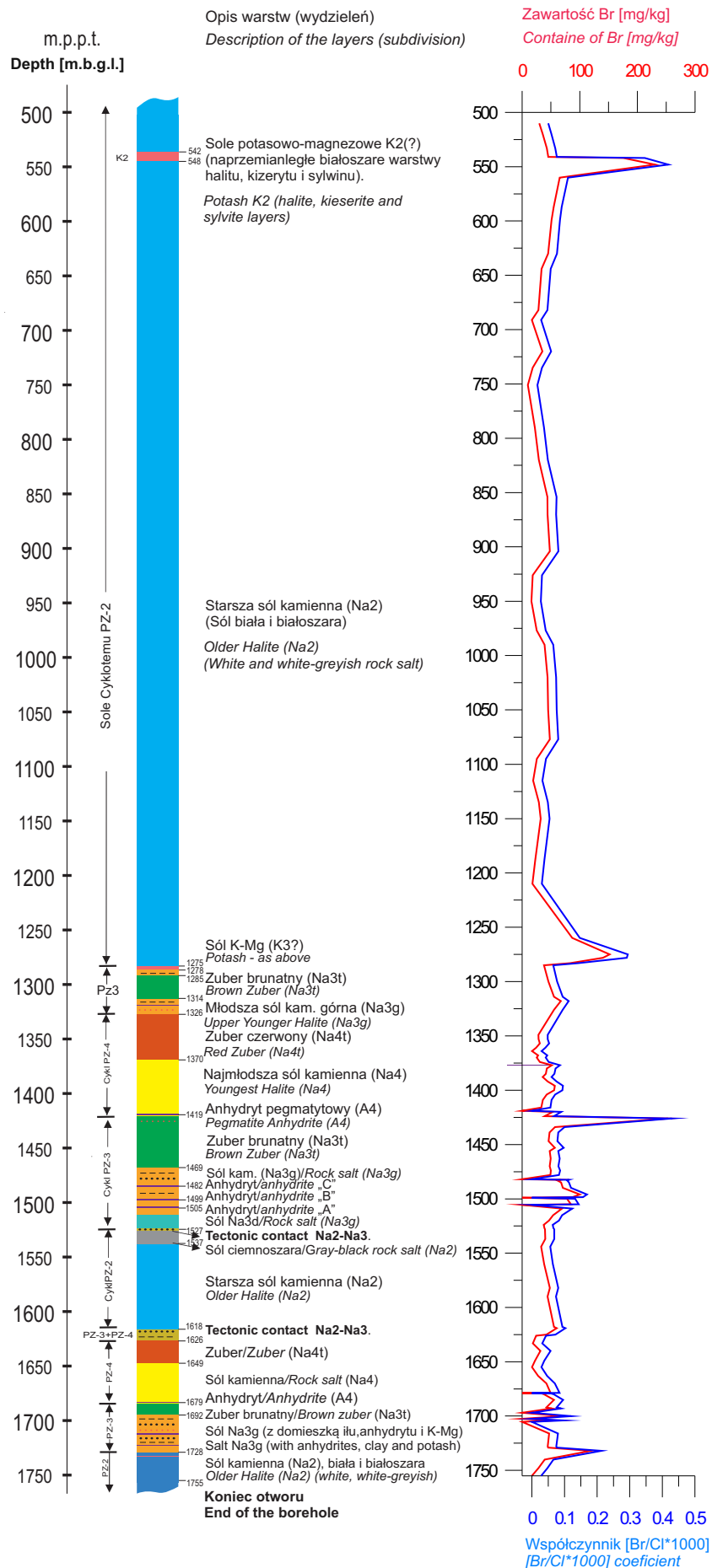
W czystej soli kamiennej współczynnik bromowo-chlorowy waha się od 0,02 do 0,09 a zawartość bromu od 9,9 mg/kg do 55,3 mg/kg. Wyższa zawartość bromu występuje jedynie w pobliżu kontaktu soli kamiennej z przewarstwieniem soli K-Mg na głębokości 1260 m i wynosi 87,1 mg/kg (współczynnik 0,15). Interwał i granice zalegania starszej soli kamiennej Na2 wraz z przewarstwieniem soli K-Mg wyraźnie uwidaczniają się na profilu bromowym (Ryc. 3).

Sole potasowe starsze i młodsze (K2 i/lub K3)

Odróżnienie wydzieleni K2 od K3 jakkolwiek metodą, w tym metodą bromową, jest bardzo trudne ze względu na przeobrażony charakter tych soli oraz niepełne litologicznie wykształcenie i astrygraficzne zaleganie. Występujące w rdzeniu sole K-Mg są głównie kizerytowcami sylwinowymi, być może również z pewnym udziałem karnalitu. Skały te zawierają najwięcej bromu. Niestety rzeczywista zawartość bromu w tych solach jest trudna do określenia ze względu na znaczny stopień rozłusowania (rozpuszczenia) rdzenia w wyniku wpływu czynników atmosferycznych po jego wydobyciu na powierzchnię. Może być ona znacznie większa niż obecnie oznaczona. Większość chlorków potasu (sylwin, karnalit) uległa rozpuszczeniu a pobrane próbki szczątkowych pozostałości litej skały nie są reprezentatywne. Tym nie mniej, ze względu na dużo wyższą zawartość bromu niż w solach kamiennych i zubrach, sole te w profilu bromowym wyraźnie się wyróżniają. Sole K-Mg występują w dwóch interwałach głębokości: 542–548 m i 1275-1278 m. Warstwy te wyraźnie wyróżniają się spośród soli kamiennej i zubrów dużą zawartością bromu: 140-150 mg/kg na głębokości 1275-1278 m (współczynnik - 0,29) i 175-230 mg/kg (współczynnik - 0,35-0,42). Niestety, jak wspomniano na wstępie, na podstawie zawartości bromu nie można rozróżnić soli K2 od K3. Na podstawie cech makroskopowych i pozycji warstw w rdzeniu, sole K-Mg ze stropowego interwału (542–548 m) przyporządkowano do wydzielenia K2 a sole K-Mg z głębokości 1275 m określono jako K3.

Młodsza sól kamienna dolna Na3d

Obecność tej soli stwierdzono w interwale głębokości: 1510 – 1527 m, gdzie współwystępuje z młodszą solą kamienną dolną (Na3d). Jest to sól jasnopomarańczowa i pomarańczoworóżowa oraz szaropomarańczowa z domieszką minerałów ilastych i rozproszonego piasku anhydrytowego. Za-



Ryc. 3. Profil litostratigraficzny i bromowy otworu M-35. Wysad solny Mogilno.
Fig. 3. Lithostratigraphic and bromine profile of the M-35 borehole. Mogilno salt dome.

wartość bromu waha się od 37,4 mg/kg (współczynnik 0,06) do 53,7 mg/kg (współczynnik 0,09). Ze względu na współwystępowanie tych soli z solą Na3g, ich duże podobieństwo makroskopowe oraz domieszki soli K-Mg, zawartość bromu w tym przypadku nie wyróżnia jednoznacznie tego wydzielenia. Na przyporządkowanie litostratygraficzne wpływ miała głównie pozycja badanej warstwy w rdzeniu, tj. na kontakcie tektonicznym intruzji starszej soli kamiennej Na2 w sole cyklotemu PZ3. Wydaje się bowiem, że podczas przemieszczania mas solnych ku stropowi wysadu starsze utwory cyklotemu PZ3, takie jak szary il solny (T3) i anhydryt główny (A3) zostały, jako skały sztywne, rozczłonkowane i „wyprasowane” na większych głębokościach a wraz z nimi część spągowa młodszej soli kamiennej dolnej Na3d, natomiast jej stropowa część zachowała się na granicy tektonicznej zredukowanych utworów cyklotemów PZ2 i PZ3.

Młodsza sól kamienna górna (Na3g)

Sól ta tworzy w profilu otworu M-35 naprzemianległe warstwy soli pomarańczowej i szaropomarańczowej z domieszką soli potasowo-magnezowych. Obecność soli K-Mg pośród warstw młodszej soli kamiennej górnej jest spowodowana zarówno pierwotnymi warunkami sedymentacyjnymi jak i wtórną maceracją tektoniczną tych warstw podczas formowania się wysadu. Warstwy młodszej stropowej soli kamiennej występują w interwałach głębokości 1278–1285 m, 1314–1326 m, 1469–1510 m oraz 1692–1728 m. Zawartość bromu w tych solach waha się w granicach od 44,2 mg/kg (współczynnik 0,07), do 100,1 mg/kg (współczynnik 0,17). W większości warstw tego wydzielenia zawartość bromu oscyluje w węższych granicach 50–60 ppm. Stosunkowo wysokie zawartości bromu w tym wydzieleniu są związane z wtórnym wzbogaceniem w sole K-Mg, występujące w formie nieregularnie rozproszonych domieszek. W wydzieleniu młodszej soli kamiennej górnej występują 3 warstwy anhydrytów śródsolnych (A3s), określane lokalnie na kujawach jako anhydryty A, B i C, które zostały opróbowane i zidentyfikowane na podstawie cech makroskopowych, (petrograficznych) i pozycji stratygraficznej w rdzeniu.

Zuber brunatny (Na3t) – tworzy 3 kompleksy skał ilowo-solnych, stwierdzone w przedziałach głębokości 1285–1314 m, 1419–1469 m i 1679–1692 m. Utwory zubru brunatnego, występujące w 50 metrowym interwale głębokości 1419–1469 m wydają się być wykształcone kompletnie pod względem litologicznym i jako takie najbardziej reprezentatywne dla tego wydzielenia w SE części wysadu Mogilno. Cechą charakterystyczną dla skał zubru brunatnego (Na3t) jest szarozielone zabarwienie substancji ilastej, które odróżnia je od zubru czerwonego (hematytowego), posiadającego czerwono-brunatne zabarwienie. Zuber brunatny charakteryzują stosunkowo wysokie zawartości bromu, w granicach 42,7–102,1

(współczynniki Br/Cl = 0,07 – 0,18). Wyjątkowo wysoką zawartość bromu stwierdzono w próbce 35/1426 – 252,8 mg/kg, pobranej z 15 cm przewarstwienia białoszarej soli. Próbkę tę poddano dodatkowym badaniom, które wykazały, że jest to warstewka sylwinowo-halitowa o zawartości KCl około 60%.

Najmłodsza sól kamienna (Na4) – występuje w dwóch w miąższych kompleksach, w interwałach głębokości 1370–1419 m i 164–1679 m. W tych powtarzających się interwałach obserwuje się pełne wykształcenie litologiczne tego wydzielenia w otworze M-35. Zawartość bromu w soli Na4 w tej partii złoża waha się w przedziale od 17,2 mg/kg (współczynnik 0,03) do 56,8 mg/kg (współczynnik 0,10).

Oprócz oznaczeń zawartości bromu, wydzielenie najmłodszej soli kamiennej (Na4) zostało jednoznacznie rozpoznane i stratygraficznie przyporządkowane na podstawie charakterystyki makroskopowej i sekwencji warstw: kontaktu w spągu z warstwą przewodnią anhydrytu pegmatytowego (A4), soli podścielającej (Na4o) i zubru brunatnego (Na3t) oraz naturalnego litostratygraficznego kontaktu warstw stropowych tego wydzielenia z warstwami wyżej zalegającego zubru czerwonego (Na4t).

Zuber czerwony (hematytowy) (Na4t)

Wydzielenie to tworzy dwa miąższe kompleksy skał ilowo-solnych w interwałach głębokości 1326–1370 m oraz 1626–1649 m. W obydwu kompleksach ogniwo zubru czerwonego posiada prawidłowo litologicznie wykształcone warstwy spągowe (kontakt z najmłodszą solą kamienną (Na4)), natomiast w otworze nie stwierdzono warstw stropowych, charakteryzujących się dużym udziałem czerwono-brunatnego iłu. Ponadto w wielu partiach zubru czerwonego il ma zabarwienie szarozielone, charakterystyczne dla zubru brunatnego (Na3t). W takich miejscach, gdzie makroskopowe rozróżnienie tych wydzieleni jest niemożliwe, analiza bromowa jest bardzo pomocna. Zawartość bromu w zubrze czerwonym jest dużo niższa niż w zubrze brunatnym i waha się w przedziale od 22,3 mg/kg do 68,7 mg/kg. Są to wartości typowe dla tego wydzielenia i odróżniają je wyraźnie od utworów zubru brunatnego (Na3t). Jednoznaczne potwierdzenie tego rozpoznania i przyporządkowania będzie możliwe na podstawie badań mineralogicznych, np. stwierdzenie obecności autigenicznych ciemnofioletowych kryształów hematytu, charakterystycznych dla skał zubru czerwonego (Na4t), które nie występują w zubrze brunatnym (Na3t).

ZAWARTOŚĆ WYBRANYCH PIERWIASTKÓW ŚLADOWYCH W SKAŁACH SOLNYCH OTWORU M-35

Glin [Al]

Zawartość glinu w badanych skałach solnych waha się w bardzo szerokich granicach. W skałach zubrowych z dużą

Tabela 2. Zawartość wybranych pierwiastków śladowych, występujących w utworach ewaporatowych otworu M-35.
Table 2. The content of some trace elements in evaporates of the borehole M-35.

Nr próbki / Sample No	Rodzaj skały / Type of rock	Cz. nierozp. [% wag] Insol. res. [wt.%]	mg/kg								
			Al.	As	Fe	Zn	Pb	Ni	I	Li	Cd
M-35/541	Sól kamienna biała / White rock salt (Na2)	2,0	18,9	0,2	23,6	16,2	0,1	0,1	1,9	13,8	<0,02
M-35/926	Sól kamienna białoszara / White-grey rock salt (Na2)	1,8	86,1	0,8	27,6	3,3	0,1	0,1	<0,2	22,1	<0,02
M-35/1210	Sól kamienna białoszara / White-grey rock salt (Na2)	2,5	29,5	1,3	10,3	8,0	0,2	0,2	0,6	8,4	<0,02
M-35/1361	Zuber czerwony / Red Zuber (Na4t)	8,4	8767,6	1,4	14363,5	3,8	1,1	2,9	4,3	76,9	<0,02
M-35/1377	Sól kamienna różowa / Pink salt (Na4)	1,2	218,9	0,2	98,8	0,4	0,1	0,1	<0,2	14,7	<0,02
M-35/1424	Zuber brunatny / Brown Zuber (Na3t)	23,8	27563,7	3,1	1989,7	5,4	0,5	3,9	1,4	65,9	<0,02
M-35/1453	Zuber brunatny / Brown Zuber (Na3t)	54,3	43164,3	1,1	17543,8	29,4	1,2	24,3	8,5	193,1	0,03
M-35/1463	Zuber brunatny / Brown Zuber (Na3t)	20,7	9746,5	0,1	4073,1	1,3	1,7	0,7	0,9	38,5	<0,02
M-35/1470	Sól szaropomarańczowa / Grey-orange rock salt (Na3g)	4,3	115,5	0,2	75,0	1,1	0,4	1,6	2,9	23,8	<0,02
M-35/1485	Sól szaropomarańczowa / Grey-orange rock salt (Na3g)	6,1	1064,1	0,1	205,1	2,7	0,1	1,1	3,8	11,8	<0,02

zawartością minerałów ilastych koncentracja Al wynosi od około 8700 ppm (0,87%) do 43200 ppm (4,32 %). W solach z niewielką domieszką minerałów ilastych – od 115 ppm do 1064 ppm, natomiast w czystej soli kamiennej białej zawartość glinu jest znikoma i waha się w granicach 1–90 ppm. Z rozkładu glinu w poszczególnych skałach solnych wynika, że glin koncentruje się głównie w materiale terygenicznym dostarczonym z ładu do zbiornika ewaporacyjnego.

Żelazo [Fe]

Rozkład zawartości żelaza jest podobny do zmienności zawartości glinu. Maksymalne koncentracje żelaza, podobnie jak glinu związane są z zubrami z dużym udziałem części nierozpuszczalnych w wodzie, których głównym składnikiem są minerały ilaste. Udział żelaza w zubrach waha się od 2000 ppm (0,2%) do 17500 ppm (1,75%). W solach ilasto-anhydrytowych zawartość Fe waha się od 75 ppm do 200 ppm. W czystej soli kamiennej białej wydzielenia Na₂ koncentracja żelaza jest niewielka i wynosi od 10,3 ppm do 27,6 ppm, natomiast w czystej soli pomarańczoworóżowej wydzielenia Na₄ zawartość żelaza jest wyższa i dochodzi do 100 ppm.

Cynk [Zn]

Obecność cynku jest związana głównie z minerałami, będącymi składnikami zubrów i soli ilastych (minerały ilaste, węglany, siarczany, tlenki). W skałach zubrowych zawartość Zn jest stosunkowo wysoka i waha się w granicach 4-9 ppm. Niespodziewanie dużą zawartość Zn – 16,2 ppm - stwierdzono w próbce białej soli kamiennej wydzielenia Na₂ (próbka 35/541). W pozostałych skałach solnych zawartość cynku nie przekracza 3 ppm.

Ołów [Pb]

Zawartość ołowiu jest bardzo niska i w badanych skałach zubrowych nie przekracza 1,7 ppm, natomiast w czystych solach kamiennych białych i różowych nie przekracza 0,2 ppm.

Nikiel [Ni]

Podobnie jak w przypadku poprzednich pierwiastków, koncentracja niklu zwiększa się w skałach zubrowych (2,9 – 7,9 ppm). Jest on składnikiem minerałów ilastych, siarczanów i węglanów. W czystych solach kamiennych zawartość tego pierwiastka waha się od 0,1 ppm do 1,6 ppm.

Arsen [As]

Zawartość arsenu w większości czystych soli kamiennych jest stabilna i waha się od 0,1 ppm do 1,3 ppm. Zawartość arsenu w skałach zubrowych jest nieco wyższa i waha się od 1,4 do 2,5 ppm. Arsen, podobnie jak inne pierwiastki występuje głównie w materiale terygenicznym, dostarczonym z ładu.

Jod [I]

Jod jest obecny głównie w skałach ilastych i zubrowych, gdzie jego koncentracja waha się od 1,4 ppm do 8,5 ppm. W solach ilasto-anhydrytowych jod występuje w ilościach około 3-4 ppm. W czystych solach kamiennych zawartość naturalnego jodu jest znikoma i przeważnie nie przekracza 0,6 ppm. Wyjątkowo w jednej próbce soli kamiennej białej (M-35/541) zawartość jodu wzrosła do 1,9 ppm.

Lit [Li]

W badanych skałach ewaporatowych stwierdzono stosunkowo duże zawartości litu. Największe ilości tego pierwiastka koncentrują się w ewaporatach z dużą zawartością substancji ilastej (zubry) i oscylują na poziomie kilkudziesięciu ppm (38,5–76,9 ppm). Niespotykając wysoką zawartość litu, wynoszącą 193,1 ppm, stwierdzono w próbce M-35/1453 z utworów zubru brunatnego. Jest to z pewnością związane z bardzo dużym udziałem materiału terygenicznego w tej próbce (głównie ilastego), w którym koncentruje się lit.

Kadm [Cd]

Pierwiastek ten, podobnie jak we wszystkich innych badanych otworach, występuje w mikrośladowych ilościach, poniżej progu oznaczalności (błąd analizy wynosi < 0,02 ppm).

PODSUMOWANIE

1. Otwór M-35 został odwiercony do głębokości 1755 metrów. Nawierca skały cechsztyńskiej serii solnej cyklotemów PZ2, PZ3 i PZ4.
2. Z opracowanego profilu litostratygraficznego (Ryc.3) wynika, że:
 - w górnej części tej partii wysadu do głębokości 1275 metrów występuje miąższy kompleks utworów cyklotemu PZ2, głównie starszej soli kamiennej.
 - Poniżej, w interwale głębokości 1275–1728 m zalegają utwory młodszych cyklotemów PZ3 i PZ4. W tym fragmencie złoża wyraźnie jest widoczne w profilu tektoniczne powtórzenie warstw. Sekwencja wydzielen: młodsza sól kamienna górna (Na3g) – zuber brunatny (Na3t) – anhydryt pegmatytowy (A4) – najmłodsza sól kamienna (Na4) – zuber czerwony (Na4t), zaobserwowana w interwale głębokości 1728–1626m, powtarza się dokładnie w tej samej kolejności w interwale 1510–1326 m. Brak odwrócenia sekwencji warstw świadczy o tym, że nie jest to dwukrotnie przewiercony fałd lecz nasunięcie.
 - Powyższe sekwencje przedzielone są wciśniętym tektonicznie, zalegającym w niezgodności stratygraficznej, 81-metrowym (1618-1537 m miąższość diagonalna (pozorna) kompleksem starszej soli kamiennej (Na2).
 - Od głębokości 1728 m do końca otworu (1755 m) ponownie występują w profilu sole cyklotemu PZ2.

3. W wyniku procesów halokinetycznych i tektonicznych warstwy solne są pofałdowane i zalegają bardzo stromo. Upad warstw waha się od 35° do 90°. Najczęściej jednak wynosi 70° - 80°. Skały młodszych cyklotemów PZ3 i PZ4 zostały silnie zdeformowane a w wielu partiach zredukowane miąższościowo. Skały bardziej plastyczne, takie jak sole potasowo-magnezowe zostały niejednokrotnie całkowicie „wytarte” a ich epigenetyczne resztki przedostały się do warstw sąsiednich.
4. Wiele wydzielen jest wykształconych niekompletnie:
 - wydzielenia starszej soli kamiennej (Na2), starszej soli potasowej (K2), młodszej soli kamiennej dolnej (Na3d) nie posiadają prawidłowych, stratygraficznych kontaktów z sąsiednimi ogniwami w spągu i stropie.
 - młodsza sól kamienna górna (Na3g) nie posiada naturalnego stratygraficznego kontaktu z wydzieleniem sąsiednim (K3) w spągu.
 - W wydzieleniu zubru czerwonego (Na4t) nie stwierdzono obecności warstw stropowych i naturalnego, sedymentacyjnego kontaktu z utworami młodszymi.
5. W przeciwieństwie do środkowej i północno-zachodniej części wysadu Mogilno (Wachowiak i in., 2012), w części południowej, m.in. w rejonie otworu M-35, nie występują wydzielenia spągowe cyklotemu PZ3: szary ił solny (T3), dolomit płytowy (Ca3) i anhydryt główny (A3). Jako skały sztywne zostały one prawdopodobnie porozrywane przez wypiętrzające się antyklinalnie plastyczne utwory ewaporatowe, głównie sól kamienną i zalegają w głębszych partiach wysadu.
6. W profilu nie stwierdzono ewaporatów starszych niż starszą sól kamienną (Na2).

PODZIĘKOWANIA

Autor pragnie podziękować pracownikom Laboratorium Hydrogeochemicznego Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie, w szczególności Panu mgr. inż. Wiesławowi Knapowi za umożliwienie i wykonanie analiz chemicznych.

SUMMARY

1. Borehole M-35 was drilled down to 1,755 m. It penetrates the rocks of the Zechstein salt series of cyclothem PZ2, PZ3, and PZ4.
2. Our lithostratigraphic profile (Fig. 3) indicates as follows:
 - A thicker complex of cyclothem PZ2 formations, mainly older rock salt, occurs in the upper section of the salt dome, down to 1,275 m.
 - Younger formations of cyclothem PZ3 and PZ4 are laid below, in the interval of 1,275-1,728 m. In that fragment of the salt layer, tectonically repeated beds are clearly visible. Link sequences: Upper Younger Halite (Na3g) –

Brown Zuber (Na3t) – Underlying Halite (Na4₀) – Pegmatite Anhydrite (A4) – Youngest Halite (Na4) – Red Zuber (Na4t), found in the interval of 1,728-1,626 m, are repeated exactly in the same order at the interval of 1,510-1,326 m. Lack of a reversed sequence of beds indicates that it is not a twice drilled through fault, but rather a dislocation overthrust.

- The above-specified sequences are separated by tectonically pressed in, astratigraphically located, 81 m thick (1,618-1,537 m of diagonal thickness) complex of older Na2 rock salt.
 - The salts of cyclothem PZ2 occur again from 1,728 down to the end of the borehole (1,755 m).
3. As a result of halokinetic and tectonic processes, the salt beds became folded and very steeply arranged. The slope is ranging from 35 to 90°, mostly from 70 to 80°. The rocks of younger cyclothem PZ3 and PZ4 were strongly deformed and their thickness was reduced in many sections. More plastic rocks, e.g. potassium-magnesium salts, often became erased, with their epigenetic remnants permeating adjacent beds.
 4. Many links have been formed incompletely:
 - The links of the older rock salt (Na2), older potassium salt (K2), and younger lower rock salt (Na3d) do not show normal, stratigraphic contacts with the adjacent links in the bed floor and ceiling.
 - The link of the younger upper rock salt (Na3g) does not show a natural stratigraphic contact with the adjacent separation (K3) in the bed floor.
 - No top strata or natural sedimentation contact with younger formations was found in the Red Zuber link (Na4t).
 5. In opposition to the central and north-western parts of the Mogilno salt dome (Wachowiak et al., 2012), the floor links of cyclothem PZ-3: grey salt silt (T-3), plate dolomite (Ca-3), or main anhydrite (A-3) do not occur in the southern part, e.g. in the area of borehole M-35. As rigid rocks, they were probably torn apart by plastic evaporite formations, mainly rock salt, being uplifted in an anticline, and they presently occur at deeper layers of the salt dome.
 6. No older evaporites than the older salt rock link (Na-2) were found in the profile.

LITERATURA / REFERENCES

- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., LANGER-KUŹNIAROWA A., PERYT T. M., 2002. Salt facies evolution of declining evaporitic basin (history of the Upper Permian succession in Poland). *16th International Sedimentological Congress Abstract Volume (2002), Johannesburg 8–13 July*: 73.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., TOMASSI-MORAWIEC H., 2006. The clayey salts of epicontinental and foredeep basins (examples of the Upper Permian and the Middle Miocene from Poland). Abstracts of RCMNS Interim Colloquium, 7-9 September,

- Parma, Italy. *Acta Naturalia de "L'Ateneo Parmense"*, 42 (2): A.16 SS.2. Parma.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., MISIEK G., 2008. Podział i występowanie górnopermskich skał zubrowych w Polsce. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi i Energią*, 24, 3/2, (Przegląd Solny): 304-307.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2011. Sól kamienna i sole potasowo-magnezowe. [W]: Wołkowicz S., Smakowski T., Speczik S. (red.) – Bilans perspektywicznych zasobów kopalin Polski wg stanu na 31.XII.2009 r.: 134–142. PIG-PIB, Warszawa.
- CZAPOWSKI G., BUKOWSKI K., 2015. Mapy wystąpień zasobów perspektywicznych soli w Polsce jako narzędzie w projektowaniu przyszłego zagospodarowania złóż kopalin. *Przegląd Solny*, 11: 5–31.
- DADLEZ R. 1997. Epicontinental basins in Poland: Devonian to Cretaceous – relationship between the crystalline basement and sedimentary infill. *Geological Quarterly*, 41: 419–432.
- DADLEZ R., MAREK S., POKORSKI J. (red.), 1998. Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego permu i mezozoiku w Polsce w skali 1:2 500 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- DADLEZ R., MAREK S., POKORSKI J., 2002. Mapa geologiczna Polski bez utworów kenozoiku 1: 1 000 000. Ministerstwo Środowiska i Państwowy Instytut Geologiczny. *Wydawnictwo Kartograficzne Polskiej Agencji Ekologicznej, Warszawa*.
- DROGOWSKI J., TADYCH J., 2006. Budowa geologiczna i zagospodarowanie wysadów solnych „Mogilno I” i „Góra” - stan aktualny i perspektywy. *Przegląd Geologiczny*, 54 (4): 306.
- GARLICKI A., SZYBIST A., 1986. Osady salinarne polskiego cechsztynu z solami potasowo-magnezowymi. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 2: 391-404.
- KRZYWIEC P. 2006. Tektonika solna na Niżu Polskim – wnioski z interpretacji danych sejsmicznych. *Przegląd Geologiczny*, 54 (4): 303-304.
- MIZERSKI W., 2014. Geologia Polski. Wydanie 5 zm. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- SOKOŁOWSKI J., 1966 - Rola halokinezy w rozwoju osadów mezozoicznych i kenozoicznych struktury Mogilna i synklinorium mogileńsko - łódzkiego. *Pr. Inst. Geol.*, 50, 1-112. Warszawa.
- WACHOWIAK J., 2015. Charakterystyka litostratygraficzna i geochemiczna skał solnych otworów M-25, M-29, M-31, M-32, M-35. Archiwum IKS Solino S.A.
- WACHOWIAK J., PAWLIKOWSKI M., WILKOSZ P., 2012. Lithostratigraphy of Zechstein evaporites of the central and north-western parts of the Mogilno Salt Diapir, based on boreholes Z-9 and Z-17. *Geology, Geophysics & Environment*, 38 (2): 115-151.
- WILKOSZ P., 2001. Geological evolution and kinematics of the Mogilno salt structure in the Cenozoic. PhD thesis, Institute of Geology, Adam Mickiewicz University, Poznań, p.185 (in Polish).
- WILKOSZ P., 2006. Quaternary Activities of Salt Structures in Poland – New Data from the Mogilno Salt Dome. *Z. Geol. Wiss.*, 33, 4/5: 243-261, Berlin.